

ISSN 2073-7599

Сельскохозяйственные машины и технологии

AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 19 N 1 2025

Vol. 19 N 1 2025

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

95
лет



1 2025





НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Основан в 2007 году

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

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

Журнал включен
в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

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

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

НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:

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

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

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

Мнение редакции не всегда совпадает
с позицией авторов публикаций.
Ответственность за достоверность
изложенных фактов и правильность
цитат несут авторы.
Не принятые к публикации статьи не воз-
вращаются и не рецензируются.

Выходит 4 раза в год
(Свободная цена)
Дата выхода в свет 13.03.2025
Формат 60 x 90/8. Объем 13,5 печ.л.
Тираж 500 экз
Отпечатано в типографии
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2025

Сельскохозяйственные МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Андрей Юрьевич Измайл

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Яков Петрович Лобачевский (НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР)

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

Алексей Семенович Дорохов

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

Михаил Никитичевич Ерохин

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

Юрий Анатольевич Иванов

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

Йошисукэ Кишида

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

Юрий Федорович Лачуга

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

Антонин Махалек

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

Владимир Дмитриевич Попов

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

Синьминь Лю

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

Жарылкасын Сарсембекович Садыков

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

Даврон Рустамович Норчаев

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

Юлия Сергеевна Ценц

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

Вячеслав Иванович Черноиванов

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

Роман Алексеевич Фандо

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

SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL
Founded in 2007

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

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

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

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

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

EXECUTIVE EDITORS:

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

EDITORIAL OFFICE'S ADDRESS

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

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

[SEL'SKOKHOZYAYSTVENNYE MASHINY I TEKHNologii]

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

EDITOR-IN-CHIEF

Andrey Yu. Izmaylov

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

EDITORIAL BOARD

Yakov P. Lobachevskiy (SCIENTIFIC EDITOR)

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

Aleksey S. Dorokhov

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

Mikhail N. Erokhin

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

Yuriy A. Ivanov

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

Yoshisuke Kishida

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

Yuriy F. Lachuga

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

Antonin Makhalek

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

Vladimir D. Popov

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

Xinmin Liu

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

Zharylkasyn S. Sadykov

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

Davron R. Norchaev

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

Yuliya S. Tsench

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

Vyacheslav I. Chernov

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

Roman A. Fando

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

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

Published 4 times a year (open price).

Publication date is 13.03.2025.

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

Printed by FSBSI FSAC VIM.

**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ**

- Киприянов Ф.А., Алешкин А.В., Савиных П.А.**
Экспериментально-математическое моделирование
процесса удаления поверхностной влаги с семян
после увлажнения 4

- Захаров А.М., Устроев А.А., Мурзаев Е.А., Комоедов А.Д.**
Методы проектирования технологий органического
производства продукции растениеводства 13

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

- Сазонов Н.В., Сибирёв А.В., Мосяков М.А.,
Трунов М.С., Волков А.О., Кондрахов Д.Д.**
Устройство электрофизического воздействия для улучшения
показателей картофеля и овощных культур при хранении .. 22

- Мяленко В.И.**
Исследование распределения давления на лопатки
ротационного рыхлителя почвы путем имитационного
моделирования 30

- Загоруйко М.Г., Бельшклина М.Е., Башмаков И.А.,
Марадудин А.М.**
Силовой анализ движения материала в горизонтальном
смесителе гидrolитической камеры на примере
переработки соевого шрота 35

- Абдурахманов А.А., Расулов А.Д., Игамбердиев Д.Х.**
Синхронизация взаимодействия дозатора с работой
сортировочного сита зерен маша 41

- Чулков А.С., Шайхов М.М., Текушев А.Х.**
Селекционная сеялка на базе самоходного шасси
с роботизированным кассетным загрузочным
устройством 49

- Ерусланова М.А., Немтинов К.В., Ерусланов К.А.,
Немтинов В.А.**
Особенности сеялки для прямого посева зерновых культур 55

- Белюсов С.В., Рыков В.Б., Камбулов С.И., Туровский Б.В.**
Разрушение слоя почвы рабочими органами
плоскорезящего типа 61

- Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Хименко А.В.**
Выбор потолочных вентиляторов в системе микроклимата
животноводческих помещений 69

РАЗВИТИЕ НАУКИ И ТЕХНИКИ

- Петрищев Н.А., Саяпин А.С., Казакова В.А.,
Костомахин М.Н.**
Вклад Целинного филиала ГОСНИТИ в создание
ремонтно-обслуживающей базы тракторов
К-700А и К-701 77

- Курбанов Р.К., Ценч Ю.С., Захарова Н.И.**
Основные тенденции в развитии технологии
аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий 86

- Иовлев Г.А., Голдина И.И.**
Сравнительный анализ технико-экономических
и эксплуатационных характеристик тракторов
Беларус 2122 и Zoomlion PL2304 96

- Чаплыгин М.Е., Ценч Ю.С., Подзоров А.В.**
Развитие конструкций сеялок и технологий посева
семян в ленте 103

DIGITAL TECHNOLOGIES. ARTIFICIAL INTELLIGENCE

- Kipriyanov F.A., Aleshkin A.V., Savinykh P.A.**
Experimental-mathematical modeling of surface
moisture removal from pre-moistened
seeds 4

- Zakharov A.M., Ustroev A.A., Murzaev E.A., Komoeedov A.D.**
Methods for designing technologies of organic crop
production. 13

INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

- Sazonov N.V., Sibirev A.V., Mosyakov M.A., Trunov M.S.,
Volkov A.O., Kondrakhov D.D.**
Electrophysical treatment device for enhancing the storage
performance of potatoes and vegetable crops 22

- Myalenko V.I.**
Simulation-based analysis of pressure
distribution on rotary soil loosener
blades 30

- Zagoruiiko M.G., Belyshkina M.E., Bashmakov I.A.,
Maradudin A.M.**
Force analysis of material movement in a horizontal
mixer of a hydrolytic chamber: a case study
of soybean meal processing 35

- Abdurakhmanov A.A., Rasulov A.D., Igamberdiev D.H.**
Synchronizing the interaction between the metering unit
and the mung bean sorting sieve 41

- Chulkov A.S., Shaykhov M.M., Tekushev A.Kh.**
Selection seeder with a robotic cassette
loading device mounted
on self-propelled chassis 49

- Eruslanova M. A., Nemtinov K. V., Eruslanov K.A.,
Nemtinov V.A.**
Design features of the seeder for direct sowing of grain crops . 55

- Belousov S.V., Rykov V.B., Kambulov S.I., Turovsky B.V.**
Soil layer destruction by flat-cutting
working bodies 61

- Kuzmichev A.V., Tikhomirov D.A., Khimenko A.V.**
Selection of ceiling fans for the microclimate system
of Livestock Facilities 69

DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

- Petrishchev N.A., Sayapin A.S., Kazakova V.A.,
Kostomakhin M.N.**
Contribution of the Virgin land branch of GOSNITI to the
creation of a repair and maintenance base
for tractors K-700A and K-701 77

- Kurbanov R.K., Tsench Yu.S., Zakharova N.I.**
Major trends in the development of aerial photography
technology for agricultural lands 86

- Iovlev G.A., Goldina I.I.**
Comparative analysis of technical, economic
and operational properties
of Belarus 2122 and Zoomlion PL2304 96

- Chaplygin M.E., Tsench Yu.S., Podzorov A.V.**
Development of seeder design and technologies
of seed tape planting 103



Экспериментально-математическое моделирование процесса удаления поверхностной влаги с семян после увлажнения

Федор Александрович Киприянов¹,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: kipriyanovfa@bk.ru;
Алексей Владимирович Алешкин²,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: usr00008@vyatsu.ru;

Петр Алексеевич Савиных³,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
e-mail: peter.savinyh@mail.ru

¹Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина, г. Вологда, Российская Федерация;

²Вятский государственный университет, г. Киров, Российская Федерация;

³Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, г. Киров, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что после предпосевного увлажнения избыточная поверхностная влажность семян затрудняет их посев механизированным способом. В результате экспериментально-поисковых исследований установлено, что избыточная поверхностная влага эффективно удаляется при контакте семян с влаговпитывающей поверхностью. *(Цель исследования)* Экспериментально-математическая оценка возможности удаления избыточной поверхностной влаги при контакте зерновки с влаговпитывающей поверхностью. *(Материалы и методы)* Прижимающее усилие зерновки к поверхности транспортера имитировали с помощью динамометра с плоским наконечником при дискретности создаваемого усилия 2,5 ньютона. Зерновка прижималась к фетровой ткани, пропитанной красящим раствором. Математическое моделирование процесса удаления поверхностной влаги заключалось в оценке возможности качения зерновки по поверхности. *(Результаты и обсуждение)* Установлено, что для произвольно взятой зерновки ячменя с размерами полуосей эллипса в поперечном сечении $a = 0,001845$ метра, $b = 0,00146$ метра полное качение отсутствует. Зерновка с данными размерами поворачивается на 58 градусов. В то же время создаваемое в плоскости продольного сечения минимальное усилие 2,5 ньютона на зерновку с полуосями $a = 0,001845$ метра и $c = 0,00396$ метра обеспечит прижимающее усилие 0,11 ньютона на один квадратный миллиметр. С учетом глубины погружения зерновки во влаговпитывающую поверхность и поворота зерновки на угол 58 градусов будет обеспечен необходимый контакт для удаления избыточной поверхностной влаги. Однако в частном случае, когда одна из плоскостей продольного сечения зерновки имеет форму, приближенную к ромбовидной, контакт будет неполным. Увеличение прижимающего усилия до 0,19 ньютона на один квадратный миллиметр не дает желаемого эффекта, поскольку зерновка, преодолевая сопротивление впитывающей влагу поверхности, упиралась в опорную пластину. Решением проблемы стало увеличение толщины впитывающей поверхности приблизительно до половины толщины зерновки. В этом случае обеспечивается наибольшая площадь контакта. *(Выводы)* Путем экспериментально-математической оценки установлено, что избыточная поверхностная влага может быть эффективно удалена с зерновок при контакте с влаговпитывающей поверхностью толщиной, близкой к половине толщины зерновки, и прижимающем усилии порядка 0,19 ньютона на один квадратный миллиметр.

Ключевые слова: зерновка, избыточная поверхностная влага, удаление, влаговпитывающая поверхность, угловое ускорение, глубина погружения, угол поворота зерновки.

■ **Для цитирования:** Киприянов Ф.А., Алешкин А.В., Савиных П.А. Экспериментально-математическое моделирование процесса удаления поверхностной влаги с семян после увлажнения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-4-12. EDN: ERGCDS.

Scientific article

Experimental-Mathematical Modeling of Surface Moisture Removal from Pre-Moistened Seeds

Fedor A. Kipriyanov¹,
Ph.Sc.(Eng.), associate professor,
e-mail: kipriyanovfa@bk.ru;

Aleksey V. Aleshkin²,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: usr00008@vyatsu.ru;

Petr A. Savinykh³,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: peter.savinykh@mail.ru

¹Vologda State Dairy Farming Academy named after N.N. Vereshchagin, Vologda, Russian Federation;

²Vyatka State University, Kirov, Russian Federation;

³Federal Agrarian Scientific Center of the North-East named after N.V. Rudnitskiy, Kirov, Russian Federation

Abstract. The paper examines the issue of excess surface moisture on seeds following pre-sowing moistening, which complicates mechanical sowing. Experimental and exploratory studies indicate that this excess moisture can be effectively removed when seeds contact a moisture-absorbing surface. (*Research purpose*) The study aims to provide an experimental and mathematical evaluation of the potential for removing excess surface moisture from seeds upon contact with a moisture-absorbing surface. (*Material and methods*) The pressing force of the caryopsis against the conveyor surface was simulated using a flat-tipped dynamometer with a force application increment of 2.5 newtons. The caryopsis was pressed against a felt fabric soaked with a dye solution. The mathematical modeling of the surface moisture removal process involved evaluating the potential for the caryopsis to roll across the surface. (*Results and discussion*) It was found that a randomly selected barley caryopsis with semi-axis dimensions of $a = 0.001845$ meters and $b = 0.00146$ meters in the cross-section does not achieve complete rolling but rotates by 58 degrees. At the same time, a minimum applied force of 2.5 newtons in the plane of the longitudinal section on a caryopsis with semi-axes $a = 0.001845$ meters and $c = 0.00396$ meters produces a pressing force of 0.11 newtons per square millimeter. Considering the depth of the caryopsis's immersion in the moisture-absorbing surface and its 58-degree rotation, sufficient contact is established to remove excess surface moisture. However, in specific cases where one of the longitudinal section planes of the caryopsis has a shape approaching a diamond, the contact is incomplete. Increasing the pressing force to 0.19 newtons per square millimeter did not yield the desired effect, since the caryopsis, overcoming the resistance of the moisture-absorbing surface, made contact with the support plate. The solution was to increase the thickness of the moisture-absorbing surface to approximately half the thickness of the caryopsis. In this case, the largest contact area is ensured. (*Conclusions*) Experimental and mathematical evaluations established that excess surface moisture can be effectively removed from caryopses when they contact a moisture-absorbing surface with a thickness approximately half that of the caryopsis, under a pressing force of around 0.19 newtons per square millimeter.

Keywords: caryopsis, excess surface moisture, removal, moisture-absorbing surface, angular acceleration, immersion depth, grain rotation angle.

■ For citation: Kipriyanov F.A., Aleshkin A.V., Savinykh P.A. Experimental-mathematical modeling of surface moisture removal from pre-moistened seeds. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-4-12. EDN: ERGCDS.

Повышение эффективности производственных процессов в растениеводстве как самостоятельной отрасли, так и отрасли, формирующей кормовую базу для животноводства, является важнейшей составляющей развития агропромышленного комплекса [1]

Совершенствование технологий возделывания сельскохозяйственных культур требует изменения способов предпосевной подготовки семян [2]. Предпосевная обработка способна обеспечить повышение урожайности сельскохозяйственных культур до 35-40% за счет стимуляции процессов жизнедеятельности растений [3]. Предпосевное увлажнение семян один из наиболее простых способов повышения урожайности семян, не требующий при этом высоких энергозатрат [4]. Ряд научных школ, как правило, созданных зарубежными учеными, при описании процесса предпосевного насыщения семян влагой использует термин «прайминг», имеющий более широкую трактовку за счет увеличения спектра увлажняющих растворов [5].

В России ряд ученых предпочитают трактовать предложенный иностранными учеными термин «прайминг» как контролируемую гидратацию (насыщение ограниченным количеством воды) семян [6]. Исследованию влияния предпосевного увлажнения посвящен целый ряд работ российских и иностранных ученых [7]. В частности, отмечается улучшение роста рассады и уменьшение солевого стресса при возделывании в сложных климатических условиях [8]. При этом ускоряется метаболизм процессов и повышается усвоение находящихся в зерновке питательных веществ [9]. Насыщение водой семян ячменя перед посевом позволяет увеличить массу корневой системы до 50% [10]. Положительное влияние оказывает предпосевное увлажнение как на интенсивность появления всходов, так и на дальнейшее развитие растений [11]. Увеличение урожайности при этом может быть достигнуто даже при использовании чистой воды, в частности, ряду исследователей путем замачивания в водные растворы удалось увеличить энергию прорастания

некоторых культур от 14% до 66% [12]. В то же время, применение защитных препаратов и стимуляторов роста повышают эффективность процесса [13]. Однако несмотря на всю привлекательность и простоту способа, широкого промышленного применения предпосевное увлажнение не нашло.

Одной из причин, препятствующих промышленному применению предпосевного увлажнения, является избыточная поверхностная влага, которая способствует слипанию семян, затрудняя их механизированный посев. В некоторых исследованиях подсушивание семян осуществлялось путем перемешивания слоя семян толщиной 1 см через каждые два часа. Однако такой способ увеличивал время подготовки семян к посеву, причем для подготовки набухших семян требовалось 10 ч, а проросших 14 ч [14]. Применение подогретого воздуха для удаления избыточной поверхностной влаги, предлагаемого в ряде других работ, позволяет несколько сократить время обработки [15].

Использование подогретого воздуха требует существенных энергозатрат и, как показали наши исследования, оказался неэффективным в подготовке семян непосредственно к посеву. В результате экспериментально-поисковых исследований установлено, что удаление избыточной поверхностной влаги наиболее эффективно при расположении семян между двумя впитывающими поверхностями [16].

Для реализации концепции по контактному удалению влаги предложена «Установка для удаления поверхностной влаги с семян после намачивания» (патент RU 2799265). Устройство представляет собой два подпружиненных ленточных транспортера, расположенные один над другим, с разными скоростями движения. Ленты выполнены из влаговпитывающего материала, системы отжимных валиков для удаления влаги из ленты и системы лотков для сбора жидкости (рис. 1). Семена, перемещаясь между лентами, перекачиваются в сторону выгрузного устройства, поверхности транспортерных лент при этом впитывают избыточную влагу.

Семена с избыточным количеством поверхностной влаги подаются на поверхность основного транспортера 1 и далее попадают под ленту вспомогательного транспортера 2. Лента вспомогательного транспортера прижимает семена к ленте основного транспортера, обеспечивая контакт для удаления с семян избыточной поверхностной влаги. За счет разницы линейных скоростей лент транспортеров семенам придается дополнительное вращательное движение, способствующее более полному контакту с влаговпитывающим материалом. Избыточная влага на лентах транспортера отжимается вальцами 3 и по лоткам 4 стекает в поддон 5. Использование фетровой ткани обеспечивает минимальный травматизм семян в процессе предпо-

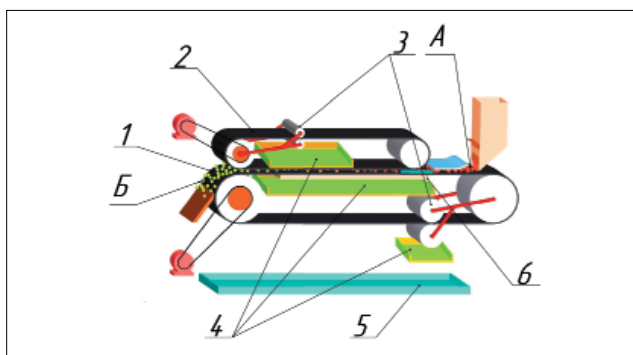


Рис. 1. Установка для удаления поверхностной влаги с семян: А – увлажненные семена с избыточным количеством поверхностной влаги, Б – семена после удаления избыточной поверхностной влаги

Fig. 1. Unit for removing surface moisture from seeds: А – seeds moistened, with excess surface moisture, Б – seeds after the removal of excess surface moisture

севной обработки [17] с уменьшением ударного воздействия на зерновку [18].

Цель исследований – выполнить математическое моделирование по определению характера движения зерновки между влаговпитывающими поверхностями; на основе экспериментально-поисковых исследований с применением программно-математического аппарата оценить возможность удаления избыточной влаги с поверхности зерновки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проводились в Вологодской ГМХА при научно-консультационной поддержке ФАНЦ Северо-Востока и Вятского государственного университета. Для имитации прижимающего усилия зерновки к поверхности транспортера использовался динамометр «Мегеон 04500» с плоским наконечником и дискретностью усилия 2,5 Н. Для получения отпечатка при прижатии зерновки к поверхности применялся раствор бриллиантовый зеленый спиртовой, фетровая ткань, имитирующая влаговпитывающую поверхность транспортера, размеры зерновки измеряли штангенциркулем ШЦЦБ-1-150 0.01.

Для теоретического определения угла поворота зерновки применялись методы классической механики и дифференциального исчисления [19], широко апробированные при моделировании процессов в сельскохозяйственном производстве [20]. При разработке программы для автоматизированных расчетов применялся язык программирования Visual C#.

Исследования включали в себя следующие этапы: составление математической модели вращения зерновки при движении между поверхностями; разработка программного обеспечения для автоматизации расчетов; оценка влияния усилия прижатия зерновки на площадь контакта; математическая оценка угла поворота реальной зерновки при отсутствии качения с оценкой совокупной площади кон-

такта; обоснование толщины транспортирующей поверхности.

При расчетах форму зерновки принимали как эллипсоид с полуосями a , b , c в соответствующих плоскостях (рис. 2).

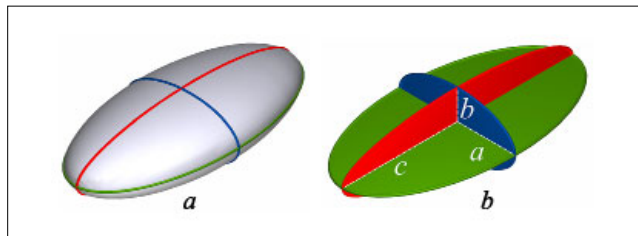


Рис. 2. Модель зерновки: a – объемная модель зерновки; b – сечущие плоскости

Fig. 2. Model of a caryopsis: a – solid model of a caryopsis; b – sectional planes

Моделирование качения зерновки осуществляли путем моделирования качения эллипса в сечении ab . Удельное усилие давления рассчитывали для площади поперечного сечения в плоскости ac .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Определим условия движения с качением тела с эллиптическим центральным сечением по горизонтальным опорным подпружиненным поверхностям (рис. 3).

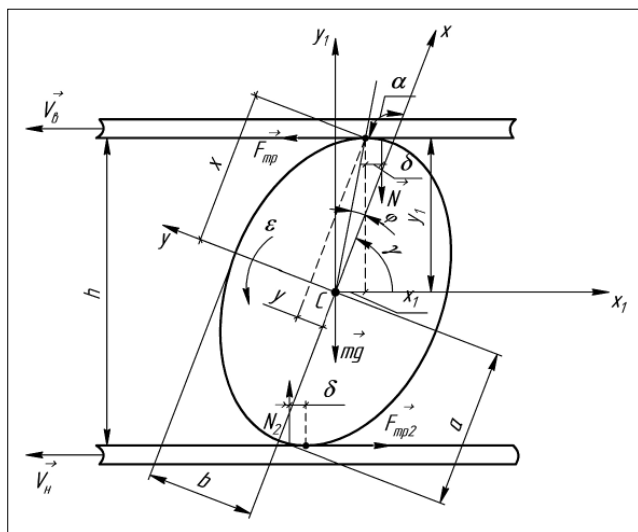


Рис. 3. Схема сил, приложенных к эллипсу
Fig. 3. Diagram of forces applied to an ellipse

Согласно теореме об изменении кинетического момента эллипса при вращении вокруг оси, проходящей через центр масс, перпендикулярно плоскости качения:

$$\frac{dK_c}{dt} = F_{TP}y_1 + F_{TP2}y_1 - N(x_1 + \delta) - N_2(x_1 + \delta), \quad (1)$$

где t – время, с; F_{TP} – сила трения со стороны верхней опорной поверхности (верхнего транспортера), Н; F_{TP2} – сила трения со стороны нижней опорной поверхности (нижнего транспортера), Н; y_1 – рас-

стояние по вертикальной оси от центра масс C до верхней точки контакта эллипса с поверхностью, такое же расстояние до нижней точки контакта, м; N , N_1 – нормальные реакции соответственно верхней и нижней опорных поверхностей, Н; x_1 – расстояние по горизонтальной оси x_1 от центра масс C до верхней точки контакта эллипса с поверхностью, м; δ – коэффициент сопротивления качению, м.

Производная по времени от кинетического момента равна произведению углового ускорения на I_c (кг·м²) момент инерции эллипса относительно оси, проходящей через центр масс перпендикулярно плоскости качения.

Для качения необходимо, чтобы угловое ускорение было больше нуля $\varepsilon > 0$ во всех возможных точках контакта эллипса с поверхностями при предельных значениях силы трения $F_{TP} = Nf$, где f – коэффициент трения скольжения.

Для нахождения соотношения между нормальными реакциями запишем теорему о движении центра масс в проекции на оси:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_1 = -F_{TP} + F_{TP2}; \\ m\ddot{y}_1 = -N + N_2 - mg, \end{cases} \quad (2)$$

где m – масса тела.

Уравнение (1) в предельном случае начала скольжения примет вид

$$\varepsilon I_c = 2Nfy_1 - N(x_1 + \delta) - (N + mg)(x_1 + \delta). \quad (3)$$

Выразим координаты x_1 и y_1 через координаты x и y , которые совпадают с осями эллипса:

$$\begin{cases} x_1 = x \cos(\gamma) - y \sin(\gamma); \\ y_1 = x \sin(\gamma) + y \cos(\gamma), \end{cases} \quad (4)$$

где γ – угол поворота эллипса при качении.

$$tg(\alpha) = \frac{dy}{dx} = -\frac{b}{a^2} \frac{x}{\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}}, \quad (5)$$

где a – большая полуось эллипса, b – малая полуось.

Отметим, что угол γ не равен углу φ , который определяет положение радиус-вектора точки касания.

Подставим в уравнение (3) выражения (4):

$$\begin{aligned} \varepsilon I_c = & 2Nf(x \sin(\gamma) + y \cos(\gamma)) - \\ & - 2N(x \cos(\gamma) - y \sin(\gamma) + \delta) - \\ & - mg(x \cos(\gamma) - y \sin(\gamma) + \delta). \end{aligned} \quad (6)$$

Зададим величину нормальной реакции N , зависящей от расстояния между транспортерами, так как верхняя контактная поверхность подпружинена:

$$N = N_0 + k \cdot (h - 2b), \quad (7)$$

где k – суммарная жесткость пружин и упругих опорных поверхностей, Н/м; h – расстояния между транспортерами, равное высоте эллипса при повороте на угол γ .

Таким образом, исследуя выражение (6) в первой координатной четверти для всех значений $x=0 \dots a$, установим возможность качения по знаку εI_C .

Если

$$\varepsilon I_C > 0, \quad (8)$$

то сила трения не достигнет предельного значения и эллипс катится без скольжения при постоянных скоростях лент транспортеров. Это условие снятия влаги со всех сторон обрабатываемых семян. В случае качения без скольжения, когда условие (8) выполняется во всех точках периметра эллипса, скорость центра масс определится через скорости лент транспортеров:

$$v_C = \frac{v_H + v_B}{2}; \quad (9)$$

где v_H – скорость ленты нижнего транспортера; v_B – скорость ленты верхнего транспортера.

Угловая скорость эллипса при этом будет переменной из-за изменения расстояния h и равна:

$$\omega = \frac{v_B - v_H}{h}. \quad (10)$$

Для автоматизации расчетов на языке C# разработана программа «Имитационное моделирование работы установки для удаления поверхностной влаги с семян».

Программа, составленная для всех значений x в первой координатной четверти, позволяет варьировать исходные величины, входящие в выражения (1)-(10), и оценивать их влияние на возможность качения эллипса без скольжения по табличным значениям и графикам.

Для расчетов необходимо ввести в поля диалогового окна интерфейса программы размеры полуосей поперечного сечения зерновки, коэффициент трения, массу зерновки, коэффициент сопротивления качения, скорость движения лент, ширину транспортирования и насыпную плотность зерна. Результатом расчета является графическое представление изменения углового ускорения от перемещения по оси x и угла φ , оценивается наличие качения зерновки между влаговпитывающими поверхностями и расчет пропускной способности установки.

Анализ результатов расчета при варьировании исходных данных показывает, что определяющим для возможности качения является отношение полуосей эллипса $a:b$ и его соотношение с коэффициентом трения скольжения f . Увеличение величины нормальной реакции приводит к повышению силы трения $F_{тр}$, которая имеет положительный момент, но при этом растет величина отрицательных моментов от самих нормальных реакций. Для эффективной работы устройства съема влаги с семян важно, чтобы опорные поверхности имели существенную шероховатость и форма сечения семян имела незначительный эксцентриситет.

На примере зерновки ячменя выполним экспериментально-математическое моделирование процесса удаления влаги. На первоначальном этапе с помощью разработанной программы проведем оценку наличия качения зерновки, при его отсутствии проведем серию экспериментов по оценке достаточности контакта зерновки с впитывающей поверхностью для удаления влаги.

Примем допущение о том, что зерновка ячменя имеет форму эллипсоида (рис. 2), средний размер полуосей задействованных в эксперименте зерновок $a = 0,0019025$ м, $b = 0,00148$ м. Согласно результатам математического моделирования в разработанной программе качение зерновки отсутствует, что требует оценки достаточности контакта зерновки с влаговпитывающей поверхностью. Для этого возьмем произвольно выбранную зерновку с размерами полуосей $a = 0,001845$ м, $b = 0,00146$ м, согласно расчетам качения зерновки нет.

Для имитации контакта зерновки с влаговпитывающей поверхностью (рис. 4) разместим пропитанную красителем фетровую ткань 1 с зерновкой 2 на опорной поверхности 4. Наконечником 3 динамометра будем создавать усилие дискретностью 2,5 Н. Для данной зерновки в плоскости продольного сечения с полуосями $a = 0,001845$ м и $c = 0,00396$ м усилие составит 0,11 Н/мм².

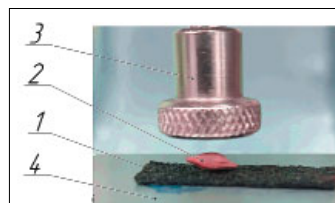


Рис. 4. Имитация контакта зерновки при удалении поверхностной влаги

Fig. 4. Simulation of caryopsis contact during surface moisture removal

В месте контакта зерновки с окрашенной поверхностью образовалось пятно, занимающее значительную долю поверхности (рис. 5).



Рис. 5. Пятно контакта зерновки с поверхностью

Fig. 5. Contact patch of the caryopsis with the surface

Найдем угол поворота зерновки γ при движении между влаговпитывающими поверхностями (рис. 6).

Для этого, смоделировав движение зерновки с помощью программы, получим зависимость изменения угла α и углового ускорения ε от полярного угла φ . При этом угол поворота зерновки $\gamma = 180 - \alpha$.

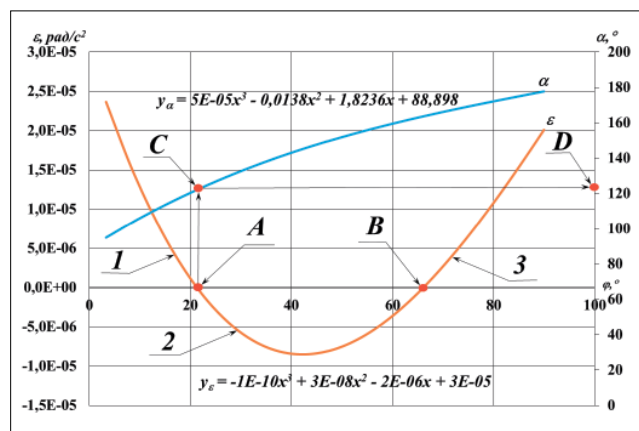


Рис. 6. Схема к определению угла поворота зерновки
Fig. 6. The scheme for determining the angle of rotation of the grain

Рассмотрим характер изменения углового ускорения. На графике видны три участка, показывающие характер движения и две опорные точки. Участок 1 (ниспадающая ветвь до точки A) представляет собой поворот зерновки, обусловленный воздействием сил трения. В точке A угловое ускорения равно нулю, что свидетельствует о прекращении и дальнейшем отсутствии качения. Точка B соответствует началу вращения, если повернуть эллипс (зерновку) до нее искусственно, участок 3 может соответствовать качению из положения, соответствующего точке B.

Полученные зависимости довольно точно описываются полиномами третьей степени. Задача по определению угла поворота зерновки γ будет заключаться в определении угла α , при котором угловое ускорение $\varepsilon = 0$, а в свою очередь $\gamma = 180 - \alpha$.

Математически задача сводится к решению кубического уравнения, описывающего изменение углового ускорения ε . Решением являются три корня: $x_1 = 21^\circ$, $x_2 = 213^\circ$, $x_3 = 66^\circ$, в точке A угловое ускорение равно нулю, что соответствует $\varphi = 21^\circ$. Подставив полученное значение (точка A) в уравнение угла α и спроецировав полученное решение (точка C) на ось y получим $\alpha = 122^\circ$ (точка D), угол поворота зерновки $\gamma = 58^\circ$. Таким образом, при движении между двумя поверхностями при отсутствии качения зерновка будет поворачиваться на 58° .

Проведем оценку достаточности контакта поперечного сечения зерновки с впитывающей фетровой поверхностью. Для этого на схеме контакта дополнительно отметим пятно контакта и глубину погружения зерновки в фетр с обеих сторон (рис. 7).

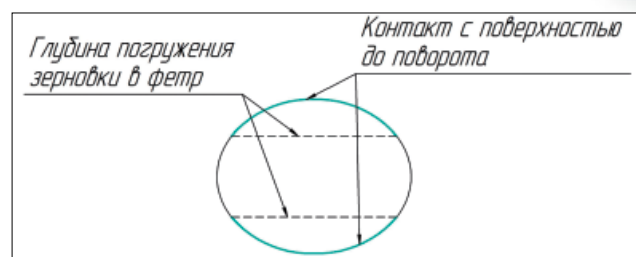


Рис. 7. Глубина погружения зерновки в фетр
Fig. 7. Depth of caryopsis immersion in felted cloth

Повернув зерновку на расчетный угол $\gamma = 58^\circ$ и перенеся глубину погружения зерновки в фетр на схему, получим область зерновки, контактирующую с впитывающей поверхностью, и область, не вступившую в контакт (рис. 8)

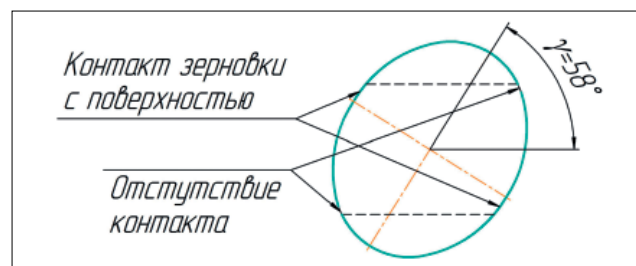


Рис. 8. Контакт зерновки с поверхностью при повороте
Fig. 8. Contact of caryopsis with the surface during rotation

Таким образом, при повороте площадь зерновки, не контактировавшей с поверхностью, незначительна. Следовательно, для удаления избыточной влаги с поверхности зерновки ее полное качение между впитывающими поверхностями не обязательно.

В результате дальнейших исследований установлено, что в частных случаях форма зерновки может отличаться от эллипсоидной и в плоскости bc иметь ромбовидное сечение (рис. 9).

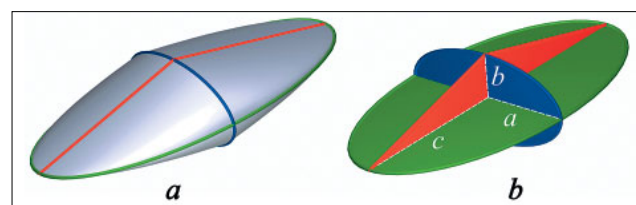


Рис. 9. Модель зерновки с ромбовидным сечением в продольной плоскости: а – объемная модель; б – секущие плоскости

Fig. 9. Model of a caryopsis with diamond section in the apical plane: a – solid model of the caryopsis; b – sectional planes

Такой характер зерновки приведет к неполному контакту с влаговпитывающей поверхностью и будет зависеть от положения зерновки на ленте. В случае уравновешенного расположения зерновки кон-

такт будет по центру (рис. 10а), а при нарушении равновесия зерновки контакт может сместиться в сторону по ромбовидной поверхности (рис. 10б).

Причем пятно контакта зерновки, показанной справа (рис. 10б), получено при увеличенном до 5 Н усилии, что с учетом средней площади сечения зерновок в эксперименте в плоскости ac составило $0,19 \text{ Н/мм}^2$.

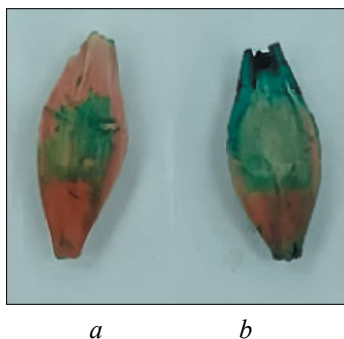


Рис. 10. Смещение пятна контакта
Fig. 10. Relocation of contact patch

Основной причиной сохранения неокрашенной поверхности зерновки является недостаточная толщина впитывающей поверхности. Из-за этого при увеличении давления до $0,19 \text{ Н/мм}^2$ зерновка, преодолев сопротивление фетра, уперлась в опорную пластину. Таким образом, при удалении избыточной поверхностной влаги с зерновок может иметь значение толщина ленты $S_{\text{пов}}$ из впитывающего материала. Для исследования этого предположения использовали фетр толщиной 1,1 мм, близкой половине толщины зерновки $S_{\text{зерн}}$.

При усилии $0,1 \text{ Н/мм}^2$ на поверхности зерновки остались незначительные непрокрашенные участки (рис. 11а). Полное окрашивание зерновки (рис. 11б) при усилии $0,19 \text{ Н/мм}^2$ свидетельствует о полноценном контакте с впитывающей поверхностью и удалении избыточной поверхностной влаги.

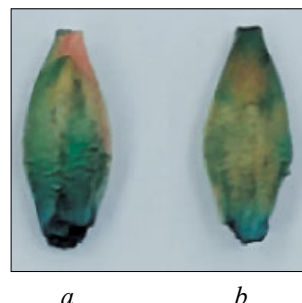


Рис. 11. Площадь контакта зерновки при условии $S_{\text{пов}} \approx 1/2 S_{\text{зерн}}$ и усилии давления: а – $0,1 \text{ Н/мм}^2$; б – $0,19 \text{ Н/мм}^2$
Fig. 11. Contact area of the caryopsis under the condition of $S_{\text{surf}} \approx 1/2 S_{\text{caryop}}$ and applied pressure force: а – 0.1 N/mm^2 ; б – 0.19 N/mm^2

Выводы

Разработанная математическая модель движения зерновки при удалении избыточной поверхностной влаги с семян позволяет сделать вывод, что даже при отсутствии качения зерновок влага будет удаляться эффективно. Экспериментальные исследования позволили сделать заключение, что для удаления поверхностной влаги с зерновки без качения необходимо обеспечить усилие давления $0,19 \text{ Н/мм}^2$ при толщине влаговпитывающей поверхности, равной половине толщины зерновки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арютов Б.А., Новожилов А.И., Пасин А.В., Соколов С.А. Повышение эффективности производственных процессов в растениеводстве // *Техника в сельском хозяйстве*. 2007. №6. С. 50-51. EDN: IISBEZ.
2. Бартенев И.И., Подвигина О.А., Гаврин Д.С., Подосинников И.В. Способы предпосевной подготовки семян и методика их моделирования // *Лесотехнический журнал*. 2018. Т. 8. №4(32). С. 199-207. DOI: 10.12737/article_5c1a3235d34735.47391674.
3. Волхонов М.С., Мамаева И.А., Беляков М.М. Классификация и определение эффективности известных способов предпосевной обработки семян // *Вестник НГИЭИ*. 2022. №8(135). С. 7-19. DOI: 10.24412/2227-9407-2022-8-7-19.
4. Касьяненко А.В., Краснов И.Н. Совершенствование технологии подготовки семян зерновых к озимому посеву в условиях аридизации климата // *Вестник аграрной науки Дона*. 2017. №3 (39). С. 42-47. EDN: ZVHYOD.
5. Chatterjee N., Sankar A., Singh R. K. et al. On-farm seed priming interventions in agronomic crops. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2018. Vol. 111. N3. 715-735. DOI: 10.14720/aas.2018.111.3.19.
6. Янченко А.В., Бухаров А.Ф., Федосов А.Ю. Прайминг – инновационное развитие методологии подготовки семян к посеву (обзор) // *Овощи России*. 2023. № 5. С. 28-36. DOI: 10.18619/2072-9146-2023-5-28-36.
7. Касьяненко А.В., Краснов И.Н., Кравченко И.А. и др. Подготовка семян к озимому посеву в засушливых условиях на агрегатах типа ЗАВ // *Сельский механизатор*. 2020. №5-6. С. 37-38. EDN: ORGBBT.
8. Shihab M.O., Hamza J.H. Seed priming of sorghum cultivars by gibberellic and salicylic acids to improve seedling growth under irrigation with saline water. *Journal of Plant Nutrition*. 2020. №43:13. 1951-1967. DOI: 10.1080/01904167.2020.1766066.
9. Sagvand M., Esfahani M.N., Hadi F. Pre-sowing enrichment of *Echinacea angustifolia* seeds with macronutrients improved germination performance and early seedling growth via stimulating the metabolism of reserves. *Industrial*

- Crops and Products*. 2022. Vol. 188. Part A. 115614. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115614.
10. Краснов И.Н., Кравченко И.А., Касьяненко А.В., Хро-
нюк В.Б. Влияние влагозащитной обработки насы-
щенных водой семян на рост и развитие ячменя // *Вестник аграрной науки Дона*. 2023. Т. 16. N2(62).
С. 17-26. DOI: 10.55618/20756704_2023_16_2_17-26.
 11. Киприянов Ф.А., Савиных П.А. Выявление особен-
ностей предпосевного увлажнения семян кукурузы // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2022. N4(60). С. 61-67.
DOI: 10.35694/YARCX.2022.60.4.007.
 12. Крючин, Н.П., Петров А.М., Артамонова О.А. Разра-
ботка технологии предпосевной подготовки семян бо-
бовых трав // *Известия Оренбургского государствен-
ного аграрного университета*. 2018. N5(73). С. 99-102.
EDN: YNDPID.
 13. Krasnov I.N., Kravchenko I.A., Miroshnikova V.V.,
Tolstoukhova T.N. The sowing of grain crops in dry con-
ditions. *International Journal of Advanced Biotechnol-
ogy and Research*. 2017. Vol. 8. N4. 957-963. EDN: XMMEQX.
 14. Лящева Л.В. Влияние высушивания намоченных и
проросших семян в воде и в регуляторах роста на
посевные качества и урожайность моркови // *Сибир-
ский вестник сельскохозяйственной науки*. 2007. N9(177).
С. 35-40. EDN: ICAASV.
 15. Краснов И.Н., Касьяненко А.В., Аришин Ю.И. и др.
Совершенствование процессов наружной сушки на-
сыщенных водой семян и нанесения на них влагоза-
щитного покрытия // *Вестник аграрной науки Дона*.
2022. Т. 15. N2(58). С. 53-61. DOI: 10.55618/
20756704_2022_15_2_53-61.
 16. Киприянов Ф.А. Инженерно-технические решения
для повышения эффективности предпосевного увлаж-
нения семян // *Вестник Алтайского государственного
аграрного университета*. 2023. N12(230). С. 88-95.
DOI: 10.53083/1996-4277-2023-230-12-88-95.
 17. Забродин В.П., Суханова М.В. Анализ процессов вза-
имодействия семян с рабочими органами машин пред-
посевной обработки циклического действия // *Сель-
скохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13.
N5. С. 63-68. DOI: 10.22314/2073-7599-2019-13-5-63-68.
 18. Суханова М.В., Забродин В.П. Сравнительный ана-
лиз воздействия поверхности различной жесткости
рабочих органов сельскохозяйственной техники на
твердую частицу сыпучего тела // *Вестник аграрной
науки Дона*. 2017. N2(38). С. 19-22. EDN: ZVKCYR.
 19. Ценч Ю.С., Годлевская Е.В. Математическое модели-
рование как инструмент проектирования сельскохо-
зяйственных машин и агрегатов (применительно к
истории развития научной школы Южного Урала) // *Сель-
скохозяйственные машины и технологии*. 2023.
Т. 17. N2. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-4-12.
 20. Зубина В.А., Годжаев Т.З. Сравнительный анализ мето-
дов решений оптимизационных задач для сельскохо-
зяйственного машиностроения // *Агроинженерия*. 2023.
Т. 25. N1. С. 11-16. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-11-16.

REFERENCES

1. Aryutov B.A., Novoshilov A.V., Sokolov S.A. Increasing
effectiveness of production processes in the plant indus-
try. *Machinery in Agriculture*. 2007. N7. 50-51 (In Rus-
sian). EDN: IISBEZ.
2. Bartenev O.A., Podvigina D.S., Gavrin D.S., Podosin-
nikov I.V. Methods of pre-seeding preparation of seeds
and method of their simulation. *Forestry Engineering Jour-
nal*. 2018. Vol. 8. N4(32). 199-207 (In Russian). DOI:
10.12737/article_5cla3235d34735.47391674.
3. Volkhonov M.S., Mamaeva I.A., Belyakov M.M. Classi-
fication and determination of the efficiency of known
methods of seed pre-sowing treatment. *Bulletin NGIEI*.
2022. N8(135). 7-19 (In Russian). DOI: 10.24412/2227-
9407-2022-8-7-19.
4. Kasyanenko A.V., Krasnov I.N. Improvement of the tech-
nology to prepare grain seeds for autumn sowing in the
conditions of climate aridization. *Don Agrarian Science
Bulletin*. 2017. N3(39). 42-47 (In Russian). EDN: ZVHYOD.
5. Chatterjee N., Sankar A., Singh R. K. et al. On-farm seed
priming interventions in agronomic crops. *Acta Agricul-
turae Slovenica*. 2018. Vol. 111. N3. 715-735 (In English).
DOI: 10.14720/aas.2018.111.3.19.
6. Yanchenko A.V., Bukharov A.F., Fedosov A.Y. Priming –
innovative development of methodology preparation of
seeds for sowing (review). *Vegetable crops of Russia*. 2023.
N5. 28-36 (In Russian). DOI: 10.18619/2072-9146-2023-5-28-36.
7. Kasyanenko A.V., Krasnov I.N., Kravchenko I.A. et al.
Preparation of seeds for winter sowing in dry conditions
on units of the ZAV type. *Sel'skiy mekhanizator*. 2020.
N5-6. 37-38 (In Russian). EDN: ORGBBT.
8. Shihab M.O., Hamza J.H. Seed priming of sorghum cul-
tivars by gibberellic and salicylic acids to improve seed-
ling growth under irrigation with saline water. *Journal of
Plant Nutrition*. 2020. 43:13. 1951-1967 (In English). DOI:
10.1080/01904167.2020.1766066
9. Sagvand M., Esfahani M.N., Hadi F. Pre-sowing enrich-
ment of *Echinacea angustifolia* seeds with macronutrients
improved germination performance and early seedling
growth via stimulating the metabolism of reserves. *Indus-
trial Crops and Products*. 2022. Vol. 188. Part A. 115614
(In English). DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.115614.
10. Krasnov I.N., Kravchenko I.A., Kasyanenko A.V., Khro-
nyuk V.B. Effect of waterproof treatment of water-
saturated seeds on the growth and development of barley.
Don Agrarian Science Bulletin. 2023. Vol. 16. N2(62). 17-26
(In Russian). DOI: 10.55618/20756704_2023_16_2_17-26.
11. Kipriyanov F.A., Savinykh P.A. Identification of features
of presowing moistening of corn seeds. *Herald of Agroin-
dustrial Complex of Upper Volga Region*. 2022. N4(60).
61-67 (In Russian). DOI: 10.35694/YARCX.2022.60.4.007.

12. Kryuchin N.P., Petrov A.M., Artamonova O.A. Development of the technology of presowing preparation of legume-grass seeds. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2018. 5(73). 99-102 (In Russian). EDN: YNDPID.
13. Krasnov I.N., Kravchenko I.A., Miroshnikova V.V., Tolstoukhova T.N.. The sowing of grain crops in dry conditions. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 2017. Vol. 8. N4. 957-963 (In English). EDN: XMMEQX.
14. Lyashcheva L.V. Influence of drying seeds wetted with water and growth regulators and germinated on sowing qualities and yielding ability of carrot. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2007. N9(177). 35-40 (In Russian). EDN: ICAASV.
15. Krasnov I.N., Kasyanenko A.V., Arishin Yu.I. et al. Improving outdoor processes of drying seeds saturated with water and application on them waterproof coating. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2022. Vol. 15. N2 (58). 53-61 (In Russian). DOI: 10.55618/20756704_2022_15_2_53-61.
16. Kipriyanov F.A. Engineering and technical solutions to improve effectiveness of pre-sowing moistening of seeds. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2023. N12(230). 88-95 (In Russian). DOI: 10.53083/1996-4277-2023-230-12-88-95.
17. Zabrodin V.P., Sukhanova M.V. Analyzing interaction between seeds and pre-seeding treatment machines of cyclic action. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2019. Vol. 13. N5. 63-68 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2019-13-5-63-68.
18. Sukhanova M.V., Zabrodin V.P. Comparative analysis of influence of surface of different rigidity of working parts of agricultural technics on a hard part of solid particle of free-flowing body. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2017. N2(38). 19-22 (In Russian). EDN: ZVKCYR.
19. Tsench Yu.S., Godlevskaya E.V. Mathematical modeling as an aspect for designing agricultural machines and units (development history of Southern Urals scientific school). *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N2. 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-4-12.
20. Zubina V.A., Godzhayev T.Z. Comparative analysis of methods for solving optimization problems in agricultural engineering. *Agricultural Engineering*. 2023. Vol. 25. N1. 11-16 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2023-1-11-16.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Киприянов Ф.А. – существенный вклад в замысел и дизайн исследования, сбор данных, их анализ и интерпретация;

Алешкин А.В. – анализ данных, критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания;

Савиных П.А. – критический пересмотр в части значимого интеллектуального содержания, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Kipriyanov F.A. – significant contribution to the conception and design of the research, data collection, analysis and interpretation;

Aleshkin A.V. – data analysis and critical revision for important intellectual content;

Savinykh P.A. – critical revision for important intellectual content and final approval of the manuscript 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

01.10.2024

07.11.2024

EDN: EOWTQK

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-13-21



Научная статья

УДК 631.3



Методы проектирования технологий органического производства продукции растениеводства

Антон Михайлович Захаров,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: zamsznii@yandex.ru;
Анатолий Арсеньевич Устрьев,
кандидат технических наук,
ведущий специалист,
e-mail: agrotehinvest@mail.ru;

Евгений Александрович Мурзаев,
научный сотрудник,
e-mail: murzaev.e.a@mail.ru;
Алексей Дмитриевич Комоедов,
младший научный сотрудник,
komoe dov.alexexj@yandex.ru

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

Реферат. К основным причинам усиления антропогенного воздействия на окружающую среду относится интенсификация сельскохозяйственного производства, в частности наращивание мощностей на предприятиях, производящих продукцию растениеводства. Одним из подходов митигации экологических рисков является частичный переход к органическим видам хозяйствования. Однако для устойчивого развития органического производства в РФ требуется создать наукоемкую среду для интеграции последних достижений в биологических, инженерных и цифровых науках с целью формирования методов для проектирования технологий органического производства продукции растениеводства. (*Цель исследования*) Теоретические исследования по разработке методов проектирования машинных технологий органического производства продукции растениеводства. (*Материалы и методы*) Проведен анализ разработанных ранее методов проектирования, их преимуществ и недостатков. Основываясь на этом анализе, на наш взгляд, рационально интерпретировать классический метод *Waterfall* – каскадный метод проектирования. (*Результаты и обсуждение*) На начальной стадии реализации каскадной модели разработана блок-схема генерального алгоритма проектирования машинных технологий производства органической продукции растениеводства. На первом этапе генерального алгоритма проводится анализ почвенно-климатических и хозяйственных условий и после их фиксации происходит переход к выбору средств производства (семенной материал, система удобрений и система защиты растений). Выбор осуществляется по критериям экологической безопасности, качеству получаемой продукции, потенциальной урожайности и затратам денежных средств. Следующим этапом алгоритма предусмотрен выбор рациональных вариантов технологических операций и машинно-тракторных агрегатов. Выбор осуществляется согласно разработанному интегральному эколого-экономическому критерию, который представлен в виде суммы совокупных затрат денежных средств на выполнение единицы наработки, экономического убытка от потери питательных элементов из пахотного горизонта и экономического убытка от переуплотнения почвы при выполнении технологических операций. Интегральный эколого-экономический критерий должен стремиться к минимуму для каждой технологической операции. (*Выводы*) Предложенные методы проектирования технологий органического производства продукции растениеводства позволят сформировать цифровую систему базовых технологий и машин и разрабатывать технологические карты по органическому возделыванию культур для конкретных почвенно-климатических и хозяйственных условий.

Ключевые слова: органическое сельское хозяйство, технологии производства продукции растениеводства, методы проектирования.

■ Для цитирования: Захаров А.М., Устрьев А.А., Мурзаев Е.А., Комоедов А.Д. Методы проектирования технологий органического производства продукции растениеводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 13-21. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-13-21. EDN: EOWTQK.

Scientific article

Methods for Designing Technologies of Organic Crop Production

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

Anatoly A. Ustroe v,
Ph.D.(Eng.), researcher,
e-mail: agrotehinvest@mail.ru;

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

Aleksey D. Komoedov,
junior researcher,
komoedov.alexej@yandex.ru

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. One of the primary factors contributing to the increasing anthropogenic impact on the environment is the intensification of agricultural production, particularly the expansion of enterprises engaged in crop production. One of the approaches to mitigating environmental risks is a partial transition to organic farming. However, the sustainable development of organic production in the Russian Federation requires the establishment of a knowledge-intensive environment that integrates the latest advancements in biological, engineering, and digital sciences to develop innovative methods for designing organic crop production technologies. (*Research purpose*) To conduct theoretical studies aimed at developing methods for designing machine technologies applicable to organic crop production. (*Materials and methods*) An analysis of previously developed design methods was conducted to evaluate their advantages and disadvantages. Based on this analysis, the classical *Waterfall* model – a sequential design approach – was identified as a rational choice for interpretation. (*Results and discussion*) At the initial stage of implementing the *Waterfall* model, a block diagram was developed to outline the general algorithm for designing machine technologies applicable in organic crop production. The first phase of this algorithm involves analyzing soil-climatic and economic conditions. Once these conditions are assessed, production resources, such as seed material, fertilizer system, and plant protection system, are selected based on key criteria, including environmental safety, product quality, potential yield, and financial costs. This algorithm then proceeds to the selection of the most efficient technological operations and machine-tractor units. This selection is guided by an integrated eco-economic criterion, formulated as the sum of three components: total financial costs per unit of work, economic losses due to nutrient depletion in the arable layer, and economic losses resulting from soil compaction during technological operations. The integrated eco-economic criterion must be optimized to minimize its value for each technological operation. (*Conclusions*) The developed methods of designing technologies for the organic production of crop make it possible to form a digital system of basic technologies and machines, to develop technological maps for organic cultivation under specific soil, climatic and economic conditions.

Keywords: organic agriculture, crop production technologies, design methods.

■ **For citation:** Zakharov A.M., Ustroeв A.A., Murzaev E.A., Komoedov A.D. Methods for designing technologies of organic crop production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 13-21 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-13-21. EDN: EOWTQK.

Согласно «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденной указом Президента РФ от 28.02.2024 г. № 145, к наиболее значимым вызовам относится возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду до масштабов, угрожающих воспроизводству природных ресурсов, и связанный с их неэффективным использованием рост рисков для жизни и здоровья граждан, изменение климата и влияние последствий этого на отрасли экономики, население и окружающую среду.

Одна из основных причин усиления антропогенного воздействия на окружающую среду обусловлена интенсификацией сельскохозяйственного производства, в частности наращиванием мощностей при производстве продукции растениеводства. Контроль, оценка, прогнозирование и регулирование антропогенного воздействия интенсивных машинных технологий, основанные на изучении тенденции развития системы природопользования и перспектив хозяйственного и научно-технического развития общества, в современных условиях становятся приоритетными задачами [1].

Для митигации экологических рисков необходимо сформировать рациональные методы проектирования и управления технологиями производства продукции растениеводства и интегрировать их в новые стратегии ведения сельскохозяйственного бизнеса на основе цифровых технологий [2-4], ориентированные на интенсификацию природных процессов [5] и минимизацию антропогенного следа в природных экосистемах [6, 7].

Одним из подходов для повышения экологизации производства продукции растениеводства служит частичный переход к органическим видам хозяйствования [8, 9], поскольку требования о исключении химических средств заведомо улучшают экологические показатели аграрных систем [10, 11]. Производство органической продукции позволяет решать ряд проблем агропромышленного комплекса (*рис. 1*).

Нормативно-правовая база в области органического производства сельскохозяйственной продукции накладывает ряд запретов на применение агрохимикатов, антибиотиков и стимуляторов роста химического происхождения. Такие ограниче-



Рис. 1. Локальные цели органического производства сельскохозяйственной продукции

Fig. 1. Local goals of organic agricultural production

ния определены Федеральным законом «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 03.08.2018 N 280-ФЗ, а также ГОСТ Р 56104-2014 «Продукты пищевые органические. Термины и определения», ГОСТ Р 56508-2015 «Продукция органического производства, Правила производства, хранения, транспортирования», ГОСТ Р 57022-2016 «Продукция органического производства. Порядок проведения добровольной сертификации органического производства», ГОСТ 33980-2016 «Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации».

В связи с этим при реализации подходов к органическому производству возникает ряд проблем по замещению запрещенных средств на разрешенные – биологические.

Распоряжением Правительства РФ № 1788-р от 4.07.2023 принята «Стратегия развития органического производства в Российской Федерации до 2030 года», в которой указаны две глобальные цели внедрения систем органического производства продукции растениеводства:

- снижение антропогенного воздействия на параметры агроэкосистем при возделывании культурных растений [12];
- получение экологически чистых, высококачественных продуктов питания для населения [13].

Для достижения поставленных целей необходима разработка технологий органического производства продукции растениеводства (ОППР) с учетом зональных почвенно-климатических условий [14, 15]. При этом необходимо учитывать специфические требования, изложенные в законодательных документах РФ, регламентирующих правила производства органической сельскохозяйственной продукции.

К этим требованиям относятся:

- обособление площадей, отведенных под производство органической продукции растениеводства, от площадей возделывания культурных растений по прочим технологиям с использованием методов химизации;
- применение только тех химических средств защиты и стимулирования роста и развития растений, которые разрешены при органическом производстве;
- применение только разрешенных при органическом производстве минеральных удобрений;
- исключение перемешивания готовой органической продукции с продукцией, полученной по прочим технологиям с использованием методов химизации;
- запрет на использование при хранении и транспортировке органической продукции упаковки, которая может привести к загрязнению и потере качества.

Помимо ограничений имеется ряд базовых критериев, которым должна удовлетворять любая технология производства продукции растениеводства:

- урожайность;
- качество;
- экономическая эффективность;
- экологическая безопасность;
- фитосанитарная устойчивость;
- адаптивность;
- безопасность;
- доступность.

Таким образом, для проектирования технологий ОППР необходимо провести консолидацию требований к производству органической продукции, регламентированных нормативными документами, и базовых критериев путем интеграции ряда методических и методологических подходов.

Цель исследования. Разработать методы проектирования машинных технологий органического производства продукции растениеводства.

Задачами исследований являются:

- анализ требований к проектированию машинных технологий ОППР;
- обоснование критериев оценки машинных технологий ОППР;
- разработка алгоритмов проектирования машинных технологий ОППР.

Материалы и методы. В связи с поставленными глобальными задачами (снижение антропогенного воздействия на агроэкосистемы и получение экологически чистых, высококачественных продуктов питания) системы органического производства продукции растениеводства рационально представить группами критериев качества и экологической безопасности производства. Также надо отметить, что важными критериями оценки любых машинных

технологий являются урожайность [17] и экономическая эффективность [18, 19, 20], поэтому следует дополнительно использовать их для оценки машинных технологий ОППР [21]. Схема взаимосвязи объектов технологии и групп критериев оценки представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Взаимосвязь объектов технологии и групп критериев оценки

Fig. 2. Interrelation between technology objects and groups of evaluation criteria

В связи с поставленными глобальными задачами (снижение антропогенного воздействия на агроэкосистемы и получение экологически чистых, высококачественных продуктов питания) системы органического производства продукции растениеводства рационально представить группами критериев качества и экологической безопасности производства. Также для оценки машинных технологий органического производства необходимо учитывать критерии урожайности и экономической эффективности (Буланова М.В., Слива И.В., Жуков Ю.П. и др. Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий. М.: Росинформагротех. 2005. 784 с.), [16-19].

В процессе научных исследований проведен анализ разработанных ранее методов проектирования, таких как *Waterfall*, *Agile*, *Scrum* и др., основных преимуществ и недостатков их научных принципов. Основываясь на этом анализе при проектировании технологий органического производства продукции растениеводства, на наш взгляд, рационально интерпретировать классический метод *Waterfall* – каскадный метод проектирования. В результате исследований разработана каскадная модель проектирования технологий ОППР. Она включает в себя ряд основных стадий с жесткой иерархией, которые необходимо реализовать при проектировании технологий [20].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. На начальной стадии реализации каскадной модели разработана блок-схема генерального алгоритма (ГА) проектирования машинных технологий ОППР, включающего в себя индивидуальные алгоритмы или подалгоритмы

выбора рациональных вариантов объектов технологии и их связи между собой (рис. 3). Все представленные блок-схемы алгоритмов разработаны с учетом ГОСТ 19.701-90 «Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения» в программной среде *MicrosoftVisio*.

При разработке генерального алгоритма использовались две основные алгоритмические конструкции: следования и цикла.

На первом этапе генерального алгоритма необходимо провести анализ соответствия почвенно-климатических и хозяйственных условий (ПКХУ) их зональной базе данных. После их определения и фиксации необходимо произвести ввод данных о требованиях к средствам производства (семенному материалу, применяемой системе удобрений и применяемой системе защиты растений).

Выбор рациональных вариантов средств производства проводится из их баз данных по критериям:

- экологической безопасности ($E_{эко}$), которая включает в себя два критерия: потенциальное количество выбросов парниковых газов (N_2O) и потенциальному количеству выноса биогенных элементов (L_{agr});
- качеству получаемой продукции (K_k), которое включает в себя потенциальные морфологические характеристики товарной продукции и потенциальные химические характеристики товарной продукции (определяются согласно генетическому потенциалу выбранного сорта);
- потенциальной урожайности ($V_{пот}$);
- затрат денежных средств на приобретение ($З_{сеп}$).

В главе 11 Руководящих принципов национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК (2006) представлены уравнения для определения прямых выбросов N_2O из обрабатываемых почв уровня 1:

$$N_2O_{Прям-N} + N_2O-N_{Н_{поступл}} + N_2O-N_{OS}, \quad (1)$$

где $N_2O_{Прям-N}$ – годовые прямые выбросы N_2O-N из обрабатываемых почв, кг N_2O /год;

$N_2O-N_{Н_{поступл}}$ – годовые прямые выбросы N_2O-N в результате поступлений азота в обрабатываемые почвы, кг N_2O /год; N_2O-N_{OS} – годовые прямые выбросы N_2O-N из обрабатываемых органических почв, кг N_2O /год.

В качестве модели оценки потенциального количества выноса биогенных элементов применяется методика, разработанная специалистами ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Эта методика требует сбора более подробных сведений о сельскохозяйственной деятельности на рассматриваемой территории и зависит прежде всего от содержания и поступления элементов питания в почву.

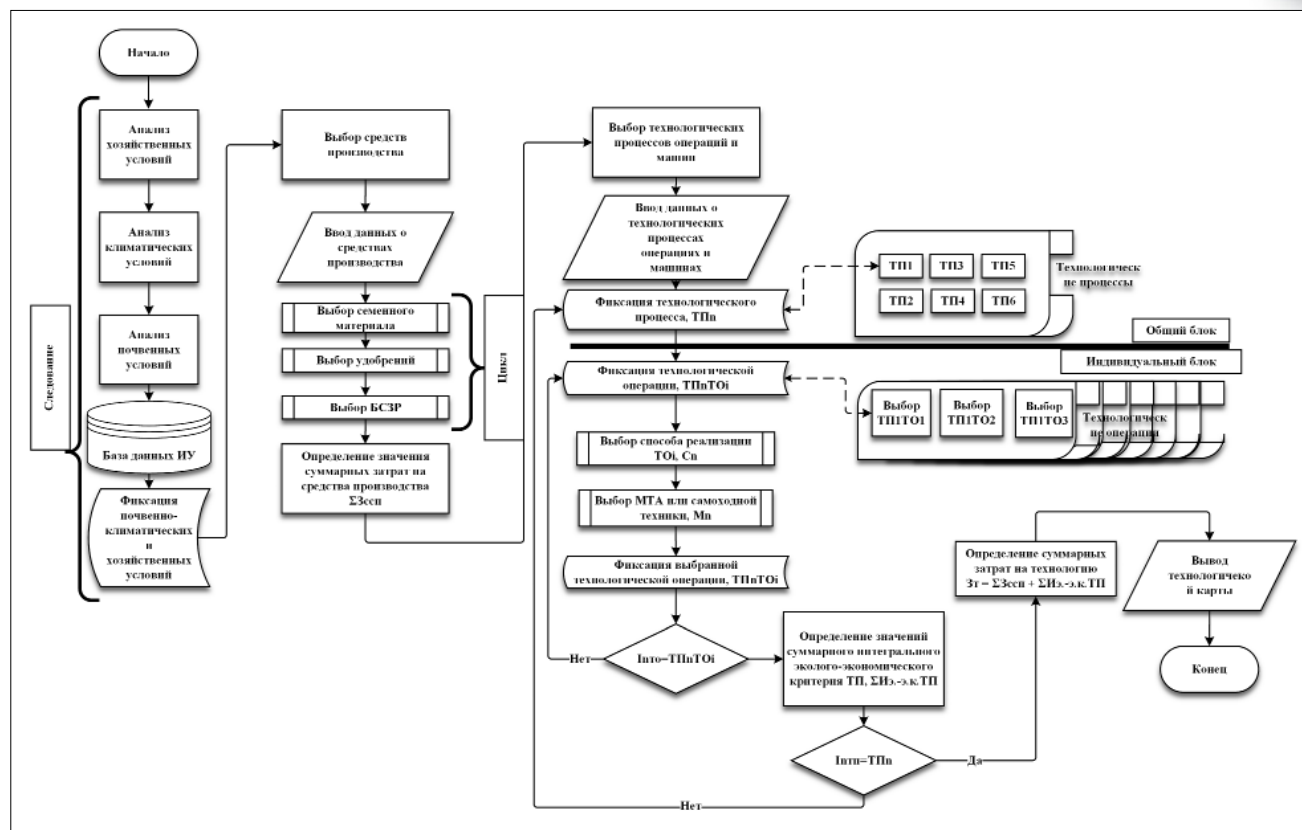


Рис. 3. Блок-схема генерального алгоритма проектирования машинных технологий производства органической продукции растениеводства

Fig. 3. Block diagram of the general algorithm for designing machine technologies in organic crop production

В основе расчета годового выноса биогенных веществ, сформированного на полях сельхозпредприятий L_{agr} (т/год), следующая формула:

$$L_{agr} = 0,001 \sum_i A_i (M_{soil i} K_1 + \alpha_2 M_{org i}) K_2 K_3 K_4 K_5, \quad (2)$$

где $M_{soil i}$ – содержание биогенного вещества в пахотном слое почвы, кг/га; $M_{org i}$ – доза внесения органических удобрений на поля i -го сельхозпредприятия, кг/га; A_i – площадь угодий i -го сельхозпредприятия, (га); α_2 – коэффициент, учитывающий усвоение органических удобрений сельхозкультурами; K_1 – коэффициент, характеризующий вынос биогенных веществ из пахотного слоя почв; K_2 – коэффициент удаленности контура сельскохозяйственных угодий от гидрографической сети; K_3 – коэффициент, характеризующий тип почв (по происхождению); K_4 – коэффициент, характеризующий механический состав почв; K_5 – коэффициент, учитывающий структуру сельхозугодий, т.е. соотношение площадей пашни, многолетних трав, лугов, пастбищ [21].

Потенциальная урожайность $Y_{пот.}$ определяется согласно уравнению:

$$Y_{пот.} = D / (H \cdot K), \quad (3)$$

где D – количество внесенных питательных элементов, кг/га; H – потребление питательных элементов растением, кг/ц; K – коэффициент потребления питательных элементов растением [22].

Суммарные затраты денежных средств

$$\Sigma Z_{ссп} = Z_{см} + Z_d + Z_{бсзр}, \quad (4)$$

где $Z_{см}$ – затраты на семенной материал, руб/т; Z_d – затраты на удобрения, руб/т; $Z_{бсзр.}$ – затраты на приобретение биологических средств защиты растений, руб/т.

После расчета суммарных затрат происходит переход к следующей стадии проектирования, а именно, выбору технологических процессов, технологических операций и машинно-тракторных агрегатов.

Согласно ГОСТ 3.1109-82 «Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий» технологический процесс (ТП) – это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда. Технологическая операция (ТО) – это часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте, над одним или несколькими одновременно обрабатываемыми или собираемыми изделиями, одним или несколькими рабочими.

В связи с вышесказанным, нами предлагается разделить технологию производства продукции растениеводства на шесть технологических процессов:

осенняя подготовка почвы (ТП₁); весенняя подготовка почвы (ТП₂); посев/посадка (ТП₃); уход за посевами/посадками (ТП₄); уборка (ТП₅); хранение и предпродажная подготовка товарной продукции (ТП₆).

Поскольку система технологических процессов представляет собой сложную многопараметрическую систему, для дальнейшего описания ее рационально представить в виде многозвенной информационной модели (рис. 4).

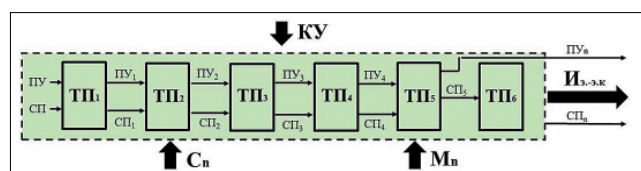


Рис. 4. Многозвенная информационная модель технологических процессов производства органической продукции растениеводства

Fig. 4. Multi-link information model of technological processes in organic crop production

Каждый из представленных технологических процессов подвергает изменению почвенные условия (ПУ) и средства производства (СП) в вероятностно-статистическом смысле. Таким образом, в результате реализации каждого технологического процесса формируются различные ПУ и СП. Например, на входе ТП₁ ПУ₁ и СП₁ имеют вероятностно-статистические характеристики, созданные воздействием ТП₁, а на выходе ТП₂ формируются иные ПУ₂ и СП₂.

Формирование случайных характеристик зависит от применяемых способов (С_н) и машинно-тракторного агрегата или самоходной техники (М_н), а также от неконтролируемых факторов, которые представлены в виде климатических условий (КУ). Все представленные технологические процессы изменяют характеристики ПУ и СП, кроме ТП₆, поскольку при хранении и предреализационной подготовке товарной продукции не происходит воздействие на ПУ. На выходе системы технологических процессов имеется ряд критериев оценки, которые объединены в интегральный эколого-экономический критерий.

Интегральный эколого-экономический критерий определяется по формуле:

$$И_{э-э.к} = (З_{сов.н} + S_{п.б.э.н} + S_{уп.н}), \text{ руб/га}, \quad (5)$$

где $З_{сов.н}$ – совокупные затраты денежных средств на выполнение единицы наработки, руб/га (определяются согласно ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки»); $S_{п.б.э.н}$ – экономический убыток от потери питательных элементов из пахотного горизонта, руб/га; $S_{уп.н}$ – экономический убыток от почвенного переуплотнения, руб/га.

Экономический убыток от потерь питательных элементов из пахотного горизонта $S_{п.б.э.н}$, выраженный через снижение урожая, определяется по формуле:

$$S_{п.б.э.н} = (Y_{рас} - Y_{ф}) C_{ст}, \quad (6)$$

где $Y_{рас}$ – расчетная урожайность, т/га; $Y_{ф}$ – формируемая урожайность с учетом потерь питательных элементов из пахотного горизонта, т/га; $C_{ст}$ – стоимость получаемой продукции, руб/т.

Расчетная урожайность определяется по формуле:

$$Y_{рас} = N_{рас} / (H \cdot K), \quad (7)$$

где $N_{рас}$ – количество питательных элементов в почве (с учетом внесения и исходного количества), кг/га; H – норматив потребления питательных элементов на единицу урожая, кг/т (например, для картофеля равен 5 кг/т); K – коэффициент использования питательных элементов растением.

$$Y_{ф} = \frac{N_{рас} - N_{п} - N_{г} + N_{ос}}{H \cdot K}, \quad (8)$$

где $N_{п}$ – потери азота в следствии его выноса из пахотного горизонта, кг/га; $N_{г}$ – потери азота в следствии его выброса с N_2O , кг/га; $N_{ос}$ – привнесение азота с осадками за исследуемый период, кг/га.

Экономический убыток от почвенного переуплотнения $S_{уп.н}$, выраженный через снижение урожая, определяется по формуле:

$$S_{уп.н} = (Y_{рас} - (Y_{рас} \cdot K_{уп})) \cdot C_{ст}, \quad (9)$$

где $K_{уп}$ – коэффициент, учитывающий потерю урожая по причине почвенного уплотнения, т/га.

После выбора способа реализации технологической операции происходит проверка условия выхода из цикла выбора, а именно соответствие выбранного способа почвенно-климатическим и хозяйственным условиям (ПКХУ). При соответствии вышеперечисленным условиям следующим шагом является определение необходимой производительности агрегата по формуле:

$$W_T = \frac{S_x}{(D_{ATT} \cdot T_{CM}) \cdot T_C} \leq W_{MTA}, \quad (10)$$

где S_x – площадь поля, га; D_{ATT} – количество дней (смен) на технологическую операцию по агротехническим требованиям (ATT); T_{CM} – время смены, ч; T_C – коэффициент использования времени смены.

Далее происходит фиксация данных о выбранном способе и необходимой производительности для дальнейшего выбора МТА.

При выборе способа (С_н) и технического средства (М_н) для выполнения технологических операций (которые составляют технологические процессы) необходимо индивидуально по каждому варианту С_н и М_н определить значение интеграль-

ного эколого-экономического критерия $I_{э-э.к.}$. Поскольку выбор M_n является циклическим, условием выхода из цикла принято: $I_{э-э.к.} \rightarrow \min$. При его соблюдении происходит вторая проверка условия $W_T \leq W_{MTA}$ (W_T – требуемая производительность, W_{MTA} – производительность машино-тракторного агрегата), при его невыполнении происходит возврат к выбору сельхозмашины, а при соответствии – фиксация выбранной технологической операции в технологическом процессе и формируется строчка в технологической карте (ТК).

После выбора способа и МТА необходимо зафиксировать вариант технологической операции ($ТП_n TO_i$) и провести проверку, по всем ли TO_n был проведен выбор, т.е. соблюдается ли условие выхода из цикла выбора TO_i , которым является:

$$I_{nTO} = ТП_n \cdot TO_i, \quad (11)$$

где I_{nTO} – необходимое количество итераций цикла выбора TO_i ; $ТП_n TO_i$ – заложенное количество TO в $ТП$.

Если условие не соблюдается, то происходит возврат к шагу фиксации $ТП_n TO_i$, а если соблюдается, то происходит переход к следующему шагу – определению значений суммарного интегрального эколого-экономического критерия $ТП$ по формуле:

$$\Sigma I_{э-э.к.ТП} = I_{э-э.к.ТО1} + I_{э-э.к.ТО2} + \dots + I_{э-э.к.ТОi}. \quad (12)$$

Также после фиксации $ТП_n TO_i$ необходимо провести проверку, по всем ли $ТП_n$ был проведен выбор, т.е. соблюдается ли условие выхода из цикла выбора $ТП_n$, которым является:

$$I_{nТП} = ТП_n, \quad (13)$$

где $I_{nТП}$ – необходимое количество итераций цикла выбора $ТП_n$.

Завершающим шагом генерального алгоритма является расчет суммарных затрат на технологию по формуле:

$$Z_T = \Sigma Z_{ссп} + \Sigma I_{э-э.к.ТП}. \quad (14)$$

После этого происходит формирование технологической карты возделывания i -той культуры.

Выводы. Для обеспечения устойчивого развития органического производства необходимы научно-обоснованные методы проектирования и управления технологиями органического производства продукции растениеводства (ОППР). На начальной стадии проектирования и управления технологиями ОППР необходимо путем декомпозиционного анализа определить базовые стадии проектирования. Для дальнейшей структуризации рационально воспользоваться методом каскадного моделирования.

Разработан генеральный алгоритм проектирования технологий ОППР, который включает в себя ряд индивидуальных алгоритмов, позволяющих осуществить выбор средств производства, способов реализации технологических процессов (C_n) и средств механизации (M_n) согласно разработанному интегральному эколого-экономическому критерию. Данный критерий представлен в виде суммы совокупных затрат денежных средств на выполнение единицы наработки, экономических убытков от потери питательных элементов из пахотного горизонта и от почвенного переуплотнения. Интегральный эколого-экономический критерий должен стремиться к минимуму для каждой операции.

Алгоритм выбора способа и машинно-тракторного агрегата апробирован на примере технологической операции посадки картофеля в технологии его возделывания. На основании критериев эколого-экономической оценки выбран способ посадки с междурядьем 90 см. При таком способе реализации технологической операции потери азота снижаются на 7% и потенциального урожая. Выбор технического средства основан на разнице эксплуатационных затрат применяемых агрегатов, при таком способе посадки разница составила 5,8%.

Предлагаемые методы проектирования технологий органического производства продукции растениеводства позволят сформировать цифровую систему базовых технологий и машин и разрабатывать технологические карты органического возделывания культур для почвенно-климатических и хозяйственных условий у производителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Максимов Д.А., Валкама Е., Минин В.Б. и др. Подходы к освоению органического земледелия // *АгроЭкоИнженерия*. 2020. N4(105). С. 101-113. DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10270.
2. Измайлов А.Ю., Годжаев З.А., Гришин А.П. и др. Цифровое сельское хозяйство (обзор цифровых технологий сельхозназначения) // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N2(31). С. 41-52. EDN: JNIMAH.
3. Попов В.Д., Максимов Д.А., Брюханов А.Ю. Инженерные методы решения проблем устойчивого развития сельхозпроизводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. N4. С. 4-8. EDN: OCPSEB.
4. Минин В.Б., Захаров А.М. Задачи и структура информационно-коммуникационной системы «умного» органического хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N4. С. 56-64. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-56-64.
5. Zakharov A.M., Minin V.B., Murzaev E.A. et al. Effect of deep loosening of inter-rows on physical properties of sod-podzolic soil and yield of organic potato. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2022. Vol. 60. N4. 372-379. DOI: 10.29235/1817-7204-2022-60-4-372-379.
6. Попов В.Д., Федоренко В.Ф., Брюханов А.Ю. Приори-

- теты экологического развития животноводства России и пути их реализации // *Техника и оборудование для села*. 2020. N12(282). С. 2-5. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-12-2-5.
7. Савченко И.В. Ресурсосберегающее экологически чистое растениеводство для получения продукции высокого качества // *Вестник Российской академии наук*. 2019. Т. 89. N5. С. 527-531. DOI: 10.31857/S0869-5873895527-531.
 8. Minin V., Ustroeв A., Mbaiholoie E., Subbotin I. Technical provision of organic farming in Russia: problems and prospects. *NJF Report*. 2017. Vol. 13. N1. 133-134. EDN: UQFGVO.
 9. Smith L.G., Williams A.G., Pearce Bruce D. The energy efficiency of organic agriculture: A review. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2015. N30(3). 280-301. DOI: 10.1017/S1742170513000471.
 10. Федоренко В.Ф., Брюханов А.Ю., Захаров А.М., Мурзаев Е.А. Концептуальные основы развития органического производства сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села*. 2024. N1 (319). С. 2-7. DOI: 10.33267/2072-9642-2024-1-2-7.
 11. Maksimov D.A., Minin V.B., Ustroeв A.A. et al. The effect of biologized methods of potato cultivation in organic farming on its yield. *IOP: Earth and Environmental Science*. 2019. 012088. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012088.
 12. Gamage A., Gangahagedara R., Gamage J. et al. Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*. Vol. 1. Iss. 1. 2023. 100005. DOI: 10.1016/j.farsys.2023.100005.
 13. Mie A., Andersen H.R., Gunnarsson S. et al. Human health implications of organic food and organic agriculture: a comprehensive review. *Environ Health*. 2017. N16. 11. DOI: 10.1186/s12940-017-0315-4.
 14. Scialabba N., Müller-Lindenlauf M. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2010. Vol. 25. Special Iss. 2. 158-169. DOI: 10.1017/S1742170510000116.
 15. Минин В.Б., Черникова М.В. Оценка эффективности органической технологии возделывания картофеля в условиях Ленинградской области // *АгроЭкоИнженерия*. 2023. N4(117). С. 42-57. DOI: 10.24412/2713-2641-2023-4117-42-57.
 16. Петрова Л.И., Митрофанов Ю.И., Гуляев М.В., Первущина Н.К. Влияние различных факторов на формирование урожая и качество продукции картофеля // *Аграрный вестник Урала*. 2021. N4 (207). С. 34-42. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-34-42.
 17. Утенков Г.Л. К оценке эффективности машинных технологий возделывания зерновых культур // *Фундаментальные исследования*. 2017. N12-1. С. 229-233. EDN: ZXPWDB.
 18. Лойко В.И., Ткаченко В.В., Лытнев Н.Н. Модели и методика оценки технологий сельскохозяйственного производства (на примере растениеводства): программная реализация и основные результаты // *Научный журнал КубГАУ*. 2017. N134(10). С. 1-29. DOI: 10.21515/1990-4665-134-104.
 19. Gunnarsson C., Hansson P.-A. Optimisation of field machinery for an arable farm converting to organic farming. *Agricultural Systems*. 2004. N80. 85-103. DOI: 10.1016/j.agry.2003.06.005.
 20. Захаров А.М., Мурзаев Е.А. Каскадная модель проектирования технологий органического производства продукции растениеводства // *АгроЭкоИнженерия*. 2024. N2(119). С. 29-42. DOI: 10.24412/2713-2641-2024-2119-29-42.
 21. Задонская О.В., Обломкова Н.С., Брюханов А.Ю. Сравнительный анализ применения различных методов оценки поступления азота и фосфора от сельского хозяйства в бассейне реки Нарвы // *АгроЭкоИнженерия*. 2022. N1(110). С. 142-155. DOI: 10.24412/2713-2641-2022-1110-142-154.
 22. Филин В.И. Программирование урожая: от идеи к теории и технологиям возделывания сельскохозяйственных культур // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2014. N3(35). С. 26-36.

REFERENCES

1. Maksimov D.A., Valkama E., Minin V.B. et al. Organic project: early results. *AgroEcoEngineering*. 2020. N4(105). 100-113 (In Russian). DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10270.
2. Izmaylov A.Yu., Godzhaev Z.A., Grishin A.P. et al. Digital agriculture (review of agricultural digital technologies). *Agricultural News*. 2019. N2(31). 41-52 (In Russian). EDN: JNIMAH.
3. Popov V.D., Maksimov D.A., Bryuhanov A.Yu. Engineering methods of solving problems of sustainable development of agricultural production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2011. N4. 4-8 (In Russian). EDN: OCPSEB.
4. Minin V.B., Zaharov A.M. Objectives and structure of the information and communication system of smart organic farming. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021. N15(4). 56-64 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-56-64.
5. Zakharov A.M., Minin V.B., Murzaev E.A. et al. Effect of deep loosening of inter-rows on physical properties of sod-podzolic soil and yield of organic potato. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2022. Vol. 60. N4. 372-379 (In English). DOI: 10.29235/1817-7204-2022-60-4-372-379.
6. Popov V.D., Fedorenko V.F., Bryuhanov A.Yu. Priorities of ecological development of livestock breeding in Russia and ways of their realization. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2020. N12(282). 2-5. (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-12-2-5.
7. Savchenko I.V. Ecology safety crop production for obtaining high-quality products. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2019. Vol. 89. N5. 527-531 (In Russian). DOI: 10.31857/S0869-5873895527-531.
8. Minin V., Ustroeв A., Mbaiholoie E., Subbotin I. Technical

- provision of organic farming in Russia: problems and prospects. *NJF Report*. 2017. Vol. 13. N1. 133-134. EDN: UQFGVO.
9. Smith L.G., Williams A.G., Pearce Bruce D. The energy efficiency of organic agriculture: A review. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2015. N30(3). 280-301 (In English). DOI: 10.1017/S1742170513000471.
 10. Fedorenko V.F., Bryukhanov A.Yu., Zakharov A.M., Murzaev E.A. Conceptual basis for the development of organic agricultural production. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024. N1 (319). 2-7 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2024-1-2-7.
 11. Maksimov D.A., Minin V.B., Ustroeв A.A. et al. The effect of biologized methods of potato cultivation in organic farming on its yield. *IOP: Earth and Environmental Science*. 2019. 012088. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012088.
 12. Gamage A., Gangahagedara R., Gamage J. et al. Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*. Vol. 1. Iss. 1. 2023. 100005. DOI: 10.1016/j.farsys.2023.100005.
 13. Mie A., Andersen H.R., Gunnarsson S. et al. Human health implications of organic food and organic agriculture: a comprehensive review. *Environ Health*. 2017. N16. 111. DOI: 10.1186/s12940-017-0315-4.
 14. Scialabba N., Müller-Lindenlauf M. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2010. Vol. 25. Special Iss. 2. 158-169. DOI: 10.1017/S1742170510000116.
 15. Minin V.B., Chernikova M.V. Efficiency assessment of organic potato cultivation technology in the Leningrad Region. *AgroEcoEngineering*. 2023. N4(117). 42-57 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2023-4117-42-57.
 16. Petrova L.I., Mitrofanov Yu.I., Gulyaev M.V., Pervushina N.K. Influence of various factors on crop formation and potato quality. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021 N4 (207). 34-42 (In Russian). DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-34-42.
 17. Utenkov G.L. To estimate the efficiency of machine technologies of cultivation grain crops. *Fundamental research*. 2017. N12-1. 229-233 (In Russian). EDN: ZXPWDB.
 18. Loiko V.I., Tkachenko V.V., Litnev N.N. Models and methods of evaluating technologies of agricultural production (on the example of crop production): software implementation and main results. *Scientific Journal of KubGAU*. 2017. N134(10). 1-29 (In Russian). DOI: 10.21515/1990-4665-134-104.
 19. Gunnarsson C., Hansson P.-A. Optimisation of field machinery for an arable farm converting to organic farming. *Agricultural Systems*. 2004. N80. 85-103 (In English). DOI: 10.1016/j.agry.2003.06.005.
 20. Zakharov A.M., Murzaev E.A. Cascade model for designing organic crop production technologies. *AgroEcoEngineering*. 2024. N2(119). 29-43 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2024-2119-29-42.
 21. Zadonskaya O.B., Briukhanov A.Yu., Oblomkova N.S. Comparative application analysis of different methods for assessing the agricultural nitrogen and phosphorus inputs in the Narva River basin. *AgroEcoEngineering*. 2022. N1(110). 142-155 (In Russian). DOI: 10.24412/2713-2641-2022-1110-142-154.
 22. Filin V.I. Crop programming: from idea to theory and crop technology. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2014. N3(35). 26-36 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Захаров А.М. – научное руководство, постановка цели, анализ отечественных и зарубежных литературных источников по проблеме, представленной в публикации, формулировка выводов;
 Устroeв А.А. – методическое руководство процессом теоретических научных исследований, формирование подхода многокритериальной оценки;
 Мурзаев Е.А. – анализ отечественных и зарубежных литературных источников по проблеме, проведение апробационного расчета;
 Комоедов А.Д. – анализ литературных источников по проблеме, подготовка иллюстраций, работа с текстом.
 Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Zakharov A.M. – scientific supervision, goal setting, analysis of domestic and international literature on the problem presented in the publication, formulation of conclusions.
 Ustroeв A.A. – methodological guidance in the theoretical scientific research process and development of a multicriteria evaluation approach.
 Murzaev E.A. – analysis of domestic and international literature on the problem, performing an approbation calculation;
 Komoevov A.D. – analysis of literary sources on the problem, preparation of illustrations, work with the text.
 The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
 Статья принята к публикации

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

03.12.2024
 25.02.2025



Устройство электрофизического воздействия для улучшения показателей картофеля и овощных культур при хранении

Николай Викторович Сазонов,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: sazonov_nikolay@mail.ru;
Алексей Викторович Сибирёв,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: sibirev2011@yandex.ru;
Максим Александрович Мосяков,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: maks.mosyakov@yandex.ru

Максим Сергеевич Трунов,
аспирант,
e-mail: makstrunov1998@mail.ru;
Артем Олегович Волков,
аспирант,
e-mail: volkovart2000@mail.ru;
Даниил Дмитриевич Кондрахов,
аспирант,
e-mail: tancorkondor@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

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

Реферат. Отмечено, что на рынке семенного материала овощных культур доля российских сортов снижается. Во многом такая ситуация обусловлена отставанием в технологическом уровне и технической оснащенности большинства учреждений–оригинаторов российских сортов от зарубежных селекционно-семеноводческих центров и компаний. *(Цель исследования)* Инженерное обеспечение технологии инновационного получения семян овощных культур и картофеля с автоматической фиксацией и поддержанием технологических параметров и показателей качества хранения. *(Материалы и методы)* Для разработки автоматической системы контроля и управления процессом закладки биологических объектов на хранение необходимо определить основные требования к процессу электрофизического воздействия (ультрафиолетовое излучение) на семенной материал, а также параметры технологических режимов. *(Результаты и обсуждение)* Разработана, изготовлена и проходит лабораторные испытания экспериментальная установка электрофизического воздействия на показатели качества хранения. Автоматическая система контроля за рабочим процессом с ориентирующим модулем должна обеспечивать: изменение и поддержание поступательной скорости движения обрабатываемой продукции, а также возможность изменения режима электрофизического воздействия в зависимости от фактической подачи и физико-механических свойств вороха; технологических параметров клубней и работы ориентирующего модуля. Регулируемая сила фототока УФ-воздействия задается и контролируется автоматически посредством бортового компьютера. *(Выводы)* Разработанная автоматическая система контроля и управления процессом закладки биологических объектов на хранение позволяет эффективно регулировать параметры УФ-воздействия, такие как интенсивность излучения и время облучения, в зависимости от физико-механических свойств продукции и технологических параметров работы установки. Различные способы дезинфекции камер хранения, в частности озонирование, обработка газообразным диоксидом хлора и УФ-облучение, позволяют снизить микробиологическую порчу продукции. Исследования подтвердили, что применение УФ-воздействия в сочетании с автоматической системой контроля и управления технологическими параметрами позволяет значительно улучшить качество хранения овощных культур и картофеля, особенно при повышенных температурах.

Ключевые слова: овощные культуры, картофель, исследования, испытания, ультрафиолетовое воздействие, лабораторная установка, хранение

■ **Для цитирования:** Сазонов Н.В., Сибирёв А.В., Мосяков М.А., Трунов М.С., Волков А.О., Кондрахов Д.Д. Устройство электрофизического воздействия для улучшения показателей картофеля и овощных культур при хранении // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 22-29. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-22-29. EDN: IGIPGR.

Electrophysical Treatment Device for Enhancing the Storage Performance of Potatoes and Vegetable Crops

Nikolay V. Sazonov,
Ph.D.(Eng), senior researcher,
e-mail: sazonov_nikolay@mail.ru;
Alexey V. Sibirev,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: sibirev2011@yandex.ru;
Maksim A. Mosyakov,
Ph.D. (Eng), leading researcher,
e-mail: maks.mosyakov@yandex.ru;

Maksim S. Trunov,
postgraduate student,
e-mail: makstrunov1998@mail.ru;
Artem O. Volkov,
postgraduate student,
e-mail: volkovart2000@mail.ru;
Daniil D. Kondrakhov,
postgraduate student,
e-mail: tancorkondor@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The project, implemented by leading scientists, including young researchers, is funded under Grant No. 23-76-10062.

Abstract. The paper highlights the declining market share of Russian vegetable crop seed varieties. This trend is primarily attributed to a lag in technological development and insufficient technical equipment in most Russian seed-originating institutions compared to foreign breeding and seed production centers and companies. (*Research purpose*) To develop an engineering solution for an innovative technology for obtaining vegetable crop and potato seeds while ensuring the automatic fixation and maintenance of technological parameters and quality indicators during storage. (*Materials and methods*) To develop an automated control and management system for storing biological objects, it is crucial to determine the key requirements for the electrophysical treatment process, specifically ultraviolet radiation applied to seed material, along with the parameters of its technological modes. (*Results and discussion*) An experimental setup for electrophysical treatment, designed to improve storage quality indicators, has been developed, manufactured, and is currently undergoing laboratory testing. The automated process control system integrated with an orienting module must ensure the following: adjustment and maintenance of the translational speed of treated products; dynamic modification of the electrophysical treatment mode based on the actual feed rate, the physical and mechanical properties of the bulk material, the technological parameters of tubers, and the operation of the orienting module. The regulated photocurrent intensity of ultraviolet radiation exposure is set and controlled automatically via an onboard computer. (*Conclusions*) The developed automated control and management system for storing biological objects enables effective regulation of ultraviolet radiation exposure parameters, such as radiation intensity and exposure time. These adjustments depend on the physical and mechanical properties of the product and the technological parameters of the equipment. Various disinfection methods for storage chambers, such as ozonation, gaseous chlorine dioxide treatment, and ultraviolet radiation exposure, effectively reduce microbial spoilage. Research confirms that ultraviolet radiation treatment, when integrated with an automated system for monitoring and controlling technological parameters, significantly improves the storage quality of vegetable crops and potatoes, particularly under elevated temperature conditions.

Keywords: vegetable crops, potatoes, research, testing, ultraviolet exposure, laboratory setup, storage.

■ **For citation:** Sazonov N.V., Sibirev A.V., Mosyakov M.A., Trunov M.S., Volkov A.O., Kondrakhov D.D. Electrophysical treatment device for enhancing the storage performance of potatoes and vegetable crops. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 22-29 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-22-29. EDN: IGIPGR.

Овощные культуры и картофель имеют одну из самых длительных схем семеноводства (до 5 лет, а иногда больше). Наивысшая урожайность наблюдается при укороченных схемах производства элиты, но для этого необходимо промышленное количество оздоровленных семян (несколько сотен тысяч и более в расчете на семеноводческое хозяйство) [1]. Разработка инновационной технологии промышленного производства оз-

доровленных семян в больших объемах с низкой себестоимостью и инженерным обеспечением – задача весьма актуальная.

Выполнение разработанных ФНАЦ ВИМ требований к инновационной технологии ускоренного воспроизводства клубневого материала потенциально позволит увеличить выход семян с одного растения за две ротации в год на модуле на два порядка (в 100 раз) по сравнению с перспективными

на данный момент гидропонными способами [2-4]. Однако для выведения семян отечественной селекции необходимо не только их получить, но также обеспечить надлежащие условия хранения.

Одним из направлений повышения качества семян овощных культур и картофеля является электрофизическое воздействие различными методами. В ФНАЦ ВИМ разработана, изготовлена и используется в лабораторных исследованиях экспериментальная установка с электрофизическим воздействием (ультрафиолетовое излучение) на показатели качества хранения семенного материала.

Цель исследования – инженерное обеспечение технологии получения семян овощных культур и картофеля с применением электрофизического воздействия на показатели качества хранения при автоматической фиксации и поддержании заданных технологических параметров.

Материалы и методы. Исследование возможности воздействия ультрафиолетового излучения в поточной линии для послеуборочной обработки продукции при последующем хранении выполнено в предшествующей публикации [5]. Проведены экспериментальные исследования для определения параметров электрофизического воздействия на интенсификацию качества хранения овощных культур и картофеля с использовалась установка с ориентирующим модулем (рис. 1).

Установка представляет собой размещенную на опорной стойке 2 и соединенную с ней болтовым креплением 3 камеру 4 для обработки продукта. В камере на подвесе 5 расположены газоразрядные лампы высокого давления 6. Движение продукта осуществляется по роликовой поверхности 1 от мотор-редуктора 8. Установка оснащена микроконтроллером 7. Источники УФ-излучения – лампы бактерицидные Philips TUV30W (мощность бактерицидного потока 12 Вт, длина волны 253,7 нм, стекло увиолевое, содержание ртути 2 мг, длина 908,8 мм, диаметр колбы 28 мм).

Исследования предполагают разработку автоматической системы контроля и управления процессом закладки биологических объектов на хранение. В связи с этим необходимо определить основные требования к выполнению процесса электрофизического воздействия, а также параметры технологических режимов работы установки.

Автоматическая система контроля должна обеспечивать изменение и поддержание поступательной скорости движения продукции, а также корректировку режимов электрофизического воздействия в зависимости от фактической подачи, физико-механических свойств вороха и технологических параметров работы ориентирующего модуля. Сила фототока УФ-излучения (IT) задается и регулируется автоматически посредством бортового ком-

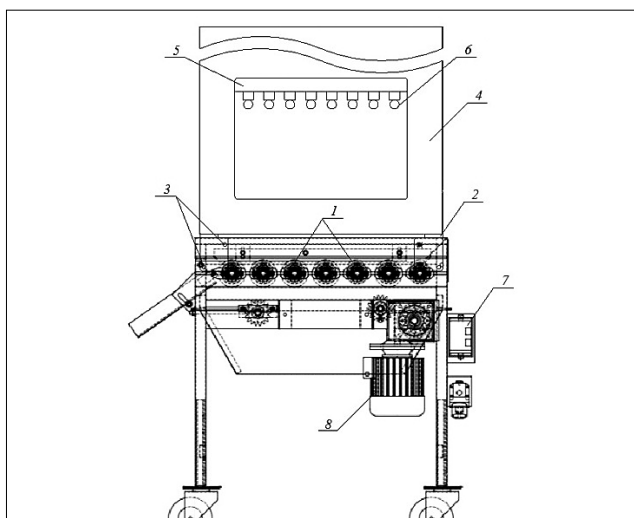


Рис. 1. Схема лабораторной установки с ориентирующим модулем

Fig. 1. Diagram of a laboratory setup with an orienting module

пьютера (БУ). Электрическая схема устройства контроля и управления режимом УФ-излучения и технологическими параметрами ориентирующего модуля представлена на рисунке 2.

Элементы сенсорной системы подключены к ориентирующему модулю через штыревые разъемы по стандартным схемам: ультразвуковой датчик расстояния по одной из *GPIO* линий микроконтроллера, ИК-датчик дистанционного управления к *GPIO* линии по протоколу *onewiring*, сенсорный экран к *GPIO* линии по протоколу *UART*, датчик тока в разрыв выходной цепи мостового усилителя, цифровой датчик подключен к *SDA* и *SCL* пинам.

Система осуществляет контроль состояния линейных приводов и реализует заданные программой законы перемещения рабочей точки. Функции усилителя выполняет *H*-мост на микросхеме *BTS 7960*, подключенный к *GPIO* портам микроконтроллера с возможностью ШИМ-модуляции (*PWM*). Максимальный допустимый ток 43А [6].

Таблица 1

Table 1

РЕЖИМЫ ОБРАБОТКИ ОЗОНОМ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР И КАРТОФЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОЗОНА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ
OZONE TREATMENT MODES FOR VEGETABLE CROP PLANTING MATERIAL AND POTATOES IN LONG-TERM STORAGE

Продукт	Концентрация озона, мг/м ³	Время озонирования, ч/сут	Количество обработок
Картофель	12-14	3-6	Ежемесячно
Свекла	7-13	4	Еженедельно
Морковь	5-15	5	3 дня подряд 1 раз в месяц

Таблица 2

Table 2

ПАРАМЕТРЫ ХРАНЕНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР И КАРТОФЕЛЯ
STORAGE PARAMETERS FOR VEGETABLE CROP PLANTING MATERIAL AND POTATOES

Культура	Температура	Относительная влажность	Продолжительность
Картофель	2-3 °C	80-85%	4-6 мес
Морковь	0,1-2,0 °C	85-95%	4-6 мес
Свекла	0,1-2,0 °C	88-95%	4-6 мес

В *таблице 3* представлены данные о товарном качестве корнеплодов овощей и картофеля (выход стандартной, нестандартной продукции, абсолютный отход) в результате хранения при температуре 2 ± 1 и 25 ± 1 °C. Измерения выполнялись при трехкратной повторности ($p = 0,95$).

Выход стандартной продукции корнеплодов моркови сорта Витаминная 6 при температуре хранения 2 °C в контрольном опыте ниже на 11,3%, чем после УФ-воздействия. При увеличении температуры до 25 °C в случае УФ-обработки выход кондиционного материала выше на 23,6%. Однако, повышение товарного качества более чем на 50% наблюдается у некондиционных фракций моркови при температуре 25 °C.

Хранение свеклы Бордо 237 при 25 °C обеспечивает выход кондиционной продукции в контроле в 1,52 раза ниже, чем после УФ-обработки. Аналогичная тенденция при температуре 2 °C для нестандартных фракций товарной продукции. Выход стандартной продукции при 2 °C на 10,6-11,3%, при температуре хранения 25 °C – на 18,9-19,2% больше относительно контрольных образцов.

При хранении картофеля сорта Леди Розетта установлено, что вне зависимости от температуры хранения УФ-воздействие обеспечивает увеличение выхода в среднем на 7,9% больше, чем у контрольных образцов [16].

В *таблице 4* приведены количественные потери в результате естественной убыли [17, 18] и микробиологической порчи моркови, свеклы и картофеля [19] в зависимости от способа их предварительной обработки [20] при разной температуре хранения через 21 и 56 дней.

Измерения выполнялись при трехкратной повторности ($p = 0,95$). Микробиологическую порчу и естественную убыль определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 1722-85, ГОСТ 1721-85, ГОСТ 7176-2017.

Для исследования влияния различных способов обработки на органолептические, микробиологические и биохимические показатели в процессе хранения при различных температурах корнеплоды овощных культур и клубни картофеля закладывали в камеры, обработанные различными способами, приведенными в *таблице 1*.

Таблица 3

Table 3

ТОВАРНОЕ КАЧЕСТВО КОРНЕПЛОДОВ ПРИ ХРАНЕНИИ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ
COMMERCIAL QUALITY OF ROOT CROPS UNDER DIFFERENT STORAGE CONDITIONS

Культура, вид обработки	Товарное качество, %					
	кондиционные		некондиционные		отход	
	2 °C	25 °C	2 °C	25 °C	2 °C	25 °C
Морковь столовая Витаминная 6						
Контроль	74,6±2,8	42,2±1,4	6,7±0,3	14,5±0,4	19,8±1,3	38,4±1,5
УФ-воздействие	83,2±3,4	65,8±2,3	6,2±0,3	11,6±0,3	9,6±0,4	24,3±1,2
Свекла столовая Бордо 237						
Контроль	73,4±2,6	48,2±1,5	5,4±0,4	12,6±0,4	24,2±1,3	38,7±1,5
УФ-воздействие	84,8±3,3	74,7±2,8	7,8±0,3	11,4±0,3	10,7±0,3	16,4±0,9
Картофель Леди Розетта						
Контроль	70,2±2,7	49,8±2,4	10,8±0,3	13,8±0,7	17,8±0,6	39,2±1,3
УФ-воздействие	84,6±3,8	72,3±3,6	11,7±0,8	11,2±0,3	10,2±0,4	23,8±1,2

Таблица 4

Table 4

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОТЕРИ КОРНЕПЛОДОВ МОРКОВИ, СВЕКЛЫ И КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ ПРИ УФ-ВОЗДЕЙСТВИИ, %
QUANTITATIVE LOSSES OF CARROT AND BEET ROOT CROPS AND POTATO TUBERS UNDER UV EXPOSURE, %

№	Общие потери						Причина потерь					
	Кол-во дней	Температура	Вид обработки	Морковь	Свекла	Картофель	естественная убыль			микробиологическая порча		
							Морковь	Свекла	Картофель	Морковь	Свекла	Картофель
1	56	25 °C	УФ	11,5±0,4	9,3±0,6	8,4±0,2	5,7±0,4	3,8±0,2	4,2±0,1	6,3±0,4	5,8±0,2	6,2±0,2
2			Контроль	38,4±1,7	23,6±1,4	26,7±1,5	29,7±1,6	16,8±0,4	19,2±0,6	12,8±0,5	9,1±0,4	10,6±0,5
3		2 °C	УФ	8,4±0,5	5,7±0,3	6,2±0,5	4,3±0,2	2,4±0,1	3,8±0,4	2,4±0,2	2,1±0,2	2,6±0,3
4			Контроль	32,6±1,4	22,4±1,4	23,6±1,2	22,6±1,3	13,8±0,4	12,5±0,3	9,6±0,3	6,2±0,2	7,4±0,1
5	21	25 °C	УФ	8,6±0,1	5,3±0,4	6,8±0,2	5,9±0,3	2,4±0,1	3,7±0,2	2,7±0,3	3,1±0,2	3,6±0,1
6			Контроль	36,2±1,4	23,4±1,2	26,2±1,1	25,8±1,2	14,7±0,3	16,2±0,1	9,2±0,3	5,7±0,2	7,3±0,8
7		2 °C	УФ	7,2±0,2	5,3±0,4	4,7±0,2	3,4±0,1	2,9±0,2	3,8±0,1	1,7±0,2	2,4±0,2	3,2±0,2
8			Контроль	29,3±1,2	19,8±0,6	22,3±0,4	21,3±0,4	13,4±0,3	16,7±0,2	7,6±0,3	5,9±0,2	6,3±0,3

Выводы

При повышении температуры хранения корнеплодов и клубней количество потерь товарной продукции ниже при УФ-воздействии, чем при контроле.

Разработанная автоматическая система контроля и управления процессом закладки биологических объектов на хранение позволяет эффективно регулировать параметры УФ-воздействия, такие как интенсивность излучения и время облучения, в зависимости от физико-механических свойств продукции и технологических параметров работы установки. Различные способы дезинфекции камер хранения, такие как озонирование, обработка газообразным диоксидом хлора и УФ-облучение, позволяют снизить микробиологическую порчу продукции. Потери от микробиологической порчи при УФ-обработке значительно ниже, чем в контроле.

Для моркови сорта Витаминная 6 при температуре 2 °C выход стандартной продукции после

УФ-обработки был на 11,3% выше, чем в контроле. При температуре 25 °C разница составила 23,6%, потери от микробиологической порчи в контроле – 12,8%, общие потери в контроле составили 38,4%, а после УФ-обработки – 11,5%, а после УФ-обработки – только 6,3%. Для свеклы сорта Бордо 237 при температуре 25 °C выход кондиционной продукции в контроле был в 1,52 раза ниже, чем после УФ-обработки. Аналогичная тенденция наблюдалась и при температуре 2 °C. Для картофеля сорта Леди Розетта УФ-воздействие обеспечило увеличение выхода стандартной продукции в среднем на 7,9% по сравнению с контрольными образцами.

Исследования подтвердили, что применение УФ-воздействия в сочетании с автоматической системой контроля и управления технологическими параметрами позволяет значительно улучшить качество хранения овощных культур и картофеля, особенно при повышенной температуре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С., Сибирев А.В. Современное состояние технологического обеспечения производства овощных культур в Российской Федерации // *Овощи России*. 2023. N5. 5-10. DOI: 10.18619/2072-9146-2023-5-5-17.
2. Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирев А.В. и др. Теоретические предпосылки интенсификации уборки лука-севка // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. N3. С. 85-92. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-85-92.
3. Yanykin, D.V., Pashkin M.O., Simakin A.V. et al. Plant photochemistry under glass coated with upconversion luminescent film. *Applied Sciences*. 2022. N12. 7480. DOI: 10.3390/app12157480.
4. Golmohammadi A., Bejaei F., Behfar H. Design, development and evaluation of an online potato sorting system using machine vision. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 2013. N6. 396-402.
5. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г. и др. Определение параметров электрофизического взаимодействия на овощные культуры и картофель перед закладкой на хранение // *Аграрный научный журнал*. 2024. N3. С. 103-109. DOI: 10.28983/asjy2024i3pp103-109.
6. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. N16(4). С. 4-12. DOI: 10.22314/

- 2073-7599-2022-16-4-4-12.
7. Попов В.Д., Валге А.М., Папушин Э.А. Повышение эффективности производства продукции растениеводства с использованием информационных технологий // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2009. Т. 81. С. 32-39. EDN: THYQKD.
8. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. и др. Современные технологии и техника для сельского хозяйства – тенденции выставки Agritechnika 2019 // *Тракторы и сельхозмашины*. 2020. №6. С. 28-40. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-28-40.
9. Ценч Ю.С., Годлевская Е.В. Математическое моделирование как инструмент проектирования сельскохозяйственных машин и агрегатов (применительно к истории развития научной школы Южного Урала) // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №2. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-4-12.
10. Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Медведев Г.В. Разработка экспериментального фитотрона и его применение в исследованиях по энергоэкологии светокультуры // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №2. С. 40-48. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-40-48.
11. Avila R., Schoenau J., King T. et al. Effects of subsoiling tillage on structure, permeability, and crop yields on compacted Solonchic and Chernozemic dry land soils in Western Canada. *Canadian Biosystems Engineering*. 2020. N62. 1.1-1.9. DOI: 10.7451/CBE.2020.62.1.1.
12. Lobachevsky Ya., Dorokhov A., Aksenov A. et al. RAMAN and fluorimetric scattering lidar facilitated to detect damaged potatoes by determination of spectra. *Applied Sciences*. 2022. N12(15). 7480. DOI: 10.3390/app12157480.
13. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Sibirev A.V. et al. Development and modeling of an onion harvester with an automated separation system. *AgriEngineering*. 2022. N4. 380-399. DOI: 10.3390/agriengineering4020026.
14. Аксенов А.Г., Сибирев А.В. Состояние технического обеспечения производства овощных культур в Российской Федерации // *Картофель и овощи*. 2021. №8. С. 3-8. DOI: 10.25630/PAV.2021.85.47.001.
15. Aksenov A.G., Sibirev A.V. Technical support of vegetable growing in countries of the Eurasian Economic Union. *AMA*. 2020. N3(51). 12-19. EDN: XAWSBO.
16. Пастухов А.Г., Добрицкий А.А., Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф. Исследование физико-механических свойств семян тыквы как объекта сушки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 52-59. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-52-59.
17. Зимин И.Б., Игнатенков В.Г., Яковлев М.А., Смирнов А.В. Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик гранулированных сыпучих материалов // *Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. N2(31). С. 29-33. EDN: LZPPMW.
18. Сазонов Н.В., Мосяков М.А., Тетерин В.С. и др. Показатели качества работы автоматизированной машины для ухода за растениями картофеля в селекции и семеноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 60-67. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-60-67.
19. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства // *Техника и оборудование для села*. 2023. N4(310). С. 2-5. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-2-5.
20. Казаков С.С., Живаев О.В., Никулин А.В. Конструкционные пути снижения повреждаемости клубней посадочного картофеля при работе цепочно-ложечного высаживающего аппарата // *Тракторы и сельхозмашины*. 2019. №3. С. 29-34. DOI: 10.31992/0321-4443-2019-3-29-34.

REFERENCES

1. Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S., Sibirev A.V. The current state of technological support for vegetable crops production in Russian Federation. *Vegetable crops of Russia*. 2023. N5. 5-10 (In Russian). DOI: 10.18619/2072-9146-2023-5-5-17.
2. Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V. et al. Theoretical foundations for intensifying onion set harvesting. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N3. 85-92 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-85-92.
3. Yanykin D.V., Pashkin M.O., Simakin A.V. et al. Plant photochemistry under glass coated with upconversion luminescent film. *Applied Sciences*. 2022. N12. 7480 (In Russian). DOI: 10.3390/app12157480.
4. Golmohammadi A., Bejaei F., Behfar H. Design, development and evaluation of an online potato sorting system using machine vision. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 2013. N6. 396-402 (In English). DOI: cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133372449.
5. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Ponomarev A.G., Petukhov S.N. Determination of parameters of electrophysical interaction on vegetable crops and potatoes before storage. *Agrarian Scientific Journal*. 2024. N2. 103-109 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2024i3pp103-109.
6. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Principles of forming machine and technology systems for integrated mechanization and automation of technological processes in crop production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N4. 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12.
7. Popov V.D., Valge A.M., Papushin E.A. Enhancing crop-production efficiency using information technology. *AgroEcoEngineering*. 2009. Vol. 81. 32-39 (In Russian). EDN: THYQKD.

8. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. et al. Modern agriculture technologies and equipment – trends of an AGRITECHNIKA 2019 exhibition. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2020. Vol. 87. N6. 28-40 (In Russian). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-28-40.
9. Tsench Yu.S., Godlevskaya E.V. Mathematical modeling as a aspect for designing agricultural machines and units (development history of Southern Urals scientific school). *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N2. 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-4-12.
10. Rakutko S.A., Rakutko E.N., Medvedev G.V. Development of an experimental phytotron and its application in the research on the energy-ecological efficiency of indoor-plant lighting. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. 17(2). 40-48 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-40-48.
11. Avila R., Schoenau J., King T., Grevers M. Effects of sub-soiling tillage on structure, permeability, and crop yield son compacted Solonetzic and Chernozemic dry land soilsin Western Canada. *Canadian Biosystems Engineering*. 2020. N62. 1.1-1.9 (In English). DOI: 10.7451/CBE. 2020.62.1.1.
12. Lobachevsky Ya., Dorokhov A., Aksenov A. et al. RAMAN and fluorimetric scattering lidar facilitated to detect damaged potatoes by determination of spectra. *Applied Sciences*. 2022. 12. 5391 (In English). DOI: 10.3390/app12115391.
13. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Sibirev A.V. et al. Development and modeling of an onion harvester with an automated separation system. *AgriEngineering*. 2022. 4(2). 380-399 (In English). DOI: 10.3390/agriengineering4020026.
14. Aksenov A.G., Sibirev A.V. State of technical support for vegetable crops production in the Russian Federation. *Potato and Vegetables*. 2021. N8. 3-8 (In Russian). DOI: 10.25630/PAV.2021.85.47.001.
15. Aksenov A.G., Sibirev A.V. Technical support of vegetable growing in countries of the Eurasian Economic Union. *AMA*. 2020. N3(51). 12-19 (In English). EDN: XAWSBO.
16. Pastukhov A.G., Dobritskiy A.A., Bakharev D.N., Volvak S.F. Physico-mechanical properties of pumpkin seedsin the context of drying processes. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 52-59 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-52-59.
17. Zimin I.B., Ignatenkov V.G., Yakovlev M.A., Smirnov A.V. Experimental study of aerodynamic characteristics of granular bulk materials. *Izvestiya of Velikiye Luki State Agricultural Academy*. 2020. N2(31). 29-33 (In Russian). EDN: LZPPMW.
18. Sazonov N.V., Mosyakov M.A., Teterin V.S. et al. Quality metrics of automated machinery in potato plant cultivation for breeding and seed production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 60-67 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-60-67.
19. Lobachevskiy Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Shogenov Yu.Kh. Scientific and technical achievements of agricultural engineering organizations in the context of digital transformation of agriculture. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023. N4(310). 2-5 (In Russian). DOI:10.33267/2072-9642-2023-4-2-5.
20. Kazakov S.S., Zhivaev O.V., Nikulin A.V. Structural ways to reduce the damage of planting potatoes bulbs when using a chain-spoon planting machine. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2019. N3. 29-34 (In Russian). DOI: 10.31992/0321-4443-2019-3-29-34.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Сазонов Н.В. – концептуализация, научное руководство;
Сибирёв А.В. – методология, формирование общих выводов;
Мосяков М.А. – методология, формирование текста;
Трунов М.С. – подготовка установки, проведение исследований;
Волков А.О. – проведение исследований, поиск и анализ литературы;
Кондрахов Д.Д. – визуализация, редактирование текста.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Sazonov N.V. – conceptualization, scientific supervision;
Sibirev A.V. – methodology, formation of general conclusions;
Mosyakov M.A. – methodology, text development;
Trunov M.S. – preparation of the installation, conducting research;
Volkov A.O. – conducting research, literature search and analysis;
Kondrakhov D.D. – visualization, text editing.
The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

10.12.2024

25.02.2025



Исследование распределения давления на лопадки ротационного рыхлителя почвы путем имитационного моделирования

Виктор Иванович Мясенко,

доктор технических наук, профессор,

e-mail: library82@mail.ru

Кузбасский государственный аграрный университет, г. Кемерово, Российская Федерация

Реферат. Внедрение технологий минимальной обработки почвы требует поиска новых конструкций энергосберегающей техники. Применение ротационных разрыхлителей для поверхностной обработки почвы на глубину высева семян имеет ряд преимуществ в сравнении с традиционными орудиями как по энергоемкости, так и напряжению воздействия. (*Цель исследования*) Изучить характер распределения давления почвы на лопадки ротационного рыхлителя путем имитационного нагружения. (*Материалы и методы*) Применялся имитационный метод моделирования нагружения лопаток ротационного рыхлителя при взаимодействии с почвенной средой. Определялись величины нормального давления в разных точках поверхности трения лопаток при их движении в круговом почвенном канале. Значения нормального давления устанавливались косвенным методом по измерению величины износа в разных точках поверхности лопаток. Предварительно на поверхности трения носился легкоистираемый материал и измерялась интенсивность его истирания магнитоиндукционным методом. (*Результаты и обсуждение*) Траектория движения лезвия лопатки в почве описывается уравнением трахоиды. Процесс рыхления подобен «копанию» и разделяется на два периода – заглубления и выглубления лопатки с перемещением части взрыхленной почвы на поверхность поля. Получены уравнение перемещения лопатки в зависимости от угла ее поворота от начала заглубления до выглубления и теоретическая зависимость характера нагружения лопатки в период перемещения. В результате имитационного нагружения лопаток измерялась интенсивность абразивного износа в разных точках поверхности трения и получены соответствующие уравнения регрессии, что позволяло судить о характере внешнего нагружения лопаток рыхлителя. (*Выводы*) Резание почвы при ее рыхлении ротационным рыхлителем происходит тремя режущими кромками: нижним лезвием и двумя боковыми кромками лопатки рыхлителя, что характеризует особенность движения почвы по рабочей поверхности лопатки. При производстве рыхлителей следует предусматривать упрочнение нижней и боковых кромок лопаток для обеспечения необходимой износостойкости.

Ключевые слова: лопадка ротационного рыхлителя почвы, имитационное нагружение, распределение давления, абразивный износ, износостойкость.

■ **Для цитирования:** Мясенко В.И. Исследование распределения давления на лопадки ротационного рыхлителя почвы путем имитационного моделирования // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 30-34. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-30-34. EDN: OQEMDL.

Scientific article

Simulation-Based Analysis of Pressure Distribution on Rotary Soil Loosener Blades

Victor I. Myalenko

Dr.Ph.(Eng.), professor,

e-mail: library82@mail.ru

Kuzbass State Agricultural University, Kemerovo, Russian Federation

Abstract. The paper highlights the necessity of developing new energy-efficient machinery designs to implement minimum tillage technologies effectively. The use of rotary loosening tools for surface soil treatment at seed sowing depth offers several advantages over traditional implements in terms of both energy efficiency and reduced soil impact intensity. (*Research purpose*) The study aims to determine the distribution patterns of soil pressure on the blades of a rotary soil loosener under simulated loading conditions. (*Materials and methods*) A simulation-based modeling approach was used to analyze the loading of rotary loosener blades during their interaction with soil. Normal pressure values were measured at different points on the friction surface of the blades as they moved through a circular soil channel. These values were inferred by assessing wear intensity at various blade surface points.

To facilitate this, a soft, easily erodible material was applied to the friction surface, and its wear intensity was measured using a magnetic induction method. (*Results and discussion*) The trajectory of blade movement in soil is described by a trochoidal path equation, while the loosening process itself resembles a «digging» motion. This process consists of two phases: penetration and retraction during which part of the loosened soil is displaced to the field surface. An equation was derived to describe blade movement in the soil as a function of its rotation angle spanning from the start of penetration to the retraction phase. Additionally, a theoretical model was developed to characterize blade loading patterns during soil interaction. Simulated blade loading enabled the measurement of abrasive wear intensity at various points on the friction surface. These measurements facilitated the development of a regression equation that defines the external loading characteristics of the loosener blades. (*Conclusions*) Soil cutting during loosening with a rotary soil loosener occurs through three cutting edges: the lower blade edge and the two side edges of the blade. This mechanism defines the nature of soil movement along the working surface of the blade. When manufacturing loosening tools, it is essential to ensure high wear resistance of the lower and side edges of the blade through reinforcement techniques.

Keywords: rotary soil ripper blade, simulated loading, pressure distribution, abrasive wear, wear resistance.

■ **For citation:** Myalenko V.I. Simulation-based analysis of pressure distribution on rotary soil loosener blades. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 30-34 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-30-34. EDN: OQEMDL.

Широкое распространение технологии минимальной обработки почв предполагает применение новых конструкций почво-образующей техники [1] для поверхностной обработки на глубину высева семян [2]. Целенаправленность поиска новых конструкций сориентирована на достижение минимальных энергетических затрат с сохранением необходимого качества выполнения технологических операций [3].

Применение ротационных разрыхлителей для поверхностной обработки почвы на глубину высева семян имеет ряд преимуществ в сравнении с традиционными орудиями (культиваторы, лущильники) и обеспечивает снижение энергоемкости на 17-22%, сохраняя низкое напряжение воздействия на почву (сжатие, растяжения) 0,5-1,5 МПа [4].

Традиционно для обработки почвы используют разнообразные рабочие органы, в основе которых, как правило, прямой или косо поставленный клин. При движении клиновидных рабочих органов в почве процесс ее разделения на устойчивые совокупности вызывает чередование воздействий напряжения сжатия, скола и растяжения. При этом прочность почвы на сжатие до 10 раз выше, чем при растяжении, а также при чрезмерном сжатии снижается качество обработанной почвы (Чумаков Е.В., Маджанова А.Г. Неравномерность деформаций при растяжении и при сжатии; сб. конф. «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении», Андижан, 2014 г.). В связи с этим рабочие органы, действие которых основано на принципах подобия «копанию», более предпочтительны для технологий минимальной обработки почвы [5].

Действительно, составляющие почву структурные агрегаты представляют собой устойчивые почвенные совокупности из частиц материнской породы, скрепленные достаточным количеством агроминеральных образований. При этом струк-

турные агрегаты соединены друг с другом отдельными площадками, определяющими их связность. Все остальные пустоты заполнены либо водой, либо почвенным воздухом. Преодоление этих структурных связей и разделение почвы на устойчивые агрегатные совокупности для спелых почв происходит при создании внутренних напряжений 0,1-0,3 МПа определенной направленности. В то же время для разрушения непосредственно структурных почвенных агрегатов требуется создать внутренние напряжения более 10 МПа [4]. Последние обстоятельства подчеркивают актуальность исследований работ по обоснованию конструкций ротационных рыхлителей почвы.

Цель исследования – установить характер распределения давления почвы на лопатки ротационного рыхлителя.

Материалы и методы. Используемый в исследовании метод имитационного моделирования процесса работы почворежущих деталей обеспечивал возможность применения необходимой приборной базы измерения и не ограничивал в выборе времени измерений [6]. Имитационный стенд представлял собой круговой почвенный канал, где почвенная среда состояла из почвенно-песчаной смеси (легкий суглинок) необходимой твердости с влажностью 18-22%.

Модель ротационного рыхлителя представлялась в виде отдельной секции, на ободе которой размещались прямые радиально расположенные лопатки. Радиус обода $r = 120$ мм, длина лопатки $n_0 = 70$ мм. Нанесение легкоистираемого материала на поверхность трения лопаток обеспечивало довольно точное измерение магнитоиндукционным способом величин износа в разных точках поверхности.

Результаты и обсуждения. При выборе параметров испытываемой модели ротационного рыхлителя почвы учитывались результаты теоретических

исследований и практических проверок [7, 8]. В том числе учитывались результаты исследований комбинированных рыхлителей и характеристики их практической работы [9; Нормирзаев А.Р., Нишонов Б.М. Результаты испытаний по выбору ротационного рыхлителя; мат конф. «Инновации в сельскохозяйственном машиностроении, энергосберегающие технологии и повышение эффективности использования ресурсов». Ч. 1. Рязанский ГАУ, 2022. С. 447-443. EDN: MBQQQY).

Схема работы рыхлителя приведена на [рисунке 1](#).

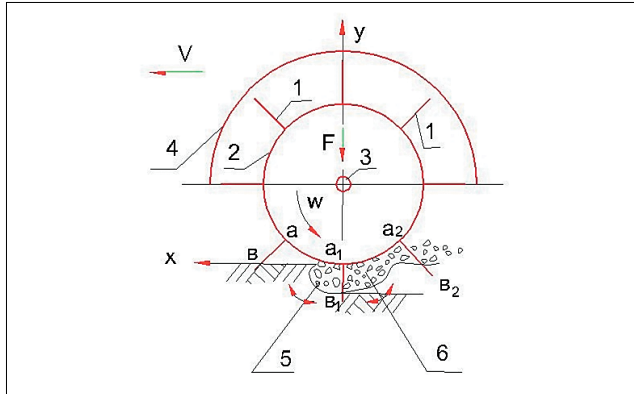


Рис. 1. Принципиальная схема работы ротационного рыхлителя почвы: 1 – лопатки; 2 – обод крепления лопаток; 3 – ось вращения обода; 4 – защитный кожух; 5 и 6 – интервалы заглубления и выглубления лопаток
Fig. 1. Schematic diagram illustrating the operation of a rotary soil loosener: 1 – blades; 2 – blade mounting rim; 3 – rim rotation axis; 4 – protective casing; 5 and 6 – blade penetration and retraction interval

При движении рыхлителя в направлении V обод крепления лопаток 2 перекачивается по поверхности поля, поочередно внедряя лопатки 1 и производя рыхления поверхностного слоя почвы. Рыхлитель в данном случае применяется бесприводный, а вращение обода происходит за счет реактивного действия погруженных в почву лопаток. Давление силой F создается либо навесной системой трактора, либо балластным грузом.

Траектория движения лезвия лопатки (точка $в$) осуществляется по трахоиде, параметрическое уравнение которой имеет вид:

$$x = r_t - (r + n) \sin \alpha, y = r - (r + n) \cos \alpha, \quad (1)$$

где r – радиус обода, мм; n – длина лопатки, мм; t – угол положения лопатки, рад; α – тот же угол, град.

В процессе заглубления лопатка поворачивается на некоторый угол α , начиная от касания почвы $\alpha_{\max}$ до достижения максимальной глубины погружения в почву $\alpha = 0$, т.е. от $a_в$ к положению $a_1в_1$ и далее к $a_2в_2$ (рис. 2). При этом длина погружения лопатки изменяется по мере ее поворота

$$n_i = n_0 - r \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right), \quad (2)$$

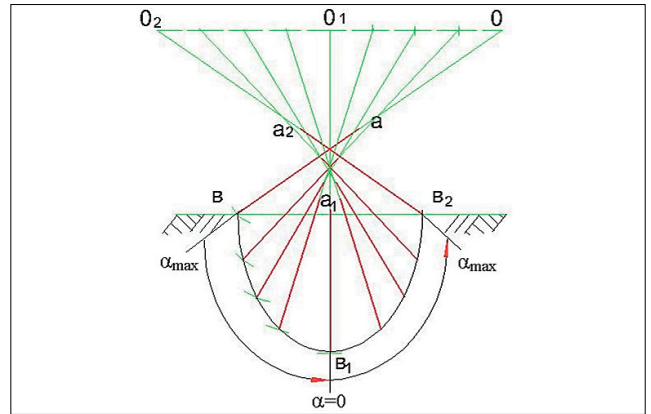


Рис. 2. Фазы перемещения лопатки рыхлителя в почве. Точки 0, 0₁, и 0₂ – перемещение оси обода рыхлителя; перемещение $aв$ к $a_1в_1$ – заглубление; перемещение $a_1в_1$ к $a_2в_2$ – выглубление
Fig. 2. Phases of loosener blade movement in the soil. Points 0, 0₁, and 0₂ – movement of the loosener rim axis; movement $aв$ to $a_1в_1$ – penetration; movement $a_1в_1$ to $a_2в_2$ – retraction

где n_i – текущее значение длины погружения лопатки; n_0 – общая длина лопатки; r – радиус обода; α – угол поворота лопатки.

В первом приближении условно принято, что величина нормального давления вначале одинакова по всей поверхности трения и только зависит от продолжительности перемещения поверхности в почве при изменении угла α . Тогда с учетом выражения (2) можно считать, что характер изменения нормального давления по длине лезвия будет подобен зависимости:

$$\begin{cases} n_i = n_0 - r \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right), \\ N_i = n_i N_H \end{cases}, \quad (3)$$

где N_i и N_H – текущее и некоторое номинальное значение нормального давления.

Физическое нагружение лопаток ротационного рыхлителя проводилось путем имитационного моделирования [10]. Учитывая пропорциональность величин нормального давления и интенсивность износа (выноса) материала в соответствии с законом Арчарда, принимаем интенсивность износа как переменную в исследовании характера распределения давления на поверхность трения [11].

На [рисунке 3](#) изображены графически результаты измерений интенсивностей износа в разных точках поверхности трения лопатки рыхлителя $\Delta I = f(n_i)$. На нем расположены две шкалы абсцисс: α – угол поворота лопатки при движении ее в почве и n_i – текущее значение длины лопатки, а также две оси ординат $N(H)$ – нормальное давление и ΔI – интенсивность износа при имитационном нагружении. Получены две характеристики, при этом интенсивность нагружения лопатки в обоих случаях уменьшается от лезвия к спинке.

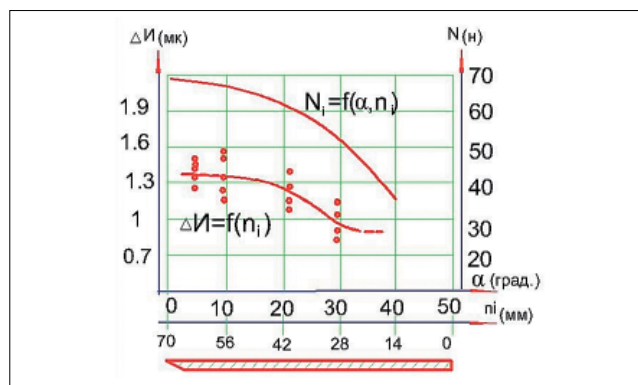


Рис. 3. Распределение давления почвы по длине лопатки ротационного рыхлителя. $N = f(\alpha)$ – теоретическое приближение; $\Delta I = f(n_i)$ – имитационное нагружение
Fig. 3. Soil pressure distribution along the length of the rotary soil loosener blade. $N = f(\alpha)$ – theoretical approximation; $\Delta I = f(n_i)$ – simulated loading

Уравнение регрессии при имитационном нагружении:

$$\Delta I = -0,0005n^3 + 0,0019n^2 - 0,047n + 1,176. \quad (4)$$

Результаты измерения интенсивности износа поверхности трения по ширине лопатки показаны на рисунке 4.

Уравнение регрессии, описывающее интенсивность износа по ширине лопатки:

$$\Delta I = 0,001h^2 - 0,043h + 1,611. \quad (5)$$

Общий контур объемной эпюры интенсивности износа лопатки рыхлителя при взаимодействии с почвой (рис. 5) характеризует неравномерность нагружения и износа поверхности трения. Здесь следует отметить, что все почворежущие детали различных орудий испытывают неравномерные нагружение и износ поверхностей трения [12, 13]. При этом имеется возможность численного моделирования эмпирических данных для практического применения [14].

Выводы. Резание почвы при ее обработке ротационным рыхлителем происходит, по крайней мере, тремя режущими кромками: нижним лезвием и

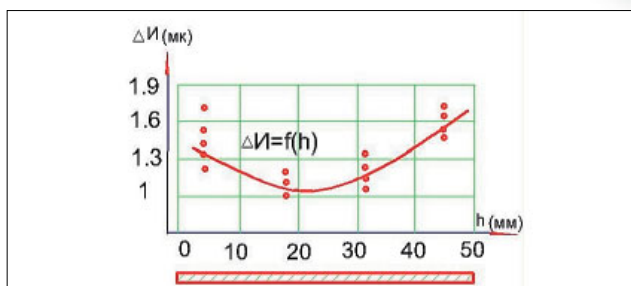


Рис. 4. Распределение интенсивностей износа (ΔI) поверхности трения по ширине лопатки (h)
Fig. 4. Wear intensity distribution (ΔI) on the friction surface along the blade width (h)

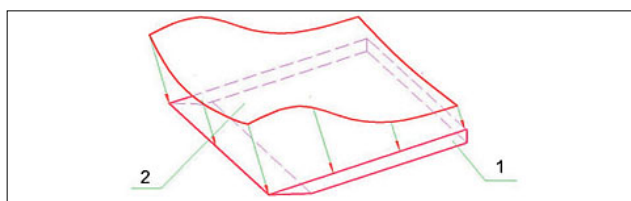


Рис. 5. Объемный контур эпюры интенсивности абразивного износа лопатки: 1 – лопатка рыхлителя; 2 – верхняя грань эпюры
Fig. 5. Three-dimensional contour diagram illustrating the distribution of abrasive wear intensity on loosener blade: 1 – loosener blade; 2 – upper surface of the diagram

двумя боковыми кромками лопатки. Исходя из этого, почва перемещается не только в направлении от нижнего лезвия, но и от боковых граней лопатки, выполняющих функции режущих кромок.

Траектория движения лопатки в процессе заглубления предполагает возможность применения лопаток криволинейной формы, улучшающей их заглубляющие способности.

Практическое применение высокопроизводительных ротационных рыхлителей предусматривает необходимость при их изготовлении обеспечивать разную износостойкость нижней и боковых кромок, более нагруженных в процессе работы.

Практическое применение высокопроизводительных ротационных рыхлителей предусматривает необходимость при их изготовлении обеспечивать разную износостойкость нижней и боковых кромок, более нагруженных в процессе работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Власенко А.Н., Власенко Н.Г., Коротких Н.А. Перспективы технологии No-till в Сибири // *Земледелие*. 2014. N1. С.16-19. EDN: RXOOER.
- Щилов В.Н., Пархоменко Г.Г. Проектирование рабочих органов для рыхления почвы с использованием деформаций растяжения // *Вестник АПК Ставрополя*. 2016. N3 (23). С. 57-62. EDN: XCCEZD.
- Мяленко В.И. Парное моделирование трибологического процесса абразивного износа почворежущих деталей // *Трение и износ*. 2023. N4 (44) С. 369-376. DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-369-375.
- Дидигер В.Р., Годунова Е. В., Гаджимаров Р.Г. Влияние технологии No-till на содержание питательных элементов в черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья // *Земледелие*. 2023. N6. С. 6-9. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-6-6-9.
- 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.
- 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. DOI: 10.1016/j.still. 2019.104318.

7. Булгариев Г.Г., Пикмуллин Г.В., Галиев И.Г. и др. Обоснование формы и определение конструктивных параметров ротационного рыхлителя почвы // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2018. Т. 13. N3 (50). С. 73-76. DOI: 10.12737/article_5bcf57b1d90178.85890011.
8. Сокол Н.А., Гультияев В.В. Результаты экспериментальных исследований ротационного рыхлителя почвы // *Вестник Донского государственного технического университета*. 2008. N1 (36). С. 96-100.
9. Булгариев Г.Г., Пикмуллин Г.В., Галиев И.Г. Обоснование формы и определение конструктивных параметров ротационного рыхлителя почвы // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2018. N3 (50). С. 73-76. DOI: 10.12737/article_5bcf57b1d90178.85890011.
10. Мясенко В.И. Карта абразивного износа поверхности трения почворежущей детали // *Трение и износ*. 2020. N1 (41). С. 128-132. EDN: CQUHEO.
11. Napiorkowski J., Lemecha M., Konat L. Forecasting the wear of operating parts in an abrasive soil mass using the Holm-Archard Model. *Materials*. 2019. 12(13). 2180. DOI:10.3390/ma12132180.
12. Скиркус Р., Янкаускас В., Гайдис Р. Моделирование рабочих контактных нагрузок почвообрабатывающего элемента // *Трение и износ*. 2016. Т. 37. N4. С. 510-515. EDN: WMDXRH.
13. Григорьев П.А., Сладкова Л.А. Модель изнашивания рабочих органов землеройных машин при взаимодействии с грунтовым массивом // *Трение и износ*. 2022. Т. 43. N4. С. 397-404. DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-397-404.
14. Bedolla P.O., Vorlaufer G., Rechberger C. et al. Combined experimental and numerical simulation of abrasive wear and its application to a tillage machine component. *Tribology International*. 2018. Vol. 127. 122-128. DOI: 10.1016/j.triboint.2018.03.019.

REFERENCES

1. Vlasenko A.N., Vlasenko N.G., Korotkih N.A. Prospects of no-till technology for crops cultivation in Siberia. *Zemledelie*. 2014. N1. 6-19 (In Russian). EDN: RXOOR
2. Shchirov V.N., Parkhomenko G.G. Designing of the working bodies for loosening soil using the deformational tensile. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2015. N3 (23). 28-34 (In Russian). EDN: XCCEZD.
3. Myalenko V.I. Paired modeling of the tribological process of the soil-cutting parts' abrasive wear. *Journal of Friction and Wear*. 2023. N4 (44). 369-376 (In Russian). DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-369-375.
4. Dridiger V.R., Godunova E. V., Gadjiomarov R.G. The effect of No-till technology on the nutrient content in common chernozem of the Central Ciscaucasia. *Zemledelie*. 2023. N6. С. 6-9. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-6-6-9.
5. 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 (In English).
6. 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). DOI: 10.1016/j.still.2019.104318.
7. Bulgariev G., Pikmullin G., Galiev I. et al. Substantiation of the form and determination of the constructive parameters of the rotation roller of soil. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2018. Vol. 13. N3 (50). 73-76 (In Russian). DOI: 10.12737/article_5bcf57b1d90178.85890011.
8. Sokol N.A., Gul'tyaev V.V. Results of experimental researches of ground melter. *Vestnik of Don State Technical University*. 2008. N1 (36). 96-100 (In Russian).
9. Bulgariev G., Pikmullin G., Galiev I. Substantiation of the form and determination of the constructive parameters of the rotation roller of soil. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2018. N3 (50). 73-76 (In Russian). DOI: 10.12737/article_5bcf57b1d90178.85890011.
10. Myalenko V.I. Abrasion maps of the friction surface of an earth-cutter part. *Journal of Friction and Wear*. 2020. N1 (41). 128-132 (In Russian). EDN: CQUHEO.
11. Napiorkowski J., Lemecha M., Konat L. Forecasting the wear of operating parts in an abrasive soil mass using the Holm-Archard Model. *Materials*. 2019. 12(13). 2180 (In English). DOI:10.3390/ma12132180.
12. Skirkus R., Jankauskas V., Gaidys R. Modeling contact loads of tillage element. *Journal of Friction and Wear*. 2016. Vol. 37. N4. 510-515 (In Russian). EDN: WMDXRH.
13. Grigorev P.A., Sladkova L.A. The model of wear of the working bodies of earthmoving machines in interaction with the soil mass. *Journal of Friction and Wear*. 2022. Vol. 43. N4. 397-404 (In Russian). DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-397-404.
14. Bedolla P.O., Vorlaufer G., Rechberger C. et al. Combined experimental and numerical simulation of abrasive wear and its application to a tillage machine component. *Tribology International*. 2018. Vol. 127. 122-128 (In English). DOI: 10.1016/j.triboint.2018.03.019.

Конфликт интересов

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

Conflict of interest

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

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

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

03.12.2024
24.02.2025

EDN: OHFKIO

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-35-40



Научная статья

УДК 621.867.4



Силовой анализ движения материала в горизонтальном смесителе гидrolитической камеры на примере переработки соевого шрота

Михаил Геннадьевич Загоруйко¹,
доктор технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: zagorujko.misha2013@yandex.ru;

Марина Евгеньевна Бельшккина¹,
доктор сельскохозяйственных наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: bely-mari@yandex.ru;

Игорь Андреевич Башмаков¹,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: igorbash@bk.ru;

Алексей Максимович Марадудин²,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: ZeroCool23@yandex.ru

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

²Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Российская Федерация

Реферат. Отмечен рост спроса на растительный белок в комбикормовой промышленности. Ожидается, что сырье, полученное из зерновых бобовых растений, в частности сои, одной из самых высокобелковых культур, займет центральное место как источник кормового протеина. В результате аналитических исследований определены ключевые направления для разработки проекта универсальной комбикормовой линии производства высокобелковых ингредиентов из соевого шрота. С целью повышения биологической ценности и усвояемости белка экструдированный соевый шрот подвергается ферментативному гидролизу в горизонтальном смесителе непрерывного действия. Представлено теоретическое описание процесса перемещения материала шнековым рабочим органом в гидrolитической камере. (*Цель исследования*) Провести силовой анализ движения материала в горизонтальном смесителе шнекового типа для выбора оптимальных конструктивных и режимных параметров гидrolитической камеры. (*Материалы и методы*) Рассмотрена система сил, которые действуют на частицу материала, опирающуюся на винтовую поверхность горизонтального шнека и прижатую к стенке кожуха. (*Результаты и обсуждение*) В результате проекции всех активных сил, действующих на частицу материала, и условно приложенных к ней сил инерции получили систему уравнений. Установили, что мощность, необходимая на привод вала шнека, будет зависеть от состояния поверхностей винта шнека и кожуха, массы частицы, геометрических параметров шнека, полярных координат, характеризующих расположение частицы в шнеке, а также кинематических параметров переносного вращения шнека. (*Выводы*) Заключили, что разработанное математическое описание процесса движения, которое учитывает физико-механические свойства и геометрию потока материала, позволит при проектировании выбрать оптимальные конструктивные и режимные параметры смесителя для эффективной транспортировки материалов.

Ключевые слова: кормовой растительный белок, соевый шрот, ферментация, гидролизат, гидrolитическая камера, горизонтальный смеситель, шнек, частица, силы, системы координат.

■ **Для цитирования:** Загоруйко М.Г., Бельшккина М.Е., Башмаков И.А., Марадудин А.М. Силовой анализ движения материала в горизонтальном смесителе гидrolитической камеры на примере переработки соевого шрота // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. N1. С. 35-40. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-35-40. EDN: OHFKIO.

Scientific article

Force Analysis of Material Movement in a Horizontal Mixer of a Hydrolytic Chamber: a Case Study of Soybean Meal Processing

Michail G. Zagoruiko¹,
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, leading researcher,
e-mail: zagorujko.misha2013@yandex.ru;

Marina E. Belyshkina¹,
Dr.Sc.(Agri.), chief researcher,
e-mail: bely-mari@yandex.ru;

Igor A. Bashmakov¹,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: igorbash@bk.ru;

Alexey M. Maradudin²,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: ZeroCool23@yandex.ru

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

²Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

Abstract. The paper addresses the increasing demand for plant-based protein in the compound feed industry. It emphasizes the role of grain legumes, particularly soy, one of the most protein-rich crops, as a primary feed protein source. Analytical studies have identified key strategies for developing a universal compound feed production line that integrates high-protein ingredients derived from soybean meal. To enhance protein digestibility and biological value, extruded soybean meal undergoes enzymatic hydrolysis in a continuous horizontal mixer. Additionally, the paper describes material movement within a hydrolytic chamber equipped with a screw-driven working unit. (*Research purpose*) The primary objective of the study is to conduct a force analysis of material movement in a horizontal screw mixer to determine the optimal structural and operational parameters of the hydrolytic chamber. (*Materials and methods*) The analysis focuses on the system of forces acting on a material particle resting on the helical surface of a horizontal screw and pressed against the inner wall of the casing. (*Results and discussion*) By projecting all active and assumed inertial forces acting on a material particle, a system of equations was derived. The study found that the power required to drive the screw shaft depends on multiple factors, including the condition of the screw and casing surfaces, particle mass, screw geometry, polar coordinates defining the particle's position within the screw, and the kinematic parameters of its rotational motion. (*Conclusions*) The developed mathematical model of material movement, which accounts for the physical and mechanical properties of the material and the geometry of its flow, facilitates the selection of optimal structural and operational parameters for the mixer. This ensures efficient material transport during the design process.

Keywords: feed vegetable protein, soybean meal, fermentation, hydrolysate, hydrolytic chamber, horizontal mixer, screw, particle, forces, coordinate systems.

For citation: Zagoruiko M.G., Belyshkina M.E., Bashmakov I.A., Maradudin A.M. Force analysis of material movement in a horizontal mixer of a hydrolytic chamber: a case study of soybean meal processing. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 35-40. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-35-40. EDN: OHFKIO.

В последние годы наблюдается увеличение потребности в растительном белке при производстве кормов для сельскохозяйственных животных. Ожидается, что сырье, полученное из зерновых бобовых культур и прежде всего сои, известное своим высоким содержанием питательных белков, займет центральное место в качестве основного источника растительного белка в кормах [1]. Существуют технологии извлечения полнофункционального белка из растительного сырья, благодаря которым соевый шрот может эффективно использоваться в получении порошковых концентрированных форм для последующего применения в комбикормовой промышленности. Такие технологии возможно организовать на любом маслоэкстракционном или смежном заводе по глубокой переработке соевого шрота при производстве комбикормов [2].

В результате аналитических исследований были определены ключевые направления для дальнейшей разработки проекта универсальной комбикормовой линии производства высокобелковых кормовых ингредиентов в виде гидролизованного продукта из соевого шрота. Для определения исходных требований и технологических параметров линий были выявлены показатели, характеризующие технологические свойства компонентов комбикорма, которые обуславливают особенности процесса производства и дозирования комбикорма.

Исследование закономерностей рабочих процессов гидролитической камеры с определенными параметрами гидролиза позволит теоретически обосновать конструктивные и режимно-технологические параметры линии.

На рис. 1 представлена схема устройства для производства кормовых ферментативных гидролизатов, которое разделено на четыре рабочие зоны: ввода сырья I, охлаждения экструдированного сырья II, образования гидромодуля III и выгрузки гидролизованной массы IV.

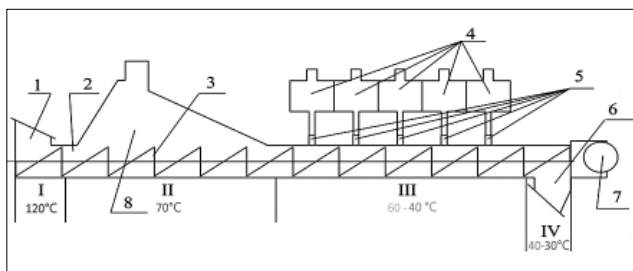


Рис. 1. Принципиальная схема установки для производства кормовых ферментативных гидролизатов: I – зона ввода сырья; II – зона охлаждения экструдированного сырья; III – зона образования гидромодуля; IV – зона выгрузки гидролизованной массы

Fig. 1. Schematic diagram of the installation for producing feed enzymatic hydrolysates: I – raw material input zone; II – cooling zone for extruded raw material; III – hydromodule formation zone; IV – hydrolysate mass output zone

Экструдированный соевый шрот через приемный отсек 1 зоны ввода сырья 1 загружается в цилиндрический корпус 2 и шнеком-смесителем 3 с электроприводом 7 перемещается вдоль установки. В зоне II экструдат дополнительно измельчается и гомогенизируется, а также за счет отвода пара через выступ 8 охлаждается до 50-70°C. Далее масса шнеком подается в зону III – гидролитическую камеру, в которой из резервуаров 4 через форсунки-дозаторы 5 в шрот добавляется водный раствор протеазы. Гидролизованная масса поступает в зону IV и выгружается через отсек 6.

Технологическое решение процесса автоматизированного гидролиза заключается во внесении экструдированной полножирной сои с высоким аминокислотным потенциалом непосредственно в рабочую массу с протеолитическими ферментами (гидро модуль), что приводит к увеличению степени гидролиза и ускорению расщепления белкового сырья. При непрерывном течении процесса исключается возможность пенообразования экструдата. Процесс осуществляется по принципу движения сред в реакторах вытеснения. Для достижения оптимальных режимов работы гидролитической камеры необходимо обосновать ее конструктивно-режимные параметры.

Следующим технологическим параметром работы гидролитической камеры является мощность перемешивания или число оборотов шнека. Частота вращения шнека существенно влияет на надежность и производительность устройства. Данный показатель зависит от вязкости и теплопроводности сырья. Вязкость реакционной массы необходимо поддерживать в пределах 10 000-20 000 мПа·с, что обеспечит оптимальную скорость движения сырья по зонам устройства, а также обеспечит равномерное вмешивание ферментной жидкости в субстратную массу. Чем выше частота вращения, тем большее давление может быть развито за один цикл вращения шнека.

Заданная частота обеспечит необходимую производительность и качественную работу гидро модуля. При работе с сырьем различной вязкости необходимо выбирать оптимальную частоту вращения шнека, чтобы избежать риска перегрева привода шнека, а также его заклинивания. Таким образом, баланс необходим для достижения оптимальных параметров при выборе частоты вращения.

Теоретическое описание процесса перемещения материала шнековым рабочим органом проводилось рядом авторов в различных областях его применения [3]. При этом исследователи прибегали к научной абстракции, т.е. рассматривали не реальное материальное тело, а его упрощенную модель [4]. В зависимости от физико-механических свойств пресуемого материала за его реологическую мо-

дель принималось течение вязкой жидкости (ньютоновской или неньютоновской) [5] или перемещение сыпучей среды (сплошной или зернистой) [6]. Во втором случае удобнее рассматривать сплошную модель сыпучей среды, так как при этом дифференциальные уравнения равновесия тела аналогичны уравнениям в теории упругости и пластичности [7]. Такой подход при рассмотрении напряженного состояния пресуемой массы позволяет все силы, действующие на отдельные частицы в точках соприкосновения с другими частицами, заменять мнимыми усилиями, непрерывно распределенными по произвольному сечению материала [8]. Это, в свою очередь, позволяет переходить от рассмотрения материальной частицы к системе частиц, совокупность которых составляет сыпучую среду [9].

Цель исследования. Провести силовой анализ движения материала в горизонтальном смесителе шнекового типа для выбора оптимальных конструктивных и режимных параметров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Рассмотрим систему сил, действующую на частицу материала M , опирающуюся на винтовую поверхность горизонтального шнека и прижатую к стенке кожуха (рис. 2) [10]. Введем две системы координат: инерциальную $O_1x_1y_1z_1$ и неинерциальную $Oxyz$, совершающую переносное вращательное движение относительно инерциальной. Переносное вращение шнека вокруг оси Ox будет носить неравномерный характер, так как привод шнека осуществляется посредством прохождения материала через лопасти крыльчатки, установленной в начале вала [11].

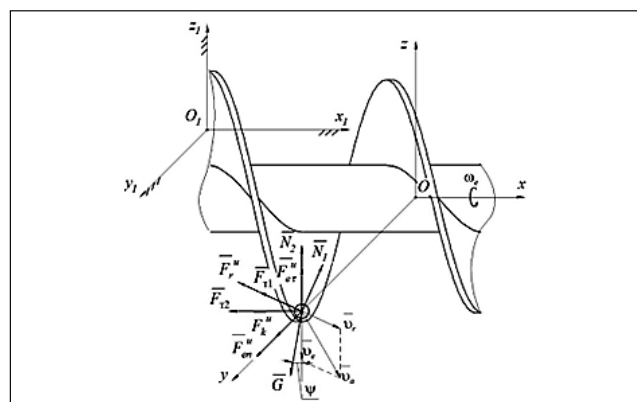


Рис. 2. Схема сил, действующих на частицу, перемещаемую шнековым смесителем

Fig. 2. Diagram of forces acting on a particle transported by the screw mixer

На частицу материала M будут действовать следующие усилия [12]:

- N_1 – нормальная реакция наклонной поверхности шнека, Н;
- N_2 – нормальная реакция поверхности кожуха, Н;

- G – вес частицы материала, Н;
- $F_{\tau 1}$ – сила трения частицы о поверхность шнека, Н; $F_{\tau 1} = N_1 f_1$, где f_1 – коэффициент трения материала о лопасть винта;
- $F_{\tau 2}$ – сила трения частицы о поверхность кожуха, Н; $F_{\tau 2} = N_2 f_2$, где f_2 – коэффициент трения материала о стенку кожуха;
- F_{en}^u – нормальная составляющая переносной силы инерции, Н; $F_{en}^u = m r \omega_e^2$, где m – масса частицы материала, кг; r – радиус удаления частицы от оси переносного вращения шнека Ox , м; ω_e – угловая скорость переносного вращения, c^{-1} ;
- F_{er}^u – тангенциальная составляющая переносной силы инерции, Н; $F_{er}^u = m r \frac{d^2 \psi}{dt^2}$, где ψ – угол, на который отклоняется частица при переносном вращении с угловой скоростью ω_e , рад;
- F_r^u – относительная сила инерции, Н;
 $F_r^u = m \frac{dv_r}{dt}$, где v_r – скорость относительного перемещения частицы в неинерциальной системе $Oxyz$, м/с;
- F_k^u – сила инерции Кориолиса, Н;
 $F_k^u = 2 m \omega_e v_r \cos \alpha$, где α – угол подъема винтовой линии шнека, рад [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Используя принцип Даламбера [14], спроецируем все активные силы, действующие на частицу материала M , и условно приложенные к ней силы инерции на оси неинерциальной системы координат $Oxyz$ [15]. В результате получим систему уравнений:

$$\begin{cases} -F_{\tau 2} + N_1 \cos \alpha - F_{\tau 1} \sin \alpha - F_r^u \sin \alpha = 0; \\ F_{en}^u + F_k^u + G \sin \psi = 0; \\ F_{er}^u + N_2 + N_1 \sin \alpha - G \cos \psi + F_{\tau 1} \cos \alpha + F_r^u \cos \alpha = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Подставим значения всех известных усилий, указанные нами ранее. Тогда система уравнений (1) примет вид:

$$\begin{cases} -f_2 N_2 + N_1 \cos \alpha - f_1 N_1 \sin \alpha - m \frac{dv_r}{dt} \sin \alpha = 0; \\ m \omega_e^2 r + 2 m \omega_e v_r \cos \alpha + mg \sin \psi = 0; \\ m r \frac{d^2 \psi}{dt^2} + N_2 + N_1 \sin \alpha - mg \cos \psi + f_1 N_1 \cos \alpha + m \frac{dv_r}{dt} \cos \alpha = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Из первого уравнения системы (2) выразим нормальную реакцию поверхности кожуха N_2 :

$$N_2 = \frac{1}{f_2} \left(N_1 \cos \alpha - f_1 N_1 \sin \alpha - m \frac{dv_r}{dt} \sin \alpha \right). \quad (3)$$

Из второго уравнения системы (2) выразим относительную скорость v_r :

$$v_r = -\frac{\omega_e r}{2 \cos \alpha} - \frac{g \sin \psi}{2 \omega_e \cos \alpha}. \quad (4)$$

Продифференцируем по времени обе части выражения (4):

$$\frac{dv_r}{dt} = -\frac{1}{2 \cos \alpha} \left[\varepsilon_e r + g \left(\cos \psi - \sin \psi \frac{\varepsilon_e}{\omega_e} \right) \right], \quad (5)$$

где $\varepsilon_e = \frac{d\omega_e}{dt}$ – угловое ускорение переносного вращения, c^{-2} .

Подставим полученные выражения (3) и (5) в третье уравнение системы (2) и выразим нормальную реакцию наклонной поверхности шнека N_1 . После упрощений и преобразований получим:

$$N_1 = m \frac{\varepsilon_e r + g \cos \psi + \left(\frac{tg \alpha}{f_2} - \frac{1}{2} \right) \left[\varepsilon_e r + g \left(\cos \psi - \sin \psi \frac{\varepsilon_e}{\omega_e} \right) \right]}{\sin \alpha \left(\frac{f_1}{f_2} - 1 \right) - \cos \alpha \left(\frac{1}{f_2} + f_1 \right)}. \quad (6)$$

Крутящий момент, необходимый для вращения вала шнека при перемещении частицы материала M без учета трения в подшипниках, может быть найден следующим образом [16]:

$$M_{кр} = N_1 r. \quad (7)$$

Мощность, необходимая на привод вала шнека или с учетом формул (6) и (7) [17]:

$$P_{шн} = m \omega_e r \frac{\varepsilon_e r + g \cos \psi + \left(\frac{tg \alpha}{f_2} - \frac{1}{2} \right) \left[\varepsilon_e r + g \left(\cos \psi - \sin \psi \frac{\varepsilon_e}{\omega_e} \right) \right]}{\sin \alpha \left(\frac{f_1}{f_2} - 1 \right) - \cos \alpha \left(\frac{1}{f_2} + f_1 \right)}. \quad (8)$$

Таким образом, мощность, необходимая на привод вала шнека, будет зависеть от состояния поверхностей винта шнека и кожуха (коэффициенты трения f_1 и f_2), массы частицы m , геометрических параметров шнека (угол подъема винтовой линии α), полярных координат, характеризующих расположение частицы M в шнеке (радиус r и угол ψ), а также кинематических параметров переносного вращения шнека (угловая скорость ω_e и угловое ускорение ε_e).

Выводы. Для производства кормовых ферментативных гидролизатов из соевых семян предлагается использовать принцип горизонтального смешивания. Экструдированная полножирная соя шнеком передвигается по зоне охлаждения, обеспечивающей дополнительное плющение и гомогенизацию, и далее в зону формирования гидро модуля.

Современная методика расчета горизонтальных смесителей шнекового типа основана на расчетной схеме движения материальной точки, которая лежит на поверхности шнековой лопасти и прижата к внутренней поверхности корпуса конвейера. Однако игнорирование реальных законов движения потока материала в горизонтальном смесителе может привести к неправильному выбору конструктивных и режимных параметров при проектировании и созданию неэффективных транспортирующих машин.

Разработанное математическое описание процесса движения, которое учитывает физико-механические свойства и геометрию потока материала, позволит выбрать оптимальные конструктивные и режимные параметры устройства для эффективно-го перемешивания экструдированного соевого шрота в процессе гидролиза с параллельным вмешива-

нием водного раствора ферментов при дальнейшем продвижении сформированного гидро модуля посредством вращения шнека к выгрузному отсеку.

Полученный гидролизат в дальнейшем может использоваться в зависимости от качественных показателей для различных целей в комбикормовой промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Милушев Р.К., Епифанов В.Г. Использование белковых концентратов из растительного сырья для замещения в комбикормах кормов животного происхождения // *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2019. N5. С. 48-68. EDN: STLKGL.
2. Булатов С.Ю., Симачкова М.С., Сергеев А.Г. и др. Особенности производства комбикормов в условиях сельскохозяйственных организаций в современных реалиях // *Вестник НГИЭИ*. 2022. N10(137). С. 59-67. DOI: 10.24412/2227-9407-2022-10-59-67.
3. Dorokhov A.S., Zagoruiko M.G., Maradudin A.M., Bashmakov I.A. Material movement within a single-screw extruder. *Inmateh – Agricultural Engineering*. 2021. N3(65). 421-429. DOI: 10.35633/INMATEH-65-44.
4. Савиных П.А., Алешкин А.В., Турубанов Н.В., Зырянов Д.А. Определение рациональных параметров смесителя теоретическими исследованиями взаимодействия винтовой поверхности шнека с материалом // *Техника и технологии в животноводстве*. 2021. N1(41). С. 76-84. DOI: 10.51794/27132064-2021-1-76.
5. Шагарова А.А., Шапошников А.П., Тарасенко Л.Е. Реометрические исследования характеристик течения высоковязких сред в шнековых машинах при наличии тонкого пристенного слоя // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2014. N1(128). С.87-90. EDN: RVFVUZ.
6. Петренко С.С., Черненко Г.В., Адигамов К. Применение шнекового конвейера с оребренным кожухом в качестве рабочего органа смесителя сыпучих материалов // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. N4. С. 77-82. EDN: ROFSQJ.
7. Зубкова Т.М., Мустюков Н.А., Токарева М.А. Построение архитектуры САПР одношнековых экструдеров с применением элементов искусственного интеллекта // *Программные продукты и системы*. 2016. Т. 29. N4. С. 176-182. DOI: 10.15827/0236-235x.116.176-182.
8. Брагинцев С.В., Хлыстунов В.Ф., Бахчевников О.Н. и др. Исследование процесса смешивания компонентов кормов в горизонтальном смесителе // *Проблемы развития АПК региона*. 2016. N3(27). С. 110-114. DOI: 10.15217/issn2079-0996.2016.3.
9. Евстарова А.В. Закономерности движения потока буровой мелочи по винтовой поверхности шнека при бурении вертикальных скважин // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007. N3. С. 306-312. EDN: RGRBLH.
10. Загоруйко М.Г., Васильчиков В.В., Мамахай А.К. Имитационное моделирование параметров шнека экструдера // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. N4(14). С. 71-77. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-71-77.
11. Протасов А.А., Макаров С.А., Данилин А.В., Левченко Г.В. Теоретические исследования кинематических параметров движения материала в пресс-экструдере // *Аграрный научный журнал*. 2019. N12. С. 105-109. DOI: 10.28983/asj.y2019i12pp105-109.
12. Брусенков А.В., Коновалов Д.Н. Разработка, проектирование и методика расчета конструктивно-технологических характеристик шнекового измельчителя корнеплодов // *Вестник машиностроения*. 2022. N10. С. 24-31. DOI: 10.36652/0042-4633-2022-10-24-31.
13. Загоруйко М.Г., Дорохов А.С., Марадудин А.М. Обоснование основных параметров шнекового экспандера для переработки высокопротеиновых культур // *Нива Поволжья*. 2020. N2(55). С. 124-131. DOI: 10.36461/NP.2020.2.55.019.
14. Зубелевич О.Э. Принцип Даламбера - Лагранжа: геометрический аспект // *Сибирский журнал индустриальной математики*. 2020. N3(83). С. 31-39. DOI: 10.33048/SIBJIM.2020.23.303.
15. Богданова С.Б., Гладков С.О. О траекториях тел в неинерциальных системах отсчета // *Вестник Томского государственного университета. Математика и механика*. 2023. N84. С. 68-80. DOI: 10.17223/19988621/84/6.
16. Marczuk A., Misztal W., Savinykh P. et al. Improving efficiency of horizontal ribbon mixer by optimizing its constructional and operational parameters. *Eksplotacja i niezawodnosc*. 2019. N2(21). 220-225. DOI: 10.17531/ein.2019.2.5.
17. Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Пронин А.Н., Сергеев А.Г. Результаты исследований рабочего процесса шнекового дозатора сухих сыпучих компонентов с шаговым электродвигателем // *Техника и оборудование для села*. 2024. N1(319). С. 33-36. DOI: 10.33267/2072-9642-2024-1-33-36.

REFERENCES

1. Milushev R.K., Epifanov V.G. The use of protein concentrates from vegetable raw materials for replacement in compound feed of feed of animal origin. *Feeding of Agricultural Animals and Feed Production*. 2019. N5. 48-68 (In Russian). EDN: STLKGL.
2. Bulatov S.Yu., Simachkova M.S., Sergeev A.G. et al. Features of the production of compound feeds in the conditions of agricultural organizations in modern realities.

- Bulletin NGIEI*. 2022. N10(137). 59-67 (In Russian). DOI: 10.24412/2227-9407-2022-10-59-67.
3. Dorokhov A.S., Zagoruiko M.G., Maradudin A.M., Bashmakov I.A. Material movement within a single-screw extruder. *Inmateh – Agricultural Engineering*. 2021. N3(65). 421-429 (In English). DOI: 10.35633/INMATEH-65-44.
 4. Savinykh P.A., Aleshkin A.V., Turubanov N.V., Zyryanov D.A. Determination of mixer tap's rational parameters by theoretical studies of the interaction of the screw's helix surface with the material. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2021. N1(41). 76-84 (In Russian). DOI: 10.51794/27132064-2021-1-76.
 5. Shagarova A.A., Shaposhnikov A.P., Tarasenko L.E. Rheometric studies of high-viscosity fluid flow characteristics in the schneck machines with a thin wall layer. *Izvestia Volgograd State Technical University*. 2014. N1(128). 87-90 (In Russian). EDN: RVFVUZ.
 6. Petrenko S.S., Chernenko G.V., Adigamov K. The use of a screw conveyor with a finned cover as a working body of the mixer bulk materials. *Modern Problems of Science and Education*. 2013. N4. 77-82 (In Russian). EDN: ROFSQJ.
 7. Zubkova T.M., Mustyukov N.A., Tokareva M.A. Single screw extruder engineering with artificial intelligence elements. *Software & Systems*. 2016. Vol. 29. N4. 176-182 (In Russian). DOI: 10.15827/0236-235X.116.176-182.
 8. Braginets S.V., Khlystunov V.F., Bakhchevnikov O.N. et al. Study of the process of mixing fodder components in a horizontal mixer. *AIC development problems of the region*. 2016. N3(27). 110-114 (In Russian). DOI: 10.15217/issn2079-0996.2016.3.
 9. Evstarova A.V. Regularities of the drilling fines flow on the screw surface of the auger at drilling of vertical boreholes. *Mining Information-Analytical Bulletin*. 2007. N3. 306-312 (In Russian). EDN: RGRBLH.
 10. Zagoruiko M.G., Vasilchikov V.V., Mamakhai A.K. Simulation of the extruder screw parameters. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. N4(14). 71-77 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-71-77.
 11. Protasov A.A., Makarov S.A., Danilin A.V., Levchenko G.V. Theoretical studies of kinematic parameters of material motion in a press-extruder. *Agrarian Scientific Journal*. 2019. N12. 105-109 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2019i12pp105-109.
 12. Brusenkov A.V., Konovalov D.N. Development, design and methodology for calculating the structural and technological characteristics of a screw grinder of root crops. *Vestnik Mashinostroeniya*. 2022. N10. 24-31 (In Russian). DOI: 10.36652/0042-4633-2022-10-24-31.
 13. Zagoruiko M.G., Dorokhov A.S., Maradudin A.M. Substantiation of the basic parameters of the screw expander for processing high protein crops. *Niva Povolzhya*. 2020. N2(55). 124-131 (In Russian). DOI: 10.36461/NP.2020.2.55.019.
 14. Zubelevich O.E. The D'Alembert - Lagrange principle: a geometrical aspect. *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 2020. N3(83). 31-39 (In Russian). DOI: 10.33048/SIBJIM.2020.23.303.
 15. Bogdanova S.B., Gladkov S.O. On the trajectories of bodies in non-inertial reference frames. *Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*. 2023. N84. 68-80 (In Russian). DOI: 10.17223/19988621/84/6.
 16. Marczuk A., Misztal W., Savinykh P. et al. Improving efficiency of horizontal ribbon mixer by optimizing its constructional and operational parameters. *Eksplotacja i niezawodnosc*. 2019. N2(21). 220-225 (In English). DOI: 10.17531/ein.2019.2.5.
 17. Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Pronin A.N., Sergeev A.G. Results of studies of the working process of a screw feeder for dry bulk components with a stepper motor. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024. N1(319). 33-36 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2024-1-33-36.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Загоруйко М.Г. – научное руководство, формулирование основных целей и задач исследования, создание окончательной версии рукописи;

Белышкина М.Е. – обсуждение материалов статьи, формирование общих выводов;

Башмаков И.А. – литературный анализ, визуализация, редактирование текста и оформление материалов.

Марадудин А.М. – разработка теоретических предположений, проведение расчетов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Zagoryiko M.G. – scientific supervision, formulation of the main research goals and objectives of the research, refinement of the draft manuscript version;

Belyshkina M.E. – discussion of the article's materials, formulation of general conclusions;

Bashmakov I.A. – literature review, visualisation, text editing and material design;

Maradudin A.M. – development of theoretical assumptions, and execution of calculations.

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

03.12.2024

25.02.2025

EDN: VAYVPG

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-41-48

Научная статья

УДК 631.362.3



Синхронизация взаимодействия дозатора с работой сортировочного сита зерен маша

Абдукарим Атхамович Абдурахманов¹,
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, руководитель лаборатории,
e-mail: abdukarim19.08@mail.ru;

Азамат Давронович Расулов²,
доктор философии по техническим наукам (PhD),
доцент,
e-mail: AzamatRasulov1986@gmail.com;

Дилшод Холмуратович Игамбердиев¹,
базовый докторант,
e-mail: disha7577@mail.ru

¹Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, Ташкентская обл., Янгиюльский р-н, Республика Узбекистан;

²Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», г. Ташкент, Республика Узбекистан

Реферат. В зерне маша комбайнового сбора содержится много посторонних примесей, в том числе мелкие и незрелые зерна. По этой причине зерно необходимо очищать и сортировать по размерам. Разработанное сортировочное сито цилиндрического типа с винтовым распределителем внутри должно быть снабжено дозирующим устройством, чтобы исходный материал из бункера поступал на сортировку в соответствии с режимом работы сортировочного сита. (*Цель исследования*) Разработать теоретические предпосылки синхронизации режимов работы дозирующего устройства лопастного типа и сортировочного сита для очистки от сорных примесей и разделения на фракции зерен маша комбайнового сбора. (*Материалы и методы*) Подача сыпучего материала дозирующим устройством всегда происходит порционно. Установленный на сортировочном сите винтовой распределитель также имеет порционный принцип действия. На этом основании возникает необходимость синхронизации их взаимодействия. (*Результаты и обсуждение*) Основными характеристиками работы лопастного дозатора являются производительность и коэффициент заполнения. Установлено, что коэффициент заполнения дозатора можно приравнять к максимально возможному значению, которое определяется конструктивными параметрами, поскольку сортировочное сито работает с небольшой частотой вращения. Для синхронной работы дозатора с сортировочным ситом их производительности должны быть равны, а также необходимо обеспечить взаимную кратность частот их вращения. Высокий коэффициент кратности частоты вращения дозатора к частоте вращения сортировочного сита с винтовым распределителем вынуждает увеличивать частоту вращения дозатора, что приводит к повышению потребления энергии и повреждению дозируемого материала. С увеличением количества лопастей дозатора снижается необходимая частота его вращения. Частоте вращения дозатора, равной 6 об/мин, соответствует наружный радиус дозатора 59,6 мм, а при 4 об/мин радиус дозатора равен 71,9 мм. В первом случае для синхронной работы дозатора с сортировочным ситом коэффициент кратности должен быть равен 3, во втором случае – 2. Практические значения наружного радиуса дозирующего аппарата будут выбраны по результатам экспериментальных исследований с условием обеспечения синхронности. (*Выводы*) Для эффективной очистки и сортировки зерен маша комбайнового сбора цилиндрическое сортировочное сито должно снабжаться дозатором, подающим исходный материал из бункера в соответствии с режимом работы сита. Порционный характер работы сортировочного сита с винтовым распределителем внутри и дозатора лопастного типа позволяет установить условие синхронизации их взаимодействия. С целью снижения потребления энергии и повреждения зерна дозатором необходимо применять более низкие коэффициенты кратности частоты вращения дозатора к частоте вращения цилиндрического сортировочного сита.

Ключевые слова: зерно маша, примеси, сортировочное сито, винтовой распределитель, дозатор лопастного типа, синхронизация, режим работы, производительность, коэффициент заполнения, коэффициент кратности.

■ **Для цитирования:** Абдурахманов А.А., Расулов А.Д., Игамбердиев Д.Х. Синхронизация взаимодействия дозатора с работой сортировочного сита зерен маша // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 41-48. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-41-48. EDN: VAYVPG.

Synchronizing the Interaction Between the Metering Unit and the Mung Bean Sorting Sieve

Abdulkarim A. Abdurakhmanov¹,
PhD (technical sciences), senior researcher,
head of laboratory,
e-mail: abdukarim19.08@mail.ru;

Azamat D. Rasulov²,
PhD (technical sciences), associate professor,
e-mail: AzamatRasulov1986@gmail.com;

Dilshod H. Igamberdiev¹,
basic doctoral student,
e-mail: disha7577@mail.ru

¹Scientific Research Institute of Agriculture Mechanization, Yangiyol district, Tashkent region, Republic of Uzbekistan;

²National Research University Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Abstract. Harvested mung bean grain contains a significant amount of extraneous impurities, including small and unripe grains. Therefore, the grain must be cleaned and sorted by size. The developed cylindrical sorting sieve with a screw distributor inside must be equipped with a metering unit to ensure that the raw material from the hopper is fed into the sorting process in accordance with the sieve's operating mode. (*Research purpose*) To develop theoretical foundations for synchronizing the operating modes of a paddle-type metering unit and a sorting sieve for removing weed impurities and fractionating harvested mung bean grains. (*Materials and methods*) The feeding of bulk material by the metering unit is always batchwise. The screw distributor installed inside the sorting sieve also operates in a batch mode. Based on this principle, their synchronization is necessary. (*Results and discussion*) The main performance characteristics of the paddle-type metering unit are throughput capacity and fill factor. It was established that the fill factor of the metering unit can be considered equal to its maximum possible value, which is determined by its design parameters, since the sorting sieve operates at a low rotational speed. For synchronised operation of the metering unit and the sorting sieve, their throughput capacities must be equal, and their rotational speeds must be multiples of each other. A high multiplicity ratio of the metering unit's rotational speed to that of the cylindrical sieve sorter with a screw distributor requires an increase in the metering unit's speed, which leads to higher energy consumption and potential damage to the dosed material. As the number of blades in the metering unit increases, the required rotational speed decreases. A metering unit rotational speed of 6 rpm corresponds to an outer radius of 59.6 mm, while a speed of 4 rpm corresponds to a radius of 71.9 mm. In the first case, for synchronization of the metering unit with the sorting sieve, the multiplicity ratio must be 3, and in the second case, it must be 2. The actual values of the outer radius of the metering unit will be determined based on the results of experimental studies to ensure proper synchronization. (*Conclusions*) For efficient cleaning and sorting of mung bean grains harvested by a combine, the cylindrical sorting sieve must be equipped with a metering unit that delivers the raw material from the hopper in accordance with the sieve's operating mode. The batch operation of both the sorting sieve with an internal screw distributor and the blade-type metering unit enables their synchronization. To reduce energy consumption and minimize grain damage, lower multiplicity ratios between the metering unit and the cylindrical sorting sieve should be maintained.

Keywords: mung bean grain, impurities, sorting sieve, screw distributor, blade-type doser, synchronization, operating mode, productivity, fill factor, multiplicity ratio.

■ **For citation:** Abdurakhmanov A.A., Rasulov A.D., Igamberdiev D.H. Synchronizing the interaction between the metering unit and the mung bean sorting sieve. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 41-48 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-41-48. EDN: VAYVPG.

В собранном комбайнами урожае маша содержится много непригодных для применения зерен и посторонних примесей. Это незрелые, сломанные, смятые зерна маша, минеральные примеси (земля, камушки), части стеблей растительности, семена сорных растений и другие мелкие примеси. Сами семена маша имеют разные размеры. По этой причине необходимы очистка от ненужных примесей и сортировка зерен по размерам [1, 2].

Сортировочное сито цилиндрического типа для очистки и сортировки зерен маша состоит из трех секций. В первой секции отделяются мелкие примеси от основной массы, во второй – зерна маша мелкой фракции, в третьей – зерна маша крупной фракции. Крупные сорные примеси выходят в последнюю очередь [3, 4].

На внутренней стенке сортировочного сита закреплен винтовой распределитель материала по

всей длине установки. Винтовой распределитель по мере вращения захватывает определенный объем материала и постепенно перемещает его вдоль установки. Материал должен поступать из бункера равномерно сплошным потоком или порционно при условии синхронизации с частотой вращения сортировочного сита с винтовым распределителем. Для стабильной работы и равномерной загрузки материала в сортировочном сите необходим дозирующий механизм. В этом случае винтовой распределитель будет захватывать одинаковые по массе порции.

Цель исследований. Разработать теоретические предпосылки, обеспечивающие синхронизацию режимов действия дозирующего устройства лопастного типа и сортировочного сита цилиндрического типа для очистки от сорных примесей и разделения на фракции зерен маша комбайнового сбора.

Материалы и методы. Дозирование сыпучего материала сплошным потоком мы считаем равномерным всегда с определенной степенью точности. Поток сыпучего материала не может быть идеально равномерным, поскольку его состав всегда разнородный, и даже самое точное дозирующее устройство в той или иной степени подает материал порционно. Исходя из этого, а также в связи с наличием в сортировочном сите винтового распределителя порционного действия нами выбран вариант порционной подачи материала с синхронизацией процесса дозирования с режимом работы сортировочного сита.

Известно, что дозаторы лопастного типа действуют по порционному принципу подачи материала [5, 6]. Разделение потока дозируемого материала на порции происходит из-за наличия лопастей. Если межлопастные пространства полностью будут заполнены дозируемым материалом, лопасти создают перерыв в подаче материала, придавая потоку порционный характер. Если межлопастные пространства заполнены не полностью, то на время, пока лопасти доходят до разгрузочного окна, поток дозируемого материала задерживается, что также придает потоку порционный характер.

На рисунке 1 представлена схема лопастного дозатора.

Результаты и обсуждение. Лопасти дозатора образуют с корпусом замкнутое пространство определенного объема, в которое может поступить только определенное количество материала. Одной из характеристик лопастного дозатора является коэффициент заполнения k (Утениязов П.А. Обоснование параметров устройства для локального внесения органических удобрений на полях под бахчевые культуры: автореф. ... д-ра философии по техн. наукам *PhD*. Гульбахор, 2020. С. 28). С технической точки зрения при максимальном значении этого ко-

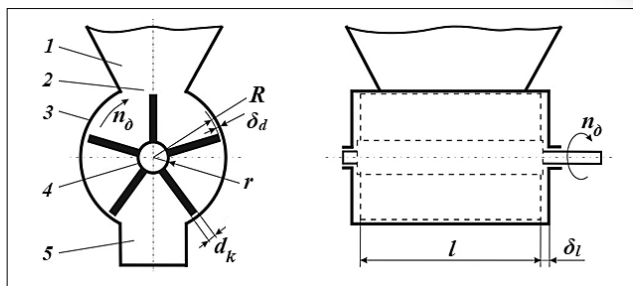


Рис. 1. Схема лопастного дозатора: 1 – бункер; 2 – загрузочное окно дозатора; 3 – корпус дозатора; 4 – лопастной барабан; 5 – разгрузочное окно дозатора

Fig. 1. Diagram of the blade-type metering unit: 1 – hopper; 2 – metering unit loading port; 3 – metering unit housing; 4 – blade drum; 5 – metering unit discharge port

эффициента дозатор будет работать с максимальной производительностью. Следовательно, при обосновании параметров дозирующего механизма мы должны стремиться к возможно большему значению коэффициента заполнения. При достаточно медленном вращении межлопастное пространство полностью заполнится материалом и коэффициент k стремится к своему максимуму, т.е. $k \rightarrow 1$. Если дозатор будет вращаться очень быстро, то материал не успевает заполнить пространство между лопастями, т.е. с увеличением частоты вращения дозатора $k \rightarrow 0$. Надо отметить, что всегда $k < 1$, поскольку лопасти и вал барабана занимают определенный объем в конструкции дозатора.

Максимальное значение коэффициента заполнения дозатора можно определить через соотношение объема, занимаемого валом и лопастями дозатора ($V_{\text{л}}$), к объему корпуса дозатора ($V_{\text{к}}$) по выражению:

$$k_{\max} = \frac{l[\pi r^2 + z(R-r)d_k]}{\pi(R+\delta_d)^2 \times (l+\delta_l)}, \quad (1)$$

где l – длина барабана, м; r – радиус вала барабана, м; z – количество лопастей; R – наружный радиус барабана, м; d_k – толщина лопасти, м; δ_d – зазор между лопастями и корпусом по окружности, м; δ_l – зазор между лопастями и корпусом по длине, м.

Зазоры δ_d и δ_l должны быть минимальными. Если считать, что они ничтожно малы по сравнению с другими размерами дозатора, можно ими пренебречь. Тогда формула (1) принимает упрощенный вид:

$$k_{\max} = 1 - \frac{z d_k}{\pi(R+r)}. \quad (2)$$

Из выражения (2) видно, что чем больше толщина и количество лопастей, тем меньше коэффициент заполнения дозатора, и наоборот, чем больше радиус вала и наружный радиус барабана, тем выше коэффициент заполнения, т.е. значение $k_{\max}$ определяется конструктивными параметрами дозирующего барабана.

При обосновании параметров и режима действия дозатора основным показателем работы выступает его производительность. Производительность дозатора должна быть равна производительности сортировочного сита:

$$Q_d = Q_c. \quad (3)$$

Производительность дозатора может быть рассчитана по выражению:

$$Q_d = k \cdot \pi (R^2 - r^2) \cdot l \cdot \rho \cdot n_d \cdot 60, \text{ кг/ч}, \quad (4)$$

где ρ – плотность дозируемого материала (зерна ма-ша с примесями), кг/м^3 ; n_d – частота вращения до-затора, об/мин .

Из условия (3) с учетом формулы (4):

$$n_d = \frac{Q_d}{k \cdot \pi (R^2 - r^2) \cdot l \cdot \rho \cdot 60}. \quad (5)$$

В этом выражении неизвестно значение k . Для его определения рассмотрим процесс истечения сы-пучего материала через окно разгрузки бункера [7-9], которое одновременно служит загрузочным окном дозатора. При этом форму бункера прини-маем как усеченную пирамиду с уменьшающимся по высоте нижним основанием со следующими па-раметрами: R_1, R_2 – размеры большого основания пирамиды, м; r_1, r_2 – размеры меньшего основания пирамиды, м; H – высота пирамиды, м; α_1, α_2 – углы наклона соответствующих сторон пирамиды, град (рис. 2).

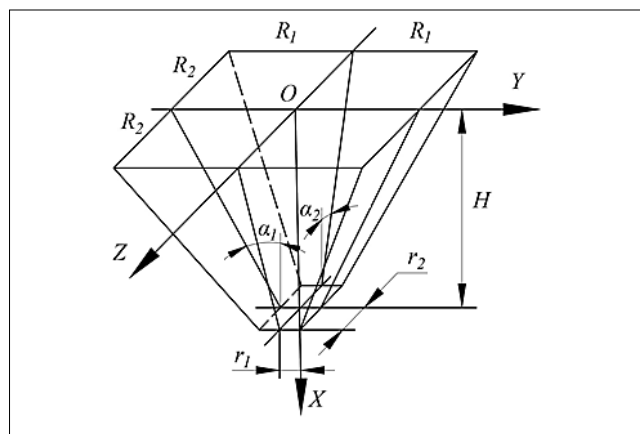


Рис. 2. Форма и основные размеры бункера

Fig. 2. Hopper shape and key dimensions

Уравнение движения сыпучего материала вну-три бункера можно записать следующим образом (Гячев П.В. Основы теории бункеров. Новосибирск. – Изд-во Новосиб. ун-та, 1992. 310 с.):

$$\frac{dq}{dt} - \frac{F_0'}{F_0^2} q^2 = g F_0, \quad (6)$$

где q – скорость истечения сыпучего материала, м/с ; $F(x)$ – площадь горизонтального сечения бун-

кера, проходящего через точку x по оси X , м^2 ; $F_0 = F(H)$ – площадь сечения выходного окна бун-кера, м^2 ; $F_0' = F'(H)$ – производная функции $F = F(x)$ по оси X , соответствующая сечению выходного ок-на бункера при $x = H$; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Горизонтальные сечения бункера имеют форму прямоугольника. Описывая их математическими уравнениями, получим выражение для определе-ния скорости истечения сыпучего материала из бун-кера:

$$q = \sqrt{\frac{E}{D}} \cdot t \cdot \sqrt{ED} t, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (7)$$

где $D = \frac{tg \alpha_1 r_2 + tg \alpha_2 r_1}{4 r_1^2 r_2^2} = \text{const}$ и $E = 4 g r_1 r_2 = \text{const}$.

В соответствии со свойствами гиперболическо-го тангенса выражение (7) всегда имеет растущий характер и стремится к граничному значению

$$q_{cp} = \sqrt{\frac{E}{D}}.$$

Пропускная способность выходного окна бун-кера определяется как произведение скорости ис-течения q сыпучего материала из бункера и его на-сыпной плотности ρ . Тогда с учетом (7):

$$Q = \rho \sqrt{\frac{E}{D}} \cdot t \cdot \sqrt{ED} t, \text{ кг/с}. \quad (8)$$

Имеется прямая взаимосвязь между пропускной способностью бункера и ее формой [10-12]. Опре-деляем пропускную способность бункера с формой усеченной пирамиды, сечение выходного окна ко-торого имеет прямоугольную форму. Известно, что для исключения сводообразования при истечении сыпучих материалов из бункеров размеры выход-ного окна должны удовлетворить условию $d/d_1 > 0,2$ [13, 14], где d – максимальный размер куса сы-пучего материала, d_1 – ширина выходного окна бун-кера. Известен также [3] максимальный размер се-мян ма-ша, культивируемого в Узбекистане: $d = 7,42 \text{ мм}$. Следовательно, ширина выходного окна бункера должна быть не менее 37 мм, т.е. $d_1 > 37 \text{ мм}$. Исхо-дя из вышеизложенного, задаем разные значения ширины выходного окна бункера от 40 до 70 мм с шагом 10 мм, т.е. $r_1 = 0,020; 0,025; 0,030; 0,035 \text{ м}$, а длину принимаем постоянной и равной 200 мм, т.е. $r_2 = 0,1 \text{ м}$.

Углы наклона бункера должны удовлетворить условию $\alpha_1 = \alpha_2 < 90 - \varphi$, где φ – угол внешнего тре-ния дозируемого материала по стали. Основываясь на вышеприведенных данных, принимаем началь-ные параметры семян ма-ша с примесями: $\varphi = 22^\circ 36'$, $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$. Следовательно, можно принять $\alpha_1 = \alpha_2 = 65^\circ$. Кроме того, известны основные показатели и ре-жим работы цилиндрического сита для очистки и

сортировки зерен маша: производительность $Q_c = 0,167$ кг/с (600 кг/ч) и частота вращения $n_c = 10$ об/мин [3].

Пользуясь выражением (8) при вышеприведенных значениях параметров построим графики зависимостей пропускной способности (Q) разгрузочного окна бункера от времени истечения (t) при $r_2 = 0,1$ м (рис. 3).

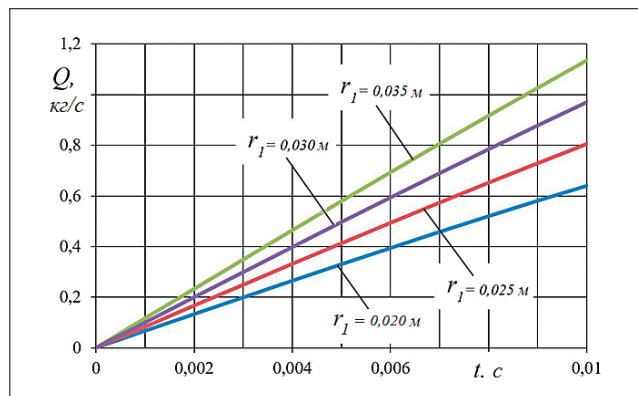


Рис. 3. Зависимость пропускной способности (Q) выходного окна бункера от времени истечения (t) при $r_2 = 0,1$ м

Fig. 3. Relationship between the hopper outlet throughput capacity (Q) and outflow time (t) at $r_2 = 0.1$ m

Как видно из графиков, пропускная способность выходного окна бункера, равная производительности сортировочного сита $0,167$ кг/с, при ширине выходного окна $r_1 = 0,020$ м достигается за время $t = 0,0025$ с, а при ширине $r_1 = 0,035$ м за время $t < 0,0015$ с.

Если частоту вращения дозирующего барабана принимать в пределах, не превышающих частоту вращения цилиндрического сортировочного сита, например $n_d = 10$ об/мин, то за такой короткий промежуток времени, как $t = 0,0025$ с, лопасти барабана могут повернуться на угол всего $0,15^\circ$. Это означает, что пропускная способность выходного окна бункера при наших заданных размерах и режиме работы дозирующего барабана значительно больше необходимой производительности последнего. Поэтому, основываясь на конструктивных соображениях, принимаем ширину выходного окна бункера $r_1 = 0,02$ м. При этом коэффициент заполнения дозатора можем принимать равным конструктивно максимальному коэффициенту, т.е. $k = k_{\max}$.

Синхронность взаимодействия дозирующего механизма с сортировочным ситом обеспечивается при условии кратности частоты вращения дозирующего механизма частоте вращения сортировочного сита [10, 12]. В дозирующем механизме лопасти разделяют поток материала на порции. Цилиндрическое сортировочное сито за счет наличия винтового распределителя тоже работает пор-

ционно. Причем винтовой распределитель является однозаходным, т.е. за один оборот сортировочного сита он захватывает одну порцию сортируемого материала. На этом основании мы можем утверждать, что для обеспечения синхронности взаимодействия дозатора с сортировочным ситом должно соблюдаться равенство:

$$zn_d = K n_c, \quad (9)$$

где K – коэффициент кратности.

Пользуясь равенством (9) при значении коэффициента кратности от 1 до 4, принимая при этом $n_c = 10$ об/мин, построены графики зависимости частоты вращения дозатора (n_d) от количества лопастей (z) на дозаторе (рис. 4). При этом количество лопастей принимали равным от 3 до 8 по следующим техническим соображениям:

- при количестве лопастей 1 или 2 сложно будет исключить просыпание материала из бункера при прекращении вращения дозатора;
- количество лопастей более 8 нецелесообразно, поскольку речь идет о сравнительно небольших объемах дозируемого материала, а также чем больше количество лопастей, тем выше вероятность повреждения дозируемого материала.

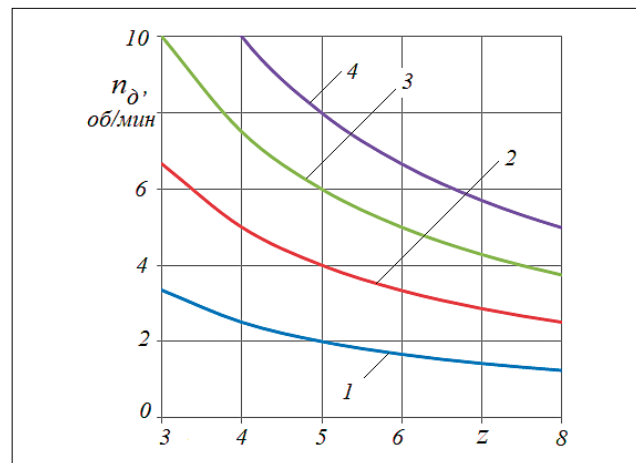


Рис. 4. Зависимость частоты вращения дозатора (n_d) от количества лопастей (z) при $n_c = 10$ об/мин и коэффициенте кратности: 1 – $K = 1$; 2 – $K = 2$; 3 – $K = 3$; 4 – $K = 4$

Fig. 4. Dependence of the metering unit rotation speed (n_d) on the Number of Blades (z) at $n_c = 10$ rpm and Multiplicity Factor: 1 – $K = 1$; 2 – $K = 2$; 3 – $K = 3$; 4 – $K = 4$

Из графика видно, что независимо от коэффициента кратности с увеличением количества лопастей снижается необходимая частота вращения дозатора. Также можно утверждать, что высокий коэффициент кратности вынуждает применить более высокую частоту вращения. Этот график можно применить как номограмму для определения требуемой частоты вращения конкретного дозато-

ра с заданным количеством лопастей (z) на барабане. Например, если $z = 5$, то при коэффициенте кратности $K = 1$ частота вращения дозатора должна быть $n_d = 2$ об/мин, при $K = 2$, $n_d = 4$ об/мин и при $K = 3$ $n_d = 6$ об/мин. Если предположить, как частный случай, что у дозирующего барабана и сортировочного сита будет одинаковая частота вращения, то по графику видно, что этому условию отвечает трехлопастной дозатор при $K = 3$ или четырехлопастной дозатор при $K = 4$.

При выборе наиболее оптимального варианта необходимо учитывать производительность сортировочного сита в соответствии с равенством (3), из которого получено выражение (5). Пользуясь выражением (5), построены графики изменения частоты вращения дозатора в зависимости от величины наружного радиуса (R) дозирующего барабана, когда $z = 4, 5$ и 6 при условии обеспечения одинаковой производительности $Q_d = Q_c$ (рис. 5). Длину дозирующего барабана принимаем равной длине стороны выходного окна бункера, т.е. $l = 2r_2 = 0,2$ м, конструктивно принимаем радиус вала дозирующего барабана $r = 0,015$ м и толщину лопасти $d_k = 0,003$ м, которые влияют на величину $k_{\max}$.

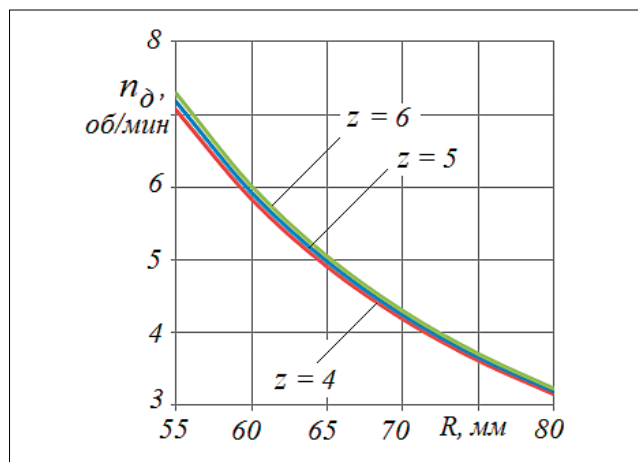


Рис. 5. Зависимость частоты (n_d) вращения дозатора от наружного радиуса (R) дозирующего барабана

Fig. 5. Relationship between the metering unit rotation speed (n_d) and the outer radius (R) of the metering drum

Из графика видно, что при равных значениях других параметров и режима работы дозатора при условии обеспечения заданной производительности дозирования увеличение наружного радиуса (R) дозирующего барабана приводит к возможности снижения частоты его вращения (n_d). Малая частота вращения, когда коэффициент заполнения дозатора максимален, способствует получению максимальной производительности дозирующего механизма. Кроме того, на малых оборотах механизмов минимальны потребление энергии и степень повреждения дозируемого материала.

Когда количество лопастей $z = 5$, то при $R = 55$ мм частота вращения дозатора должна быть $n_d = 7,18$ об/мин, а при $R = 75$ мм $n_d = 3,66$ об/мин, т.е. почти в два раза меньше, чем при $R = 55$ мм.

По графику на рисунке 5 можно определить необходимый наружный радиус дозирующего барабана при вышеприведенных других параметрах, который соответствует, например, количеству лопастей $z = 5$. Частоте вращения дозирующего барабана $n_d = 6$ об/мин соответствует наружный радиус барабана $R = 59,6$ мм, а при $n_d = 4$ об/мин $R = 71,9$ мм. В первом случае для синхронной работы дозатора с сортировочным ситом коэффициент кратности должен быть $K = 3$, во втором случае $K = 2$. Практические значения наружного радиуса дозирующего барабана будут выбраны по результатам экспериментальных исследований с условием обеспечения синхронности.

Выводы

Для эффективной очистки и сортировки зерен маша от недозрелых, поврежденных семян и сорных примесей цилиндрическое сортировочное сито должно снабжаться дозатором, подающим исходный материал из бункера в соответствии с режимом и характером работы сортировочного сита.

Порционный характер работы цилиндрического сортировочного сита с винтовым распределителем и дозатора лопастного типа позволяет установить условие синхронизации их взаимодействия при очистке и сортировке зерен маша комбайнового сбора.

Высокий коэффициент кратности частоты вращения дозатора к частоте вращения цилиндрического сортировочного сита вынуждает применить более высокие частоты вращения, что приведет к повышению потребления энергии и повреждению материала дозатором. С увеличением количества лопастей дозатора снижается необходимая частота его вращения.

Авторы выражают благодарность главному специалисту по информационно-коммуникационным технологиям и цифровизации Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства А.Д. Субанбаеву за оказанное содействие при работе над данной статьей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дринча В.М., Ценч Ю.С. Основы и перспективы развития технологий послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. N14(4). С. 17-25. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-17-25.
2. Хамуев В.Г., Герасименко С.А. Обоснование конструктивно-компоновочной схемы гравитационно-пневматического очистителя семян сои // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. N16(3). С. 27-32. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-3-27-32.
3. Rasulov A., Abduraxmanov A., Igamberdiev D., Idrisov Kh. Primary cleaning machine for small and medium-sized mung bean grains for farms and peasant farms. *BIO Web of Conferences*. 78, 06006. MTSITVW. 2023. DOI: 10.1051/bioconf/20237806006.
4. Тарасенко А.П., Оробинский, Гиевский А.М. и др. Снижение травмирования зерна при послеуборочной обработке // *Вестник аграрной науки Дона*. 2019. N1 (45). С. 63-68. EDN: VDYIER.
5. Лепёшкин Н.Д., Мижурин В.В., Савчук С.В. Обоснование типа централизованной системы посева и ее элементов для широкозахватной зерновой сеялки // *Вестник Брестского государственного технического университета*. 2021. N1(124). С. 43-48. DOI: 10.36773/1818-1212-2021-124-1-43-48.
6. Воронина М.В. Показатели работы высевашей аппарата для мелкосеменных культур // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2009. N 7. С. 8-9. EDN: KYZBLN.
7. Лобанов В.И., Чухлебова А.В., Гаршин И.А. Исследование процесса истечения сыпучих материалов из бункеров. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021. Vol. 4-1(55). 47-49. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-4-1-47-49.
8. Мелехина К.А., Ананьев П.П., Плотникова А.В., Шестак С.А. Математическая модель процесса усреднения свойств сыпучих материалов при их истечении // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020. 8(2). DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.024.
9. Zhang X., Tao G., Zhu Zh. Laboratory study of the influence of dip and ore width on gravity flow during longitudinal sublevel caving. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018. 103:179-185. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.01.039.
10. Тишанинов Н.П., Анашкин А.А., Емельянович С.В. Обеспечение качества триерной очистки зерна за счет авторегулирования режимов работы // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2021. N4(56). С. 67-75. DOI: 10.35694/YARCX.2021.56.4.012.
11. Krzysiak Z., Skic A., Samociuk W. et al. Effect of sieve drum inclination angle on wheat grain cleaning in a novel rotary cleaning device. *Transaction of ASABE*. 2017. Vol. 60. N5. 1751-1758. DOI: 10.13031/trans.12110.
12. Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. Взаимосвязь производительности триера с режимами работы // *Наука в Центральной России*. 2018. N3 (33). С. 12-20. EDN: OVNUZG.
13. Диктерук М.Г., Кравчук В.Т., Заслуженный А.С., Човнюк Ю.В. Исследование закономерностей движения сыпучих материалов в вертикальных емкостях (силосы/бункеры): мониторинг статического напряженного состояния и анализ истечения по второй форме в общей постановке // *Вестник Херсонского национального технического университета*. 2018. Т. 1. N3(66). С. 55-73.
14. Воробьев А.А., Мигров А.А. Анализ и выбор геометрических параметров бункера для изучения процесса выгрузки сыпучих материалов // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2022. Т. 19. Вып. 1. С.97-104. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-1-97-104.

REFERENCES

1. 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. N14(4). 17-25 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-17-25.
2. Khamuev V.G., Gerasimenko S.A. Substantiation of the design and layout scheme for the gravity-pneumatic soybean seed cleaner. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. N16(3). 27-32 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-3-27-32.
3. Rasulov A., Abduraxmanov A., Igamberdiev D., Idrisov Kh. Primary cleaning machine for small and medium-sized mung bean grains for farms and peasant farms. *BIO Web of Conferences*. 78, 06006. MTSITVW. 2023 (In English). DOI: 10.1051/bioconf/20237806006.
4. Tarasenko A.P., Orobinskiy V.I., Gieyevskiy A.M. et al. Reduction of grain trauma during post-harvest handling. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2019. N1 (45). 63-68 (In Russian). EDN: VDYIER.
5. Lepeshkin N.D., Mizhurin V.V., Sauchuk S.V. Justification of the type of centralized seeding system and its elements for a wide-reach grain seeder. *Vestnik of Brest State Technical University*. 2021. N1(124). 43-48 (In Russian). DOI: 10.36773/1818-1212-2021-124-1-43-48.
6. Voronina M.V. Indicators of work of a sowing apparatus for microspermae cultures. *Mechanization and Electrification of Agriculture*. 2009. N7. 8-9 (In Russian). EDN: KYZBLN.
7. Lobanov V.I., Chukhlebova A.V., Garshin I.A. Investigation of the process of the flow of bulk materials from the bins. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021. Vol. 4-1 (55). 47-49 (In Russian). DOI: 10.24412/2500-1000-2021-4-1-47-49.
8. Melekhina K.A., Anan'yev P.P., Plotnikova A.V., Shestak S.A.

- Mathematical model of the process of averaging the properties of bulk materials during their flow. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020. 8(2) (In Russian). DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.024.
9. Zhang X., Tao G., Zhu Zh. Laboratory study of the influence of dip and ore width on gravity flow during longitudinal sublevel caving. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018. 103:179-185 (In English). DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.01.0399.
 10. Tishaninov N.P., Anashkin A.A., Yemel'yanovich S.V. Ensuring the quality of grain cleaning by means of auto-regulation of operation modes. *Agroindustrial Complex of Upper Volga Region Herald*. 2021. N4(56). 67-75 (In Russian). DOI: 10.35694/YARCX.2021.56.4.012.
 11. Krzysiak Z., Skic A., Samociuk W. et al. Effect of sieve drum inclination angle on wheat grain cleaning in a novel rotary cleaning device. *Transaction of ASABE*. 2017. Vol. 60. N5. 1751-1758 (In English). DOI: 10.13031/trans.12110.
 12. Tishaninov N.P., Anashkin A.V. Relationship between trier productivity and operating modes. *Science in the Central Russia*. 2018. N3 (33). 12–20 (In Russian). EDN: OVNUGZ.
 13. Dikteruk M.G., Kravchuk V.T., Zasluzennii A.S., Chovnyuk Yu.V. Investigation of free-flowing bulk material's movement laws at vertical vessels (silos/hoppers): monitoring of static stress state and analysis of efflux by the second form at the general definition of a problem. *Bulletin of Kherson National Technical University*. 2018. N3(66). Vol. 1. 55-73 (In Russian).
 14. Vorobyev A.A., Migrov A.A. Analysis and selection of geometric parameters of a hopper to study the process of unloading bulk materials. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2022. Vol. 19. Iss. 1. 97-104 (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-1-97-104.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Абдурахманов А.А. – научное руководство, постановка цели и направления исследований, анализ данных и доработка текста, формирование общих выводов;
 Расулов А.Д. – участие в критическом анализе данных, обобщение результатов, формирование общих выводов, работа с текстом;
 Игамбердиев Д.Х. – поиск аналитических материалов в отечественных и зарубежных источниках, первичный анализ данных, подготовка текста и иллюстраций.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Abdurakhmanov A.A. – scientific supervision, setting research objectives and defining research strategies, data analysis and manuscript revision, formulation of general conclusions;
 Rasulov A.D. – participation in critical data analysis, result summarization, formulation of general conclusions, and manuscript editing;
 Igamberdiev D.Kh. – search for analytical materials in domestic and foreign sources, initial data analysis, drafting the manuscript and illustrations.
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

03.12.2024
 25.02.2025

EDN: XWJBRT

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-49-54



Научная статья

УДК 631.331



Селекционная сеялка на базе самоходного шасси с роботизированным кассетным загрузочным устройством

Андрей Сергеевич Чулков,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: andrei.chulkov@mail.ru;
Марсель Марселевич Шайхов,
ведущий специалист,
e-mail: mars.shaihov@yandex.ru;

Арсен Хасанбиевич Текушев,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: kmk3.vim@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Для выполнения технологии посева на втором этапе селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства зерновых, зернобобовых и других культур обычно применяют кассетные селекционные сеялки с порционными высевальными аппаратами конусного типа. (*Цель исследования*) Дать обзор известных селекционных сеялок на базе самоходного шасси для второго этапа работ с кассетным загрузочным устройством и предложить усовершенствованный вариант селекционной сеялки на основе роботизации процесса подачи семян зерновых, зернобобовых и других культур к порционному высевальному аппарату. (*Материалы и методы*) Дали краткий обзор кассетных сеялок на базе самоходного шасси. Обосновали конструктивно-технологические параметры и разработали сеялку для второго этапа селекционных работ с роботизированным кассетным загрузочным устройством в соответствии с ГОСТ Р 60.0.0.4-2023/ISO 8373:2021 и ОСТ 46 73-78. Провели лабораторные исследования экспериментального образца сеялки с роботизированным кассетным загрузочным устройством. (*Результаты и обсуждение*) Отметили некоторые конструктивные особенности кассетных селекционных сеялок на базе самоходного шасси, в частности, сеялок СКС-6-10 и СССР-6. Предложили техническое решение в направлении роботизации кассетного устройства для загрузки селекционных сеялок, сокращающее применение ручного труда. Разработали конструкцию устройства, ее особенности в том, что блоки кассет с высевальным материалом расположены на вращающейся платформе, а перемещение кассет к высевальным аппаратам происходит с помощью актуатора. Представили схему и алгоритм работы роботизированного кассетного загрузочного устройства карусельного типа. (*Выводы*) Применение роботизированного кассетного загрузочного устройства карусельного типа взамен кассетного загрузочного устройства на кассетной селекционной сеялке создает предпосылки для повышения производительности выполнения основной операции посева за час сменного времени до 20% и снижения трудоемкости выполнения операции посева.

Ключевые слова: посев зерновых культур, самоходное шасси, селекционная кассетная сеялка, роботизированное кассетное загрузочное устройство.

■ **Для цитирования:** Чулков А.С., Шайхов М.М., Текушев А.Х. Селекционная сеялка на базе самоходного шасси с роботизированным кассетным загрузочным устройством // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 49-54. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-49-54. EDN: XWJBRT.

Scientific article

Selection Seeder with a Robotic Cassette Loading Device Mounted on Self-Propelled Chassis

Andrey S. Chulkov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: andrei.chulkov@mail.ru;
Marsel' M. Shaykhov,
leading specialist, e-mail: mars.shaihov@yandex.ru;

Arsen Kh. Tekushev,
Ph.D. (Eng.), senior researcher,
e-mail: kmk3.vim@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Cassette-type selection seeders equipped with portion cone-type sowing devices are typically used in sowing technology at the second stage of selection, variety testing, and primary seed production of cereals, grain legumes, and other crops. (*Research*

purpose) To review existing selection seeders mounted on self-propelled chassis used at the second stage of operations with cassette loading devices and to propose an improved selection seeder integrating robotic automation for the precise feeding of cereal, grain legume, and other crop seeds to the batch sowing mechanism. (*Materials and methods*) A brief review of cassette seeders mounted on self-propelled chassis was conducted. The structural and technological parameters were justified, leading to the development of a selection seeder for the second stage of selection trials. This seeder incorporates a robotic cassette loading device and was designed in compliance with GOST R 60.0.0.4-2023/ISO 8373:2021 and OST 46 73-78. Laboratory tests were carried out on an experimental prototype of the seeder equipped with a robotic cassette loading device. (*Results and discussion*) The study identified key structural features of cassette-type selection seeders mounted on self-propelled chassis, particularly the SKS-6-10 and SSSÉ-6 models. A technical solution was proposed to automate the cassette loading process in selection seeders, reducing the need for manual labor. A new device design was developed, incorporating cassette blocks with sowing material arranged on a rotating platform, while cassette movement to the sowing mechanisms is facilitated by an actuator. Additionally a diagram and an operational algorithm for the robotic carousel-type cassette loading device are presented. (*Conclusions*) Replacing the conventional cassette loading device in a cassette-type selection seeder with a robotic carousel-type cassette loading device can increase sowing productivity by up to 20% per hour of shift time and reduce the labor intensity.

Keywords: cereal crop sowing, self-propelled chassis, selection cassette seeder, robotic cassette loading device.

■ **For citation:** Chulkov A.S., Shaykhov M.M., Tekushev A.Kh. Selection seeder with a robotic cassette loading device mounted on self-propelled chassis. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025.Vol. 19. N1. 49-54 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-49-54. EDN: XWJBRT.

Разработка и применение новых селекционных сеялок с электроприводом рабочих органов и элементами автоматизации и роботизации технологического процесса должны служить более качественному выполнению посева зерновых и других культур в селекционных и семеноводческих питомниках, содействовать уменьшению трудоемкости, и росту производительности труда на посевах деленок и повышению их продуктивности [1-3].

Для выполнения технологии посева на втором этапе селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства зерновых, зернобобовых и других культур обычно применяют кассетные селекционные сеялки с порционными высевальными аппаратами конусного типа и кассетные загрузочные устройства (КЗУ) [4-6].

Цель исследования: обзор известных селекционных сеялок на базе самоходного шасси для второго этапа работ с кассетным загрузочным устройством и усовершенствование варианта селекционной сеялки на базе самоходного шасси, содержащий элементы роботизации процесса подачи семян к порционному высевальному аппарату.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Дан краткий обзор кассетных сеялок на базе самоходного шасси. Дано обоснование конструктивно-технологических параметров и разработана сеялка для второго этапа селекционных работ с роботизированным кассетным загрузочным устройством (РКЗУ) в соответствии с ГОСТ Р 60.0.0.4-2023/ИСО 8373:2021 «Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения» и OST 46 73-78 «Параметры опытного поля, схемы посева и требования к типу посева и уборочных машин в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве зерновых

и зернобобовых культур. Параметры элементов опытного поля по этапам работ». Согласно OST 46 73-78 на втором этапе селекции на одной деленке длиной от 1 до 5 м должен производиться посев до 500 семян зерновых или до 300 семян зернобобовых культур. Проведены лабораторные исследования экспериментального образца сеялки с роботизированным кассетным загрузочным устройством с использованием разработанной методики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Представим некоторые конструктивные особенности селекционных сеялок на базе самоходного шасси, оборудованных кассетным загрузочным устройством.

Сеялка кассетная селекционная СКС-6-10 (рис. 1) оборудовалась порционными высевальными аппаратами двух типов: шестью конусными аппаратами автономного посева с кассетным загрузочным устройством и одним аппаратом центрального распределения [6, 7].



Рис. 1. Сеялка кассетная селекционная СКС-6-10

Fig. 1. Cassette-type selection seeder SKS-6-10

Опытный образец 6-рядной самоходной селекционной сеялки СССэ-6 (рис. 2) на базе самоходного шасси, разработанный ранее в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, имел несущую раму и привод высевающих аппаратов, адаптированные для работы с узлами сеялки Rowseed S фирмы Wintersteiger AG (Австрия) [8, 9].



Рис. 2. Сеялка селекционная самоходная СССэ-6
Fig. 2. Self-propelled selection seeder SSSé-6

Загрузка конусных высевающих аппаратов с обводной лентой происходит с помощью кассетного загрузочного устройства (КЗУ), которое обеспечивает подачу кассет с семенным материалом к высевающим аппаратам в автоматическом режиме. Работа порционных высевающих аппаратов синхронизирована с работой механизма перемещения кассет (патент RU 2789549 «Устройство для автоматизации процесса высева семян», 2023 г.).

В рассмотренных кассетных селекционных сеялках с КЗУ вспомогательные операции начальной установки блока кассет с семенами на рабочем столе, снятия со стола освобожденных от кассет пластин, а также последующего размещения сменных блоков кассет с семенами на кассетном столе в циклическом процессе работы сеялки выполняются вручную оператором.

Для загрузки порционных высевающих аппаратов конусного типа семенами предложено применять роботизированное кассетное загрузочное устройство, что позволит повысить производительность и снизить трудоемкость по сравнению с ранее применявшимися кассетными загрузочными устройствами [10, 11].

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ было разработано роботизированное кассетное загрузочное устройство карусельного типа [7, 12, 13].

Схема устройства (патент RU 2806909 «Роботизированное кассетное загрузочное устройство карусельного типа селекционной сеялки», 2023 г.) представлена на рисунке 3.

РКЗУ работает в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 4.

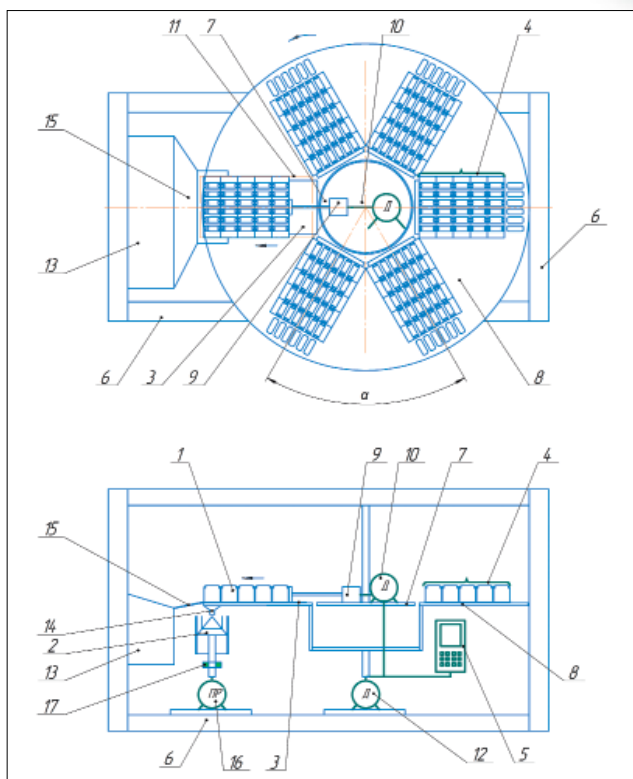


Рис. 3. Схема РКЗУ карусельного типа (вид сверху и сбоку): 1 – кассета с ячейками для высеваемого материала; 2 – высевающий аппарат; 3 – направляющая пластина; 4 – кассетный блок; 5 – блок управления; 6 – рама; 7 – центральная неподвижная платформа; 8 – внешняя подвижная платформа; 9 – актуатор; 10 – электродвигатель привода актуатора; 11 – рабочая зона перемещения кассет; 12 – шаговый электродвигатель привода внешней подвижной платформы; 13 – контейнер для сбора пустых кассет; 14 – рабочий стол с отверстиями для выгрузки семян из ячеек кассеты; 15 – наклонный лоток для спуска пустых кассет; 16 – шаговый электродвигатель привода высевающего аппарата; 17 – датчик вращения конусных высевающих аппаратов

Fig. 3. Diagram of carousel-type robotic cassette loading device (RCLD, top and side views): 1 – cassette with cells for the material to be sown; 2 – sowing device; 3 – guide plate; 4 – cassette block; 5 – control unit; 6 – frame; 7 – central stationary platform; 8 – outer movable platform; 9 – actuator; 10 – actuator drive electric motor; 11 – working area for cassette movement; 12 – stepper motor for the outer movable platform drive; 13 – container for collecting empty cassettes; 14 – work table with holes for unloading seeds from cassette cells; 15 – inclined chute for empty cassette discharge; 16 – stepper electric motor for the sowing unit drive; 17 – rotation sensor for conical sowing devices

РКЗУ для подачи материала к порционным высевающим аппаратам может быть установлено как на отечественных сеялках (типа СКС-6-10, СКС-6А, СССэ-6 и др.) [6-8], так и на селекционных сеялках зарубежных компаний [14].

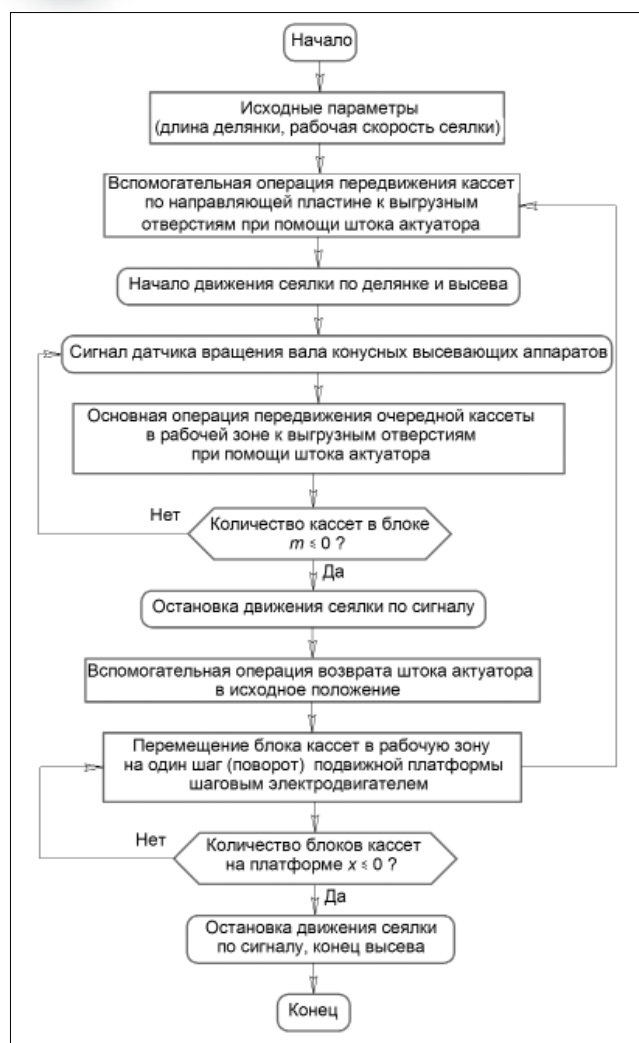


Рис. 4. Алгоритм работы РКЗУ карусельного типа

Fig. 4. Operating algorithm of the carousel-type robotic cassette loading device

Экспериментальный образец сеялки разработан путем интегрирования РКЗУ карусельного типа в селекционную сеялку на базе самоходного шасси типа Т-16. Схема и экспериментальный образец сеялки селекционной самоходной роботизированной для второго этапа работ (СССР-2) представлены на рисунке 5.

Порядок работы сеялки на селекционной делянке

Сеялка с загруженным семенным материалом блоками кассет подается к началу селекционной делянки. Оператор-тракторист включает блок управления, вводит исходные параметры длины делянки и междурядной дорожки, и сеялка начинает работу.

С началом движения сеялки, в соответствии с заданием по засеву делянок, кассеты подаются актуатором в рабочей зоне к выгрузным отверстиям РКЗУ для загрузки высевальных аппаратов конусного типа. Из высевального аппарата семена рав-

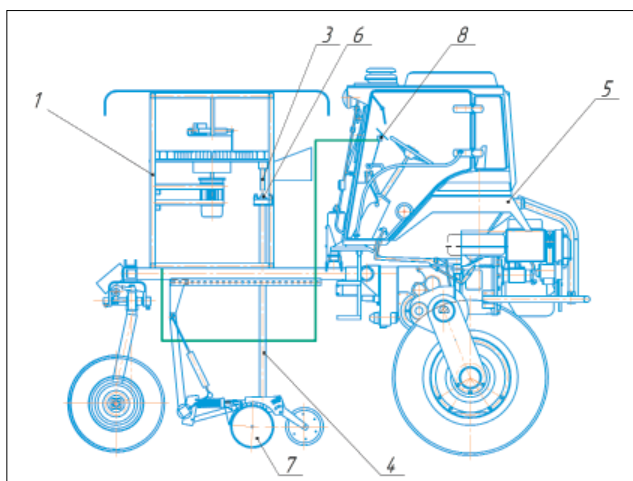


Рис. 5. Схема и экспериментальный образец сеялки селекционной самоходной роботизированной для второго этапа работ (СССР-2): 1 – роботизированное кассетное загрузочное устройство карусельного типа; 2 – самоходное шасси типа Т-16; 3 – высевальный аппарат автономного высева; 4 – двухдисковый сошник; 5 – семяпроводы; 6 – блок управления

Fig. 5. Diagram and experimental prototype of the self-propelled robotic selection seeder for the second stage of operations (SSSR-2): 1 – robotic carousel-type cassette loading device; 2 – self-propelled chassis of the T-16 type; 3 – autonomous sowing unit; 4 – double-disc opener; 5 – seed tubes; 6 – control unit

номерно перемещаются в семяпровод и далее в борозду, образованную двухдисковым сошником. Задельвающие-выравнивающие устройства, выполненные в виде прикатывающих катков, засыпаемые в борозду, разравнивают поверхность почвы и обеспечивают ее легкое уплотнение.

После схода всех кассет кассетного блока с направляющей пластины в рабочую зону подается очередной блок кассет с семенами посредством поворота на расчетный угол платформы РКЗУ, и процесс подачи кассет к выгрузным отверстиям для загрузки высевальных аппаратов сеялки повторяется.

С использованием программы и методики были проведены лабораторные исследования экспериментального образца сеялки для второго этапа селекционных работ с роботизированным кассетным загрузочным устройством.

По оценке показателей времени цикла работы исследуемых сеялок, посев сеялкой СССР-2 с РКЗУ выполняется быстрее на 11%, в сравнении с сеялкой СССР-6 с КЗУ.

Оценка производительности селекционной сеялки с РКЗУ за час сменного времени

Приведем сравнительный расчет производительностей на втором этапе селекционных работ сеялки СССР-6, оборудованной КЗУ, и сеялки СССР-2 с интегрированным в нее РКЗУ карусельного типа.

Производительность сеялки за час сменного времени:

$$W_{\text{ч}} = 0,1B_{\text{р}} \cdot v_{\text{с}} \cdot K_{\text{см}}, \text{ га/ч,}$$

где $B_{\text{р}}$ – рабочая ширина захвата сеялки СССР-6, м;
 $B_{\text{р}} = 0,9$ м; $v_{\text{с}}$ – рабочая скорость движения сеялки, км/ч;
 $K_{\text{см}}$ – коэффициент использования времени смены.

Для 2-го этапа селекционных работ максимальная скорость для сеялки СССР-6 с КЗУ $v_{\text{с}} = 3,0$ км/ч, для сеялки СССР-2 с РКЗУ – $v_{\text{с}} = 3,6$ км/ч.

Коэффициент использования времени смены:

$$K_{\text{см}} = T_{\text{р}} / T_{\text{см}},$$

где $T_{\text{см}}$ – количество часов в смене, ч; $T_{\text{р}}$ – чистое рабочее время в течение смены, ч.

При пятидневной рабочей неделе $T_{\text{см}} = 8$ ч и $T_{\text{р}} = 5$ ч (расчетное значение);

$$K_{\text{см}} = 5/8 = 0,625.$$

Производительность:

• сеялки СССР-6 с КЗУ

$$W_{\text{чКЗУ}} = 0,1 \cdot 0,9 \cdot 3,0 \cdot 0,625 = 0,169 \text{ га/ч;}$$

• сеялки СССР-2 с РКЗУ карусельного типа

$$W_{\text{чРКЗУ}} = 0,1 \cdot 0,9 \cdot 3,6 \cdot 0,625 = 0,203 \text{ га/ч.}$$

Из результатов расчета следует, что применение РКЗУ карусельного типа взамен КЗУ на селекционной сеялке типа СССР-6 позволит увеличить до 20% производительность сеялки за час сменного времени.

Выводы. Применение роботизированного кассетного загрузочного устройства карусельного типа взамен кассетного загрузочного устройства на кассетной селекционной сеялке создает предпосылки для повышения производительности выполнения основной операции посева за час сменного времени до 20% и снижения количества обслуживающего персонала до одного человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Измайлов А.Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве // *Вестник Российской академии наук*. 2019. Т. 89. N5. С. 536-538. DOI: 10.31857/S0869-5873895536-538.
- Бейлис В.М., Ценч Ю.С., Коротченя В.М. и др. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N4(33). С. 150-156. EDN: YTHPID.
- Жалнин Э.В. Возродим селекцию и семеноводство // *Сельский механизатор*. 2014. N7. С. 4-5. EDN: SVKVRN.
- Ценч Ю.С., Несмиян А.Ю., Хомутова Н.С. История развития конструкции высевальных аппаратов зерновых сеялок // *Вопросы истории естествознания и техники*. 2020. Т. 41. N1. С. 102-117. DOI: 10.31857/S020596060008429-3.
- Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. и др. Научно-технические достижения агроинженерных научных учреждений для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села*. 2021. N4(286). С. 2-11. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-4-2-11.
- Чулков А.С., Шайхов М.М., Чаплыгин М.Е., Текушев А.Х. Кассетные загрузочные устройства для высевальных аппаратов селекционных сеялок // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N2(51). С. 74-81. DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-2-74-81.
- Чулков А.С., Шибряева Л.С. Параметры кассеты для роботизированного загрузочного устройства селекционной сеялки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N2. С. 92-97. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-92-97.
- Лавров А.В. К вопросу разработки интеллектуальной технологии высева семенного материала // *Инженерный вестник Дона*. 2018. N4(51). С. 111. EDN: COOZTH.
- Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Миронова А.В. Разработка и исследование дозирующей системы высевального устройства пневматической сеялки // *Техника и оборудование для села*. 2021. N6(288). С. 8-11. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-6-8-11.
- Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N4. С. 6-10. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
- Несмиян А.Ю., Ценч Ю.С. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N3. С. 45-52. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-45-52.
- Чулков А.С., Чаплыгин М.Е., Шайхов М.М. Роботизированное кассетное загрузочное устройство карусельного типа для селекционной сеялки // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2024. Т. 17. N3(82). С. 99-107. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_3_99-107.
- Чулков А.С., Чаплыгин М.Е., Шайхов М.М. Обоснование параметров работы роботизированного кассетного загрузочного устройства карусельного типа для

селекционной сеялки // *Инженерные технологии и системы*. 2024. Т. 34. N4. С. 549-562. DOI: 10.15507/2658-4123.034.202404.549-562.

14. Yaropud V., Datsiuk D. By improving breeding seeder

sowing device small seeded crops. *Vibrations in Engineering and Technology*. 2021. Vol. 1(100). 152-162. DOI: 10.37128/2306-8744-2021-1-15.

REFERENCES

- Izmailov A.Yu. Intelligent technologies and robotic means in agricultural production. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2019. N89(2). 209-210 (In Russian). DOI: 10.31857/S0869-5873895536-538.
- Beylis V.M., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M. et al. Trends in the development of advanced machine technologies and techniques in agricultural production. *Vestnik VIESH*. 2018. N4(33). 150-156 (In Russian). EDN: YTHPID.
- Zhalnin E.V. Revive breeding and seed production. *Selskiy Mehanizator*. 2014. N7. 4-5 (In Russian). EDN: SVKVRH.
- Tsench Yu.S., Nesmiyan A.Yu., Khomutova N.S. The history of development of seed-feeding devices on grain drills. *Studies in the History of Science and Technology*. 2020. Vol. 41. N1. 102-117 (In Russian). DOI: 10.31857/S020596060008429-3.
- Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P. et al. Scientific and technical results of agro-engineering scientific institutions for the production of main groups of agricultural products. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021. N4(286). 2-11 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2021-4-2-11.
- Chulkov A.S., Shaykhov M.M., Chaplygin M.E., Tekushev A.H. Cassette loading units for hanging devices of breeding seeders. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2023. Vol. 70. N2(51). 74-81 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-2-74-81.
- Chulkov A.S., Shibryaeva L.S. Parameters of a robotic loading device for selection seeder. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. N18(2). 92-97 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-92-97.
- Lavrov A.V. On the development of intellectual technology of seeding seed material. *Engineering Journal of Don*. 2018. N4. 111 (In Russian). EDN: COOZTH.
- Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S., Mironova A.V. Development and research of a pneumatic seed drill seedmetering unit. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021. N6(288). 8-11 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2021-6-8-11.
- Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021. N15(4). 6-10 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
- Nesmiyan A.Yu., Tsench Yu.S. Tendencies and prospects for the development of domestic machinery for sowing grain crops. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018. Vol. 12. N3. 45-52 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-45-52.
- Chulkov A.S., Chaplygin M.E., Shaykhov M.M. Carousel type robotic cassette loading device for breeding seeder. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024. N17(3). 99-107 (In Russian). DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_3_99-107.
- Chulkov A.S., Chaplygin M.E., Shaykhov M.M. Justifying the operation parameters of a robotic cassette loading device of the carousel type for a selection seeder. *Engineering Technologies and Systems*. 2024. Vol. 34. N4. 549-562 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.034.202404.549-562.
- Yaropud V., Datsiuk D. By improving breeding seeder sowing device small seeded crops. *Vibrations in Engineering and Technology*. 2021. Vol. 1(100). 152-162 (In English). DOI: 10.37128/2306-8744-2021-1-15.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Чулков А.С. – формулирование основных целей и задач исследования, составление начального варианта статьи, доработка текста и оформление материалов, визуализация материалов, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи;

Шайхов М.М. – анализ литературных источников, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи;

Текушев А.Х. – анализ литературных источников, доработка текста, формирование общих выводов.

Авторы одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Chulkov A.S. – developing the main goals and objectives of the study, drafting the initial manuscript, manuscript refinement, material design, research result visualization, developing general conclusions, proofreading the manuscript;

Shaikhov M.M. – literature review, formulating overall conclusions, final manuscript revision;

Tekushev A.Kh. — literature review, manuscript refinement and material design, formulating overall conclusions.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

03.12.2024

24.02.2025

EDN: SOPNUN

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-55-60

Научная статья
УДК 631.331

Особенности сеялки для прямого посева зерновых культур

Мария Алексеевна Ерусланова^{1,2},
ведущий специалист, аспирант,
e-mail: marieruslan@yandex.ru;
Кирилл Владимирович Немтинов²,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: kir155@mail.ru;

Константин Алексеевич Ерусланов¹,
ведущий специалист,
e-mail: eruslan10@yandex.ru;
Владимир Алексеевич Немтинов²,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: nemtinov.va@yandex.ru

¹ПК «Еруслан», Ростовская обл., Шолоховский район, хутор Громковский, Российская Федерация;

²Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация

Реферат. В рамках реализации энергосберегающей технологии выращивания зерновых культур этапы подготовки почвы и посева наиболее важны. В связи с этим актуальная задача состоит в повышении эффективности посевных машин. (*Цель исследования*) Разработка физического прототипа сеялки, конструкция которой позволит при максимальном упрощении по сравнению с аналогами снизить металлоемкость, повысить технологичность, обеспечить наилучшие условия роста культур. (*Материалы и методы*) Конструкторское решение при создании электронной модели (цифрового двойника) сеялки и ее физического прототипа базировалось на использовании методов системного анализа, математического моделирования, планирования эксперимента. Эксперименты выполнены с применением сертифицированного оборудования в полевых и лабораторных условиях. (*Результаты и обсуждение*) Сеялка представляет собой закрепленный на раме бункер для семян с высевальными аппаратами и семяпроводами. Семена подаются сквозь полые оси вращения режущих дисков сферической формы. Диски закреплены на раме, обращены к поверхности почвы вогнутой частью и расположены к ней под углом, а также под углом к направлению движения с возможностью регулирования угла наклона от 0 до 90 градусов. В одном ряду наклон дисков одинаковый, в соседнем противоположный, при этом диски второго ряда в перпендикулярном направлении смещены относительно дисков первого ряда. Режущие диски третьего ряда смещены относительно дисков первого и второго рядов в перпендикулярном направлении на разный шаг, перекрывая зоны обработки почвы и исключая необрабатываемые пропуски. За третьим рядом дисков установлены разрыхлители в виде вертикальных сферических дисков с чередованием зубцов и пазов по режущей кромке. Разрыхлители расположены парами над каждым режущим диском с противоположным углом атаки, слева и справа относительно направления движения сеялки. (*Выводы*) Предложенное решение позволяет применять тракторы меньшего класса с меньшим расходом топлива для скоростного сплошного посева зерновых, бобовых и масличных культур, многолетних трав.

Ключевые слова: зерновые культуры, прямой посев, сеялка, конструкторская разработка, основные узлы, электронная модель, физический прототип.

■ **Для цитирования:** Ерусланова М.А., Немтинов К.В., Ерусланов К.А., Немтинов В.А. Особенности сеялки для прямого посева зерновых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 55-60. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-55-60. EDN: SOPNUN.

Scientific article

Design Features of the Seeder for Direct Sowing of Grain Crops

Maria A. Eruslanova^{1,2},
director,
e-mail: marieruslan@yandex.ru;
Kirill V. Nemtinov²,
Ph.D. (Eng.), senior researcher,
e-mail: kir155@mail.ru;

Konstantin A. Eruslanov¹,
leading specialist,
e-mail: eruslan10@yandex.ru;
Vladimir A. Nemtinov²,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: nemtinov.va@yandex.ru

¹PC Yeruslan, Gromkovsky khutor, Sholokhovsky district, Rostov region, Russian Federation;

²Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation

Abstract. In energy-saving technologies for cereal crop cultivation, the soil preparation and sowing stages are the most critical. Therefore, improving the efficiency of sowing machines is a pressing task. (*Research purpose*) To develop a physical prototype of a seeder with a significantly simplified design compared to existing analogues. The proposed design aims to reduce metal consumption, enhance manufacturability, and ensure optimal conditions for crop growth. (*Materials and methods*) The design of the electronic model (digital twin) of the seeder and its physical prototype were developed using system analysis methods, mathematical modeling, and experimental planning. Experiments were conducted in both field and laboratory conditions using certified equipment. (*Results and discussion*) The seeder contains a seed hopper mounted on a frame, equipped with sowing devices and seed tubes. Seeds are supplied through hollow rotating shafts of spherical cutting discs. These discs are mounted on a frame with their concave part facing the soil surface. At the same time the cutting discs are positioned at an angle relative to both the soil and the direction of movement with the possibility of adjusting the angle of inclination between 0 to 90 degrees. In one row, the inclination of the discs is the same, and in the adjacent row, the inclination is reversed. Additionally, the cutting discs in the second row are positioned perpendicularly relative to those in the first row. The cutting discs in the third row are offset relative to the discs in the first and second rows in a perpendicular direction at varying intervals. This arrangement ensures complete soil coverage, preventing untreated gaps. Behind the third row of discs, loosening elements are installed in the form of vertical spherical discs with alternating teeth and grooves along the cutting edge. These elements are positioned on the left and right sides relative to seeder's movement and arranged in pairs above each cutting disc, with opposite attack angles. (*Conclusions*) The proposed solution for the seeder simplifies its design and reduces metal consumption, enabling the use of smaller class tractors for high-speed continuous sowing of cereals, legumes, oilseeds, and perennial grasses.

Keywords: cereal crops, direct seeding, seeder, design development, main units, electronic model, physical prototype.

■ **For citation:** Eruslanova M.A., Nemtinov K.V., Eruslanov K.A., Nemtinov V.A. Design features of the seeder for direct sowing of grain crops. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 55-60 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-55-60. EDN: SOPNUN.

Для реализации Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы и стабильного роста производства сельскохозяйственной продукции» [1] необходимо обеспечить отрасли агропромышленного комплекса актуальными для современного рынка научными разработками и технологиями для повышения конкурентоспособности [2]. Одним из направлений является внедрение бережливого земледелия, предполагающего рационализацию севооборота. Это касается не только включения в севооборот рентабельных культур, повышения плодородия, выбора средств борьбы с болезнями растений, вредителями, но также применения комбинированных сельскохозяйственных агрегатов, выполняющих несколько операций за один проход [3].

При переходе к бережливому земледелию следует учитывать климатические особенности региона, биологические характеристики и требовательность культур [4]. Более щадящая безотвальная обработка почвы позволяет снизить риск эрозии, повысить активность почвенных микроорганизмов [5]. При технологии минимальной и нулевой обработки почвы используется метод прямого посева [6].

Преимущества прямого посева [7]:

- минимизация оборачивания почвы способствует сохранению ее структуры и биологической активности;
- экономия времени и топлива, так как не требуются плугование и другие операции по обработке почвы;

- быстрая обработка больших участков за счет высокой производительности.

К недостаткам сеялок прямого посева можно отнести [8]:

- сложность настройки, для точного высева требуется хорошая калибровка и настройка сеялки;
- при неправильной настройке могут возникнуть проблемы с сорняками;
- ограничения по культурам – не все культуры подходят для такой технологии из-за требований к глубине посева или других факторов.

В работе рассмотрены вопросы конструирования сеялки прямого посева разбросным способом, который обеспечивает практически одинаковую площадь питания для каждого растения [9].

Цель исследования – разработка физического прототипа сеялки, которая обеспечит наилучшие условия для посевных культур и значительный рост урожайности. Ставилась задача создания конструкции, которая при максимальном упрощении узлов по сравнению с аналогами [10], в том числе сеялкой-культиватором СКСС-2,5 [11], позволит снизить металлоемкость и повысить технологичность машины.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Физический прототип сеялки прямого посева зерновых культур создан на основе разработок ведущих российских и зарубежных ученых в области конструирования посевной техники [12].

Конструкторское решение по созданию электронной модели (цифрового двойника) сеялки на

первом этапе и затем ее физического прототипа базировалось на использовании методов системного анализа, математического моделирования, планирования эксперимента [13]. Эксперименты выполнены с применением сертифицированного оборудования в полевых и лабораторных условиях, данные обрабатывались в среде программ *MathCAD*, *Excel* [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Электронная модель сеялки и ее элементов представлена на рисунке 1.

Сеялка с дугообразной цепкой 1 представляет собой раму 13, траверсу 10, двуплечие рычаги 7, 8, уши 9, крепления гидроцилиндров, вращающуюся вокруг своей оси опоры, на которой смонтированы парные колеса. Катки выполнены в виде колес 5 и 6, установленных парами в шахматном порядке (рис. 1, I). Под цепкой расположены передние колеса, но цепка может быть выполнена плоской, а парные колеса могут быть разнесены на края сеялки с установкой дополнительной опоры.

На раме 13 установлены лапы 15 по наклону дисков 14, а сверху рамы – стойки с пятками для амортизаторов бункера семян 2 (рис. 1, II). Диск привода 4 высевальных аппаратов может вращаться от колеса 5, но может быть установлен с заглублением в почву и при движении сеялки начинает вращать карданный вал 3 и редуктор 22. Выходной шестигранный вал привода 21 проходит сквозь высевальные аппараты 20, семена из которого попадают в семяпроводы 28 и через полые оси под диски 14 в почву. На дополнительной стойке 12, установленной на раме 13, смонтированы разрыхлители 11.

На лапах 15, приваренных к стойкам рамы 13, смонтированы режущие диски 14 с подшипниковыми узлами. Ниппель для семяпроводов 18 смонтирован на оси вращения 24 каждого режущего диска 14. Ось вращения 24 вставлена в отверстие лапы 15 и гайкой 27 через шайбу 26 прижата к отбойнику 25.

Зазоры Ж и И, обозначенные на разрезах Б-Б и В-В, отражают скос отбойника в незажатом состоянии после затягивания гайки 27. Для большей эффективности такого метода подстройки наклона режущих дисков может быть выбрано более свободное поле допусков для посадки оси вращения 24 в отверстие лапы 15.

Обеспечивающие герметичность сальники 28 установлены между отбойником 29 и упором корпуса 33 подшипника 34, зафиксированного стопорной шайбой 30, и между корпусом 33 и буртиком оси вращения 24, в нижней части которой установлен разбрасыватель семян 31.

В корпусах высевальных аппаратов 20 установлены цилиндрические дозаторы 38. Сквозь их шестигранное отверстие проходит шестигранный вал привода 21 редуктора 22, из которого выходят два таких вала 21 на два ряда высевальных аппаратов 20

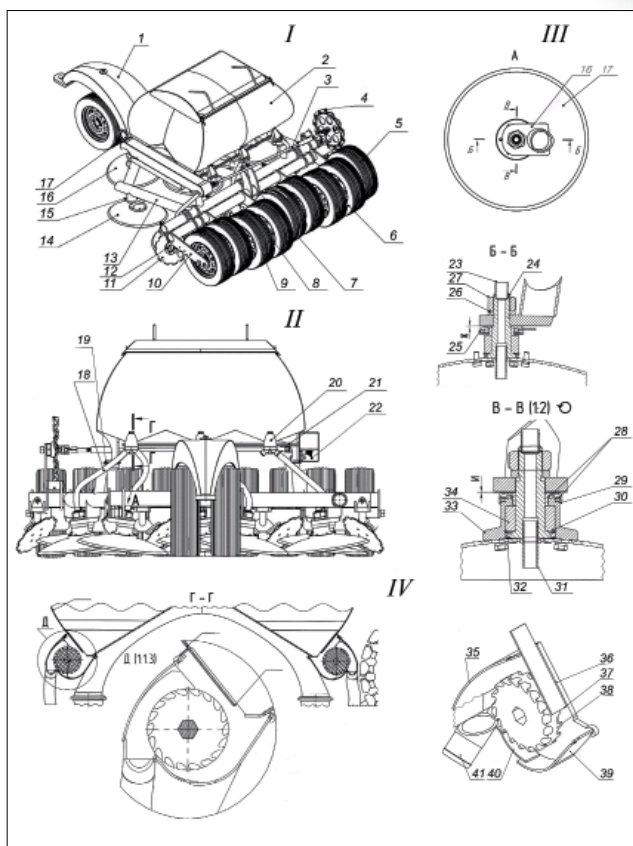


Рис. 1. Электронная модель сеялки: I – вид сверху; II – вид спереди; III – узел крепления режущего диска; IV – высевальный аппарат; 1 – цепка; 2 – бункер; 3 – карданный вал; 4 – диск привода высевального аппарата; 5, 6 – колеса; 7, 8 – двуплечие рычаги; 9 – уши; 10 – траверса; 11 – разрыхлители; 12 – стойки; 13 – рама; 14, 16 – режущие диски; 15 – лапы; 17 – двуплечие рычаги; 18 – семяпроводы; 19 – пятки для амортизаторов; 20 – высевальный аппарат; 21 – шестигранный вал привода; 22 – редуктор; 23 – ниппель; 24 – ось; 25, 29 – отбойник; 26 – шайба; 27 – гайка; 28 – сальник; 30 – стопорная шайба; 31 – разбрасыватель семян; 32 – сальник; 33 – корпус; 34 – подшипник; 35 – верхние подпружиненные дверки; 36 – щека; 37 – окна для выхода семян; 38 – дозатор; 39 – нижние подпружиненные дверки; 40 – пандус; 41 – разделитель

Fig. 1. Electronic model of the seeder: I – top view; II – front view; III – mounting unit of the cutting disc; IV – seed metering mechanism; 1 – hitch; 2 – seed hopper; 3 – power take-off shaft; 4 – seed metering drive wheel; 5, 6 – wheels; 7, 8 – double-arm levers; 9 – mounting lugs; 10 – crossbeam; 11 – soil loosening tools; 12 – support posts; 13 – frame; 14, 16 – cutting discs; 15 – shanks; 17 – double-arm levers; 18 – seed tubes; 19 – shock absorber pads; 20 – seed metering device; 21 – hexagonal drive shaft; 22 – gearbox; 23 – nipple; 24 – axle; 25, 29 – deflector; 26 – washer; 27 – nut; 28 – seal; 30 – lock washer; 31 – seed spreader; 32 – seal; 33 – housing; 34 – bearing; 35 – upper spring-loaded flaps; 36 – side panel; 37 – seed outlet openings; 38 – seed metering unit; 39 – lower spring-loaded flaps; 40 – guide ramp; 41 – divider

(рис. 1, IV). В нижней части бункера 2 выполнены выходы 37 (окна) для семян. Под выходами находятся нижние подпружиненные дверки 39, а напротив через дозатор 38 – верхние подпружиненные дверки 35, под ними находится разделитель 41 подачи семян в два канала семяпроводов [15].

Справа от разделителя 41 под дозатором 38 смонтирован пандус 40, а по торцам корпуса установлены две щеки 36. Эти детали вместе с дверкой 39 и дозатором 38 помогают сформировать пространство накопления небольшой дозы семян в виде хвостика запятой, что позволяет эффективно наполнять ячейки дозатора, вращающегося против часовой стрелки (рис. 1, IV).

Если открыть подпружиненные дверки 35, вынуть из цилиндрических дозаторов 38 шестигранный вал привода 21, то дозатор 38 для пшеницы быстро заменяется дозаторами других семян. Подпружиненные дверки 39 позволяют удалить остатки семян из высевающего аппарата 20 или очистить ячейки дозатора, расположенные на ребрах пересечения цилиндрической и торцовых поверхностей дозаторов [16].



Рис. 2. Физический прототип сеялки прямого посева зерновых культур

Fig. 2. Prototype of the developed seeder for direct sowing of grain crops

Масса сеялки эксплуатационная (включая семена и удобрения) составляет около 1500 кг, соответственно масса трех ее секций с рабочей шириной захвата 9 м – 4500 кг, что позволяет агрегатировать сеялку с трактором тягового класса не более 1,4 (МТЗ-80). Это значительно меньше по сравнению с аналогами [10].

Испытания прототипа сеялки (рис. 2) проводили осенью 2022 г. на экспериментальных полях пло-

щадью 50 га ПК «Еруслан» при разбросном посеве озимой пшеницы среднепозднего сорта *Тимирязевка 150* Краснодарской селекции [17]. Предварительная настройка сеялки обеспечивает для пшеницы оптимальную глубину заделки семян до 2 см. При этом верхний слой должен быть рыхлым, обеспечивающим росткам его лучшее преодоление, а нижний слой – достаточно плотным и влажным. В этом случае создаются условия для формирования продуктивных органов растений [18].

При средней глубине заделки семян озимой пшеницы до 2 см получена равномерная всхожесть на всей площади посева. Установленные в сеялке углы атаки и бокового крена дисков 17 обеспечивают разницу глубины залегания семян не более 7 мм.

Среднее количество всходов на 1 м² на десяти разных участках экспериментального поля составило 205 растений при дисперсии 7,28%. В предложенной конструкции высевающего аппарата разделитель 41 и пандус 40 имеют конические поверхности, обеспечивающие равномерное распределение семян по ширине, а при средней скорости движения сеялки 12 км/ч обеспечивается равномерное распределение на всей площади.

Весной 2023 г. средняя кустистость составила 22 стебля при дисперсии 8,45%. Средняя урожайность при использовании разработанной модели сеялки составила более 68 ц/га, что на 28,5% больше по сравнению с использованием традиционной технологии подготовки почвы и посева.

Выводы. Внедрение технологий бережливого земледелия позволяет повысить рентабельность агробизнеса за счет: снижения затрат на производство, рационального использования ресурсов, самовосстановления почв. Переосмыслив свои подходы к обработке почв, в настоящее время многие российские хлеборобы активно осваивают так называемые технологии нулевой вспашки (или прямого посева *No till*) и другие, направленные на бережное возделывание почвы.

Конструкторская разработка, предложенная авторами, позволила снизить металлоемкость и массу сеялки, а значит применять тракторы меньшего класса с более низким расходом топлива, а также значительно повысить урожайность зерновых культур по сравнению с традиционной технологией земледелия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов Ю.А. Развитие агропромышленного комплекса России и обеспечение продовольственной безопасности страны в условиях санкций // *Экономический анализ: теория и практика*. 2022. Т. 21. №8(527). С. 1390-1419. DOI: 10.24891/ea.21.8.1390.
2. Cucchiaro S., Carretta L., Nasta P. et al. Multi-temporal geomorphometric analysis to assess soil erosion under different tillage practices: A methodological case study. *Journal of Agricultural Engineering*. 2022. Vol. 53. N1. DOI: 10.1088/1755-1315/953/1/012012.

3. Laryushin N.P., Shukov A.V., Kiryukhina T.A., Yashin A.V. Innovative seed planter implements for resource-saving sowing technologies. *IOP: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 953. 012012. DOI: 10.1088/1755-1315/953/1/012012.
4. Ospanova Sh., Aduov M., Kapov S. et al. The results of experimental research of a rotor seed-metering unit for sowing non-free-flowing seeds. *Journal of Agricultural Engineering*. 2024. Vol. 55. N1. 1556. DOI: 10.4081/jae.2024.1556.
5. Зыкин Е.С., Курдюмов В.И., Лазуткина С.А., Албутов С.П. Обоснование плотности почвы, формируемой катком гребневой сеялки // *Техника и оборудование для села*. 2021. N11(293). С. 14-16. DOI: 10.33267/2072-9642-2021-11-14-16.
6. Гилев С.Д., Цымбаленко И.Н., Копылов А.Н. и др. Эффективность посева без основной обработки почвы в плодосменном и зернопаровом севооборотах центрального лесостепного Зауралья // *Земледелие*. 2021. N6. С. 3-8. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-6-3-8.
7. Федоренко В.Ф., Петухов Д.А., Свиридова С.А. и др. Эффективность применения прямого посева и минимальной обработки почвы при возделывании кукурузы на зерно // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N2. С. 14-21. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-14-21.
8. Женченко К.Г., Турин Е.Н., Гонгало А.А. Результаты изучения системы земледелия прямого посева (No-till) при выращивании озимой пшеницы в Центральной степи Крыма // *Зерновое хозяйство России*. 2020. N5 (71). С. 45–52. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-45-52.
9. Gierz Ł., Markowski P., Choszcz D. Ja., Wojcieszak D. Effect of using deflector in the distributor head of a pneumatic seed drill on the oat seed sowing unevenness. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. N1. 15471. DOI: 10.1038/s41598-023-42476-5.
10. Немтинов К.В., Ерусланов А.К., Зазуля А.Н. Конструирование и расчет посевного комплекса для мелких зерновых культур // *Вестник АПК Ставрополя*. 2015. N1(17). С. 50-54. EDN: TXGEDJ.
11. Искаков Р.М., Торегаали Д. Патентный анализ современных сеялок // *Молодой ученый*. 2017. N15(149). С. 56-59. EDN: YLNROP.
12. Nemtinov V., Zazulya A., Kapustin V., Nemtinova Y. Analysis of decision-making options in complex technical system design. *Journal of Physics*. 2019. Vol. 1278. 012018. DOI: 10.1088/1742-6596/1278/1/012018.
13. Mokrozub V.G., Nemtinov K.V., Sharonin K.A. Domain-invariant software for computer-aided systems for allocating spatial objects. *Automatic. Documentation and Mathematical Linguistic*. 2012. Vol. 46. N2. 68-78. DOI: 0.3103/S0005105512020033.
14. Шайхов М.М., Чулков А.С., Подзоров А.В. и др. Разработка однорядной сеялки с диско-кассетным высевающим устройством для посева зерновых культур колосьями // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N2. С. 82-88. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-82-88.
15. Isaev Yu.M., Kryuchin N.P., Semashkin N.M., Kryuchin A.N. Theoretical studies of movement of loose material in a dosing device. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018. Vol. 9. N5. 834-840. EDN: XPNHWH.
16. Kapustin V., Nemtinov K., Nemtinova Yu., Nemtinov V. Decision support system for technological maintenance of seeding machines. *E3S Web*. 2020. 193, 01015. DOI: 10.1051/e3sconf/202019301015.
17. Горянин О.И., Щербинина Е.В. Совершенствование технологии возделывания яровой пшеницы в Поволжье // *Аграрный научный журнал*. 2020. N6. С. 11-14. DOI: 10.28983/asj.y2020i6pp11-14.
18. Зеленский Н.А., Зеленская Г.М., Мокриков Г.В., Шуркин А.Ю. Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия // *Земледелие*. 2018. N5. С. 4-7. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10501.

REFERENCES

1. Kuznetsov Yu.A. Development of the agro-industrial complex of Russia and ensuring the country's food security under sanctions. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2022. Vol. 21. N8(527). 1390-1419 (In Russian). DOI: 10.24891/ea.21.8.1390.
2. Cucchiaro S., Carretta L., Nasta P. et al. Multi-temporal geomorphometric analysis to assess soil erosion under different tillage practices: A methodological case study. *Journal of Agricultural Engineering*. 2022. Vol. 53. N1 (In English). DOI: 10.1088/1755-1315/953/1/012012.
3. Laryushin N.P., Shukov A.V., Kiryukhina T.A., Yashin A.V. Innovative seed planter implements for resource-saving sowing technologies. *IOP: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 953. 012012 (In English). DOI: 10.1088/1755-1315/953/1/012012.
4. Ospanova Sh., Aduov M., Kapov S. et al. The results of experimental research of a rotor seed-metering unit for sowing non-free-flowing seeds. *Journal of Agricultural Engineering*. 2024. Vol. 55. N1. 1556 (In English). DOI: 10.4081/jae.2024.1556.
5. Zykin E.S., Kurdyumov V.I., Lazutkina S.A., Albutov S.P. Substantiation of the density of the soil formed by a ridge drill roller. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021. N11(293). 4-16 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2021-11-14-16.
6. Gilev S.D., Tsybalenko I.N., Kopylov A.N. Efficiency of sowing without main tillage in crop rotations of the Central Forest-Steppe Trans-Urals. *Zemledelie*. 2021. N6. 3-8 (In Russian). DOI: 10.24412/0044-3913-2021-6-3-8.
7. Fedorenko V.F., Petukhov D.A., Sviridova S.A. et al. The

- effectiveness of no-till sowing and minimal tillage in the cultivation of corn for grain. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N2. 1421 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-14-21.
8. Zhenchenko K.G., Turin E.N., Gongalo A.A. The study results of the farming system of direct sowing (no-till) when growing winter wheat in the central steppe of the Crimea. *Grain Economy of Russia*. 2020. N5 (71). 45-52 (In Russian). DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-45-52.
 9. Gierz L., Markowski P., Choszcz D. Ja., Wojcieszak D. Effect of using deflector in the distributor head of a pneumatic seed drill on the oat seed sowing unevenness. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. N1. 15471 (In English). DOI: 10.1038/s41598-023-42476-5.
 10. Nemtinov K.V., Eruslanov A.K., Zazulya A.N. Design and calculations of a seeding complex for small grains. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2015. N1(17). 50-54 (In Russian). EDN: TXGEDJ.
 11. Isakov R.M., Toregali D. Patent analysis of modern seeders. *Young scientist*. 2017. N5(149). 56-59 (In Russian). EDN: YLNROP.
 12. Nemtinov V., Zazulya A., Kapustin V., Nemtinova Y. Analysis of decision-making options in complex technical system design. *Journal of Physics*. 2019. Vol. 1278. 012018 (In English). DOI: 10.1088/1742-6596/1278/1/012018.
 13. Mokrozub V.G., Nemtinov K.V., Sharonin K.A. Domain-invariant software for computer-aided systems for allocating spatial objects. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistic*. 2012. Vol. 46. N2. 68-78 (In English). DOI: 0.3103/S0005105512020033.
 14. Shaykhov M.M., Chulkov A.S., Podzorov A.V. et al. Development of a Single-Row Ear Seeder Equipped with a Disk-Cassette Sowing Device. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N2. 82-88. (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-2-82-88.
 15. Isaev Yu.M., Kryuchin N.P., Semashkin N.M., Kryuchin A.N. Theoretical studies of movement of loose material in a dosing device. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018. Vol. 9. N5. 834-840 (In English). EDN: XPNHWH.
 16. Kapustin V., Nemtinov K., Nemtinova Yu., Nemtinov V. Decision support system for technological maintenance of seeding machines. *E3S Web*. 2020. 193. 01015 (In English). DOI: 10.1051/e3sconf/202019301015.
 17. Goryanin O.I., Shcherbinina E.V. Improving the technology of spring wheat cultivation in the Volga Region. *Agrarian Scientific Journal*. 2020. N6. 11-14 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2020i6pp11-14.
 18. Zelenskii N.A., Zelenskaya G.M., Mokrikov G.V. et al. Soil fertility: present and future of our agriculture. *Zemledelie*. 2018. N5. 4-7 (In Russian). DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10501.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Ерусланова М.А. — проработка вопросов, связанных с конструкцией отдельных узлов проектируемой сеялки, их описание;

Немтинов К.В. — составление плана статьи, создание электронной модели разработанной конструкции сеялки, работа над текстом (сведение частей рукописи);

Ерусланов К.А. — генерация вариантов проектного решения сеялки, руководство работами по созданию физического прототипа, работа над текстом совместно с соавторами, проведение экспериментальных исследований;

Немтинов В.А. — общее руководство, а также решение методологических и практических вопросов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Eruslanova M.A. — development of aspects related to the design of individual units of the proposed seeder, and their description;

Nemtinov K.V. — drafting the manuscript plan, creating the electronic model of the developed seeder design, contributing to the work on the manuscript text by compiling its parts;

Eruslanov K.A. — generating design options for the seeder, supervising the development of the physical prototype, working on the manuscript text together with the coauthors, conducting experimental research;

Nemtinov V.A. — general supervision, as well as address distribution of roles in the author's team, as well as solving methodological and practical issues. 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

03.12.2024
25.02.2025

EDN: RFJZYZ

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-61-68



Научная статья

УДК 631.312



Разрушение слоя почвы рабочими органами плоскорежущего типа

Сергей Витальевич Белоусов^{1,2},кандидат технических наук, доцент
e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru;**Виктор Борисович Рыков^{2,3},**доктор технических наук, профессор,
старший научный сотрудник,
e-mail: rykov.vb@gmail.com;**Сергей Иванович Камбулов^{2,3},**доктор технических наук,
главный научный сотрудник, доцент,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;**Борис Владимирович Туровский¹,**кандидат технических наук, профессор,
e-mail: boturovskij@yandex.ru¹Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Российская Федерация;²Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация;³Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Реферат. Отмечено, что при использовании рабочих органов плоскорежущего типа важно учитывать изменение сопротивления разрыву почвы в зависимости от ее относительной влажности, изменение сопротивления резанию ножами с ромбическим поперечным сечением и сопротивления резанию в зависимости от числа плоскостей резания. Работа посвящена аналитическому исследованию влияния угла заточки ножа на удельное сопротивление резанию плодородного слоя почвы. (*Цель исследования*) Изучение процесса разрушения слоя почвы рабочими органами плоскорежущего типа. (*Материалы и методы*) Предложен новый почвообрабатывающий орган, проведены его предварительные теоретические исследования. Методика опыта предусматривает измерение только вертикальной составляющей давления пласта почвы на рабочий орган. При этом боковые стойки, удерживающие нож, перемещаются по заранее подготовленным направляющим. (*Результаты и обсуждение*) Научная новизна исследований заключается в использовании зависимостей, которые отражают взаимосвязь параметров и режимов функционирования нового рабочего органа в процессе взаимодействия его с почвой. Предложена методика инженерного расчета рабочего органа при взаимодействии его с почвой. При ширине зуба на плоскорежущем рабочем органе 5 сантиметров и длине 7 сантиметров наименьшее сопротивление на тяжелом суглинке будет получено при отношении ширины зуба на рабочем органе к расстоянию между зубьями 2-3,5. (*Выводы*) Установлено, что длину зубьев следует задавать приблизительно равной расстоянию между зубьями. Определено влияние заточки на техническое состояние рабочих органов на производительность агрегата в целом. Приведены аналитические данные, которые позволяют сделать вывод, что для ножей с большой шириной захвата выгоднее увеличивать глубину резания, так как удельное сопротивление резанию при этом уменьшается.

Ключевые слова: почва, обработка почвы, клин, сопротивление резанию, горизонтальный нож, рабочие органы, зубья, производительность.

■ **Для цитирования:** Белоусов С.В., Рыков В.Б., Камбулов С.И., Туровский Б.В. Разрушение слоя почвы рабочими органами плоскорежущего типа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 61-68. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-61-68. EDN: RFJZYZ.

Scientific article

Soil Layer Destruction by Flat-Cutting Working Bodies

Sergey V. Belousov^{1,2},Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru;**Viktor B. Rykov^{2,3},**Dr.Sc.(Eng.), professor, senior researcher,
e-mail: rykov.vb@gmail.com;**Sergey I. Kambulov^{2,3},**Dr.Sc.(Eng.), associate professor, chief researcher,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;**Boris V. Turovsky¹,**Ph.D.(Eng.), professor,
e-mail: boturovskij@yandex.ru¹Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation;²Agrarian Research Center «Donskoy», Zernograd, Russian Federation;³Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. The paper emphasizes the importance of considering the dependence of soil tensile resistance on the relative moisture content when using flat-cutting working tools. Additionally, it highlights the dependence of soil tensile resistance on rhombic cross-section blades and the number of cutting planes. This study focuses on examining the effect of the blade sharpening angle on the specific cutting resistance of the fertile soil layer. (*Research purpose*) To study the soil layer destruction process using flat-cutting working bodies. (*Materials and methods*) A new soil-tillage tool was developed and subjected to preliminary theoretical analysis. The experimental methodology focuses on measuring only the vertical component of the soil layer's pressure acting on the working tool. Theoretical analysis demonstrates that the side brackets supporting the blade move along pre-designed guides. (*Results and discussion*) The research novelty lies in establishing relationships that describe the dependence between the parameters and operating modes of the new working body during its interaction with the soil. A method for the engineering calculation of the working body's interaction with surfaces has been proposed. The findings indicate that, in heavy loam, the lowest resistance is achieved with a tine on the working organ width of 5 centimeters and a length of 7 centimeters when the ratio of the tine width to the distance between the tines is 2–3.5. (*Conclusions*) It has been established that the tine length should be approximately equal to the distance between the tines. The study also highlights the impact of sharpening on the technical condition of working bodies and the overall productivity of the tool. Analytical data indicate that for blades with a large cutting width, increasing the cutting depth is more effective in reducing specific cutting resistance.

Keywords: soil, soil tillage, wedge, cutting resistance, horizontal blade, working tools, working bodies, tines, productivity.

■ **For citation:** Belousov S.V., Rykov V.B., Kambulov S.I., Turovsky B.V. Soil layer destruction by flat-cutting working bodies. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 61-68 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-61-68. EDN: RFJZYZ.

Вопросы разрушения почвы составляют предмет одного из основных разделов агрономической науки, связанные с механической обработкой плодородного почвенного слоя. При разрушении почвы происходят также процессы уплотнения, перемешивания и перемещения верхнего плодородного слоя. Разрушение почвы сопровождается упругими и пластичными деформациями: сдвигом, срезом, а также перемещениями некоторых отделенных почвенных слоев с трением их о почву и сталь. Трение усиливается в суглинистой и глинистой почве, которая прилипает к режущему органу и создает дополнительное сопротивление движению почвенного потока. В отдельных случаях при резании наблюдаются деформации растяжения и разрыва почвы [1, 2].

Сопротивление резанию обусловлено сочетанием разных видов деформации, зависящих от формы рабочего органа, способа резания и характеристик почвы. Исследования механических свойств показали, что предел прочности на сжатие минеральных почв в 6-10 раз больше, чем на сопротивление срезу, и в 12-20 раз больше, чем сопротивление разрыву, т.е. при разрыве предел прочности оказывается наименьший. При нормальной влажности мягкие почвы разрушаются легче всего скалыванием, а пластичные почвы – при чистом резании.

Разрушение слоев почвы также происходит при сжатии, растяжении или изгибе. Разрушаемость во многом зависит от прочности почвы. Установлено, что минеральные почвы разрушаются с меньшими затратами энергии при обработке методом разрыва и скалывания, а волокнистые почвы – при резании. Затраты на разрушение минеральных почв раз-

рывом по сравнению с резанием снижаются иногда до 60% [3]. Если процесс резания минеральной почвы сопровождается скалыванием, то усилие перидически уменьшается на 30-40%.

<i>Изменение сопротивления разрыву почвы в зависимости от относительной влажности</i>			
Относительная влажность почвы, %	28,4	30,6	34,1
Сопротивление разрыву, кПа	64,5	27,0	18,0

Опыты в полевых условиях показали, что при перемещении плоского ножа (плоскореза, стрелчатой лапы и аналогичных почвообрабатывающих агрегатов) под углом 5° к основанию подошвы на глубине 0,1 м и минимальной скорости продольного перемещения 0,005 м/с влажность почвы оказывает существенное влияние на сопротивление разрыву [3].

Цель исследования – изучение процесса разрушения слоев почвы рабочими органами плоскорезающего типа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В отделе механизации растениеводства аграрного научного центра «Донской» совместно с кафедрой «Процессы и машины в агробизнесе» Кубанского ГАУ предложен новый рабочий орган для обработки почвы и проведены его предварительные исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Из всего комплекса полевых работ наиболее энергонасыщенным процессом является вспашка [4]. По многолетним данным, на выполнение вспашки различных типов почв приходится до 35-40% энергетических и 22-30% трудовых затрат. В последнее время многие производители возвращаются к традиционным техноло-

гиям возделывания агрокультур, в которых глубокая обработка почвы, как с оборотом, так и без оборота пласта, занимает важное место [5].

Известно, что на тяговое сопротивление пахотного агрегата влияет состояние режущих рабочих органов плуга [6, 7]. С целью обоснования наиболее рациональной формы нового, изношенного и так называемого стабилизированного профиля плоскорежущего рабочего органа необходимо рассмотреть процессы его взаимодействия с почвой и действующие силы [7].

Для соблюдения условий разрезания почвенного пласта необходимо, чтобы сила $\overline{P}_{\text{лх}}$ действовала пропорционально объему смятия почвы:

$$\overline{P}_{\text{лх}} = kqt_{\text{л}}bS, \text{ н}, \quad (1)$$

где k – коэффициент смятия почвы; q – ширина заточки кромки рабочего органа, мм; $t_{\text{л}}$ – толщина рабочего органа, см; b – ширина захвата ножа, мм; S – площадь контакта режущей кромки с почвой, мм.

В условиях эксперимента глубина a обработки плоскорежущим рабочим органом, закрепленным на корпусе плуга, составляла 12 см при глубине обработки 22,70 см.

Почва подрезается клином под углом $\alpha_{\text{зл}} + \alpha_{\text{з}}$, а поскольку данные величины постоянны, то первоначальное воздействие на почву оказывает режущая кромка. В результате срыва уплотненного слоя почвы вверх на лезвии клина (режущей кромке) от силы $P_{\text{лх}}$ возникает сила трения:

$$-P_{\text{лз}} = P_{\text{лх}} \operatorname{tg} \varphi = K_{\text{о/лн}} b \delta \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где $P_{\text{лз}}$ – выталкивающая сила, Н; δ – величина перемещения рабочего органа, мм.

При глубине обработки $a = 12$ см и предварительном отрезании пласта в горизонтальной плоскости выталкивающая клин суммарная сила отрыва и деформации пласта $P_{\text{ах}} = 225$ Н, трение лезвия о стенку борозды $P_{\text{ас}} = 90$ Н. Вертикальные составляющие создают заглубляющее усилие, которое уравнивает пахотный агрегат, что способствует плавному протеканию технологического процесса послойной основной обработки почвы с оборотом пласта.

При наличии заточки рабочего органа с передней части, которая воздействует на пласт почвы, характер деформаций почвы изменится, что приведет к изменению коэффициента k в формуле (1). В результате перемещения на δ_{max} эпюра давления на режущую кромку изменится в диапазоне $d_{\text{рл}}$ в точке A до нуля (рис. 1), а сила $dP_{\text{лх}}$ в точке B :

$$dP_{\text{лх}} = Kq dV = KqS dF = Kqda' db, \quad (3)$$

где dV – объем смятой почвы, см³; da' и db – высота и ширина заточки рабочего органа.

Соответственно, равнодействующая сила $P_{\text{лх}}$

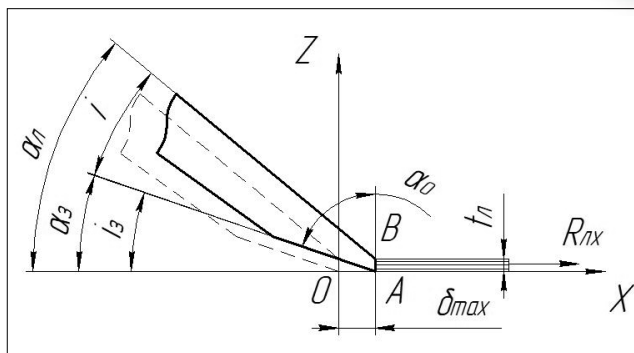


Рис. 1. Схема к определению сил, действующих на лезвие с классической заточкой

Fig. 1. Diagram for calculating forces acting on a blade with traditional sharpening

определяется путем интегрирования выражений (2) и (3):

$$P_{\text{лх}} = \int_0^b \int_0^{\delta} Kq \delta f'(\delta) db d\delta, \quad (4)$$

где $f'(\delta)$ – первая производная функции профиля заточки рабочего органа.

При остром лезвии $f'(\delta) = \operatorname{tg} \varepsilon_0$ равнодействующая сила

$$P_{\text{лх}} = 0,5 Kqb \delta^2 \operatorname{tg} \varepsilon_0. \quad (5)$$

В нашем случае угол заточки рабочего органа $\varepsilon_0 = 30^\circ$, поэтому

$$P_{\text{лх}} = 0,5 Kqt_{\text{л}} b \delta. \quad (6)$$

Отсюда получим силу нормального давления почвы на угол заточки

$$P_{\text{лх}} = 0,5 Kqt_{\text{л}} b \delta \sin \varepsilon_0. \quad (7)$$

С учетом силы трения F равнодействующая P' и ее составляющие на оси X и Z определяются по формулам:

$$P' = 0,5 Kqt_{\text{л}} b \delta \frac{\sin \varepsilon_0}{\cos \varphi}, \quad (8)$$

$$P_{\text{лх}} = 0,5 Kqt_{\text{л}} b \delta \frac{\sin \varepsilon_0 \sin(\varepsilon_0 + \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (9)$$

$$P_{\text{лз}} = 0,5 Kqt_{\text{л}} b \delta \frac{\sin \varepsilon_0 \cos(\varepsilon_0 + \varphi)}{\cos \varphi}. \quad (10)$$

Как показал анализ исследований ведущих ученых (Горячкин В.П., Щучкин Н.В., Синеоков Г.Н., Ткаченко П.М., Хвыля К.С., Мильцев А.И., Покровский Г.И., Гаврилов Ф., Дмитриев А.М., Панов И.М., Князев А.А., Лобачевский Я.П. и др.) при увеличении ширины профиля заточки рабочего органа от нуля до значения, близкого к противоположной углу заточки ширине, и постоянной ширине рабочего органа и его профиля вертикальная сила $P_{\text{лз}}$ способствует заглублению пахотного агрегата, стабилизирует его движение как в горизонтальном,

так и в вертикальном направлении.

В процессе работы профиль режущего элемента изнашивается и приобретает параболическую форму (рис. 2). При этом процесс воздействия рабочего органа на почву значительно меняется, появляется дополнительная сила $P_{лз}$, которая пытается вытолкнуть рабочий орган вверх.

Графики зависимости сил от ширины заточки режущей кромки (рис. 3) получены теоретическим методом, для более достоверных результатов необходимы лабораторные исследования. Однако по данным ведущих ученых эти зависимости линейные и ограничены только несколькими факторами: мощностью энергетического средства, почвенными условиями и постоянно изменяющимися условиями заточки рабочего органа [8, 9].

Методика опыта предусматривала измерение только вертикальной составляющей давления пласта почвы на рабочий орган.

Боковые стойки, удерживающие нож, переме-

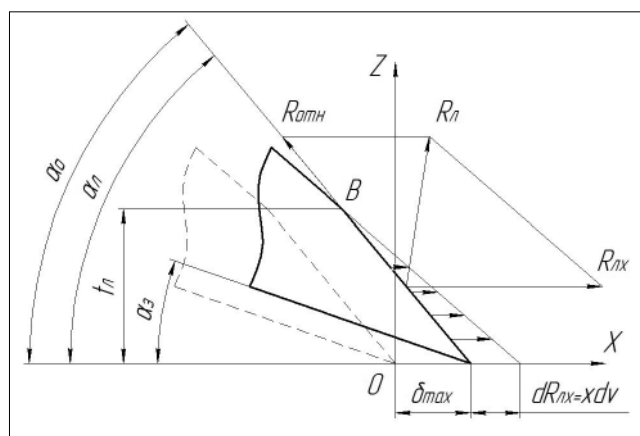


Рис. 2. Схема к определению сил, действующих на лезвие с предлагаемой формой заточки

Fig. 2. Diagram for calculating forces acting on the blade with the proposed sharpening shape

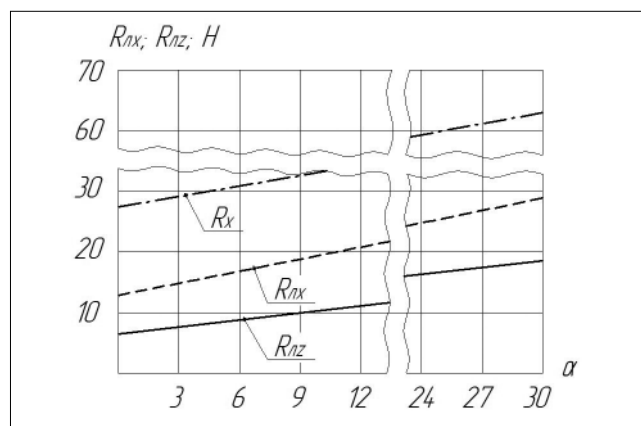


Рис. 3. Изменение сил резания при различной ширине заточки режущей кромки

Fig. 3. Dependence of cutting forces on cutting edge sharpening width

щались по заранее подготовленным направляющим, что способствовало более точному изучению процесса движения рабочего органа в слое почвы. Тарировка датчиков давления проводилась с учетом массы слоя почвы. Полученные результаты с достаточной достоверностью могут служить оценкой сопротивления разрыву пласта. Результаты указывают на резкое уменьшение сопротивления разрыву даже при незначительном повышении относительной влажности (табл. 1).

Эти выводы в дальнейшем будут учтены при конструировании рабочего органа с меняющейся формой в зависимости от структуры механики почвы.

Механика почв изучает динамические воздействия машин и орудий на почву, а также взаимодействие между ними. Скорость обработки имеет прямую зависимость от формы рабочего органа [10].

За определенным пределом скорости силы сопротивления резко возрастают в результате увеличения деформации и отбрасывания частиц почвы. Пропорционально скорости увеличивается концентрация напряжений, а при малой скорости напряжения распределяются по ширине захвата рабочего органа. Величина скорости, оптимальной для крошения почвенного слоя, является важным технологическим фактором. При значительной скорости начало деформации и скалывание почвы происходят у носка клина почвообрабатывающего орудия. При малой скорости напряжения распределяются, и скалывание не наблюдается. Обычно считают, что сопротивление скалыванию почвы при давлении до 0,2 МПа возрастает с увеличением содержания влаги до нижней границы пластичности и затем постепенно снижается до нуля в верхней границе [11, 12].

Процесс резания в зависимости от конструкций рабочих органов и расположения зоны резания относительно свободной поверхности обрабатываемого плодородного слоя почвы можно разделить на три вида:

- резание штампом (пуансоном) в сплошной среде по направлению от свободной поверхности в глубину;
- почва раздвигается в стороны и срезается по периметру, уплотняя стенки на величину обработки. Скалывание наблюдается лишь на свободной поверхности слоя в месте входа в него штампа;
- разрезание симметричным ножом сплошной среды слоя почвы [13, 14].

Почва нормальной влажности обычно скалывается в обозначенных условиях в сторону открытой стенки и при этом разрыхляется. Например, при обработке отвальным плугом, фрезой и т.п. Это наиболее распространенный тип резания, при котором возникают наименьшие сопротивления [15, 16].

В общем виде процесс резания представляет со-

бой движение клина в сплошной среде. Характер деформации почвы в значительной мере зависит от ее физико-механических свойств и состояния, в первую очередь влажности, пластичности, задержности и неоднородности.

В момент внезапного приложения нагрузки в почве, обладающей свойствами упругости, создаются более высокие напряжения, чем при постепенной деформации. При прочих равных условиях сокращение интервалов между нагрузками должно в большей степени сказаться на сильно увлажненных почвах, чем на менее влажных. Основным же фактором, определяющим характер этих закономерностей и конечное состояние почвы, считают величину действующей нагрузки и скорость ее приложения [17].

При движении клина усилие резания существенно зависит от коэффициента трения почвы о материал рабочего органа и угла заточки ножа (рис. 4). При уменьшении угла до 15° сопротивление клина возрастает за счет увеличения горизонтальных составляющих сил трения. В рыхлой среде с большим коэффициентом трения оптимальный угол β будет больше, чем в связной, плотной глине с малым углом.

Рассматривая отношение площади сечения разрушения почвы к удельному сопротивлению резания, можно прийти к важному для практики выводу: при постоянной ширине b и толщине t ножа площадь разрушения (рыхления) с увеличением угла заточки растет быстрее, чем удельное сопротивление, т.е. почву лучше разрыхлять тупыми ножами ($\beta \geq 90^\circ$), а разрезать острыми ($\beta \leq 50^\circ$).

Очень важно положение режущей кромки ножа по отношению к свободной поверхности. При резании минеральных почв с положительным углом резания, как у отвального плуга, давление щек ножа направлено вверх, и почва скалывается в сторону открытой поверхности.

Например, в случае обработки суглинка с влажностью $W = 19,4\%$ и показаниями плотномера $C = 0,8$ МПа коэффициент трения почвы по металлу по результатам предшествующих исследований для этого типа почв при влажности $21,8\%$ варьировался в пределах $0,61-0,73$.

При решении вопроса о выборе типа ножа можно руководствоваться данными, полученными при исследовании дисковых или черенковых ножей. Так, удельное сопротивление на 1 см^2 проекции дискового ножа при работе в минеральных почвах на $35-60\%$ больше, чем черенкового ножа вследствие увеличения бокового трения. Однако абсолютное сопротивление дискового ножа плуга в $3-4$ раза меньше, чем черенкового, так как по условиям прочности толщина дискового ножа всего $4-6 \text{ мм}$ вместо $20-25 \text{ мм}$, как у черенкового. Сопротивление вращающегося диска на 34% меньше сопротивления закрепленного.

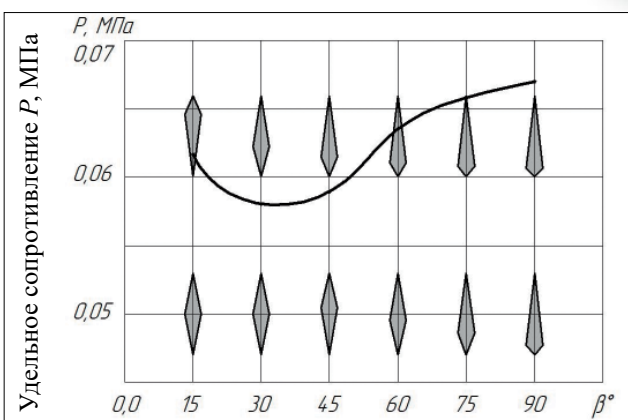


Рис. 4. Влияние угла заточки ножа на удельное сопротивление резанию ножами с ромбическим поперечным сечением

Fig. 4. Effect of the sharpening angle of the rhombic cross-section blades on specific cutting resistance

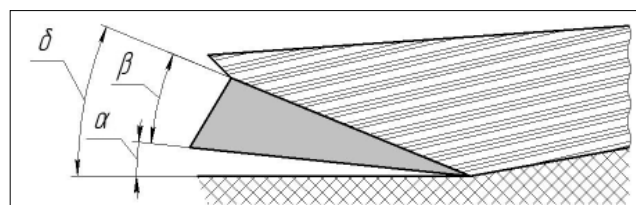


Рис. 5. Схема среза почвенного пласта

Fig. 5. Diagram of a soil layer cross-section

применяют ассиметричный нож с углом α зазора (задний угол) между поверхностью резания и задней щекой клина. Этот угол вместе с углом заточки β составляет угол резания δ в плоскости, перпендикулярной режущей кромке, т.е. $\alpha + \beta = \delta$ (рис. 5).

При $\alpha = 0$ происходит бесполезное трение поверхности рабочего органа о стенку борозды. Угол α не должен быть меньше $8-12^\circ$, так как вследствие упругости слоя почвы он, возвращаясь назад, после прохода режущей кромки задевает за кромку (при $\alpha = 2-3^\circ$).

Самым распространенным является отрезание почвенного слоя ассиметричным горизонтальным ножом (рабочий орган фрезы, плуг, культиватор, и т.д.). В этом случае кроме угла заточки β , заднего угла α и угла резания δ имеет значение еще угол режущей кромки с линией движения γ , наблюдаемый в плане.

Самый трудный способ резания (рис. 6а) по трем плоскостям борозды. Менее трудным является отрезание по двум плоскостям (рис. 6б, работа плуга, отвальная пахота), самый легкий – срезание гребней (рис. 6в). Работа бокового скалывания слоя увеличивается по мере увеличения глубины резания, но не зависит от ширины захвата ножа b .

Если принять сопротивление резанию при нарезке борозды равным 1, то коэффициент $K_{\text{бор}}$

Таблица			Table				
УСИЛИЕ РЕЗАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ОТРЕЗАНИЯ ПОЧВЕННОГО СЛОЯ И ШИРИНЫ ЗАХВАТА НОЖА DEPENDENCE OF CUTTING FORCE ON THE SOIL LAYER CUTTING METHOD AND BLADE CUTTING WIDTH							
Способ отреза- ния почвенно- го слоя	Ширина захвата ножа, см						
	22		39		90		150
	$P_{кг}$	$K_{бор}$	$P_{кг}$	$K_{бор}$	$P_{кг}$	$K_{бор}$	$K_{бор}$
	Нарезка канавы	300	1	32,5	1	530	1
Вспашка	190	0,64	270	0.74	480	0.91	0,92
Срезка гребней	110	0,37	190	0,53	420	0,80	0,84
$P_{кг}$ – усилие резания при $h = 7,5$ см и 15 см. $K_{бор}$ – коэффициент борозды / $P_{кг}$ – cutting force at $h = 7,5$ см и 15 см. $K_{бор}$ – furrow coefficient							

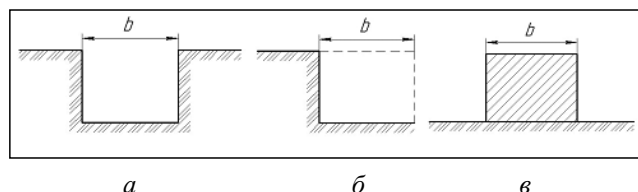


Рис. 6. Схемы резания пласта почвы (b – ширина захвата ножа)

Fig. 6. Diagrams of soil layer cutting (b – blade cutting width)

характеризует сопротивление в зависимости от числа плоскостей резания, его значения приведены в таблице.

Оптимальная глубины резания для плуга по формуле Ю.А. Ветрова для тяжелого суглинка при $b = 30$ см:

$$h_{\text{опт}} = 0,014 \cdot b^{2,22} = 0,014 \cdot 302,22 = 26 \text{ см.}$$

Опытные данные позволяют сделать вывод, что для ножей с большой шириной захвата выгоднее увеличивать глубину резания, так как удельное сопротивление резанию при этом уменьшается. Для узких (коротких) горизонтальных ножей, наоборот, выгоднее глубину уменьшать.

Угол режущей кромки с направлением движения γ (угол в плане) определяет способ резания со скольжением ($\gamma \leq 90 - \varphi$, где φ – угол трения); без скольжения ($\varphi + \gamma = 90^\circ$). По данным А.Н. Зеленина [18, 19] косое резание ($\varphi = 30-60^\circ$ отвальный плуг) на 10-15% легче лобового.

На основании результатов наблюдений для фрезы длину зубьев следует задавать приблизительно равной расстоянию между зубьями, так как угол скалывания колеблется около 40. При срезании рабочим органом с зубьями часть почвы режется зубьями (для пяти зубьев 1/3 часть), а остальная скалывается [20].

Поскольку скалывание разделяет частицы почвы по плоскостям наименьшего сопротивления, сопротивление при скалывании меньше, чем при резании. Это подтверждает данные опытов, когда лапы куль-

тиватора были расставлены друг от друга на 10 см (по оси) и резание производилось со скоростью $v = 4,5-5$ м/с на среднем суглинке с влажностью $W = 18\%$ и сопротивлением вдавлению $c = 0,8$ МПа [1].

Соотношение затрат энергии и ширины лапки культиватора

Ширина лапки культиватора b_3 , см	3	7	10
Затраты энергии, %	100	129	143

Выводы. Поскольку одним скалыванием отделить слой почвенного пласта нельзя, а на сельскохозяйственных полях фракционный состав по агротехническим требованиям должен иметь размер, равный 1/5 периметра отделенного слоя почвы, что соответствует поверхности резания и 4/5 скалывания, то экономия энергии составит порядка 40%. В этом заключается роль зубьев на рабочих органах, взаимодействующих с почвой. При малых скоростях (1 м/с) действие зуба уменьшается и следует брать 1/4 периметра на резание и 3/4 на скалывание.

Анализируя данные работ Ю.А. Ветрова и проводя обработку результатов полученных исследований, можно сделать заключение, что при ширине зуба 5 см и длине 7 см наименьшее сопротивление на тяжелом суглинке будет получено при отношении ширины зуба к расстоянию между зубьями $L_3 = b_3/l_2 = 2-3,5$.

На глинистых, пластичных, залипающих почвах действие зуба должно ограничиваться его шириной, при этом зуб будет хуже очищается.

В результате проделанной работы определена проблема обработки почвы и рабочими плоскорежущими органами с возможностью совершенствования их режущей кромки рабочими органами зубового типа. По методу экспертных оценок установлено, что для рабочего органа длину зубьев следует задавать приблизительно равной расстоянию между зубьями. Также определена важность заточки и технического состояния рабочих органов на производительность всего агрегата в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Пархоменко Г.Г., Подлесный Д.С., Камбулов С.И., Божко И.В. Сравнительный анализ вариантов рабочего органа парового культиватора по качественным показателям // *Таврический вестник аграрной науки*. 2024. N1(37). С. 136-148. DOI: 10.5281/zenodo.10930800.
- Трубилин Е.И., Белоусов С.В., Лепшина А.И. Основ-

- ная обработка почвы с оборотом пласта в современных условиях работы и устройства для ее осуществления // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2014. N104. С. 1902-1922. EDN: TFWSLT.
3. Parkhomenko G.G., Kambulov S.I., Pakhomov V.I. Calculation of parameters of the cultivator's working body based on bionic shaping. *Agricultural Cyber-Physical Systems*. 2024. 733-1. 1071-1078. DOI: 10.1007/978-3-031-37978-9_103.
 4. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П. и др. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2012. N3. С. 5-7. EDN: PATNMP.
 5. Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Интенсивные машинные технологии и техника нового поколения для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села*. 2017. N7. С. 2-6. EDN: ZBMSL.
 6. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А. Технологии и технические средства для восстановления и реабилитации неиспользуемых и деградированных сельхозугодий // *Техника и оборудование для села*. 2010. N2. С. 12-14. EDN: KZWFSJ.
 7. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Мазитов Н.К. Почвообрабатывающая техника: пути импортозамещения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N2. С. 37-42. DOI: 10.22314/2073-75992017.2.3741.
 8. Гудков С.В., Саримов Р.М., Асташев М.Е. и др. Современные физические методы и технологии в сельском хозяйстве // *Успехи физических наук*. 2024. Т. 194. N2. С. 208-226. DOI: 10.3367/UFNr.2023.09.039577.
 9. Белоусов С.В., Лепшина А.И., Трубилин М.Е. Лемешный плуг для обработки почвы с оборотом пласта // *Сельский механизатор*. 2015. N3. С. 6-7. EDN: TUHAJJ.
 10. Белоусов С.В., Камбулов С.И., Рыков В.Б., Туровский Б.В. Кинематика ротационных почвообрабатывающих машин // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2023. N1(69). С. 509-519. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-56.
 11. Пархоменко Г.Г., Камбулов С.И., Белоусов С.В. Методика определения критериев подобия для рабочих органов глубокихрыхлителя // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2023. N1(69). С. 556-563. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-61.
 12. Жалнин А.А., Чаткин М.Н., Федоров С.Е. и др. Оценка уплотняющего воздействия катка на почву комбинированного культиватора // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024. N2. С. 44-51. DOI: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-44-51.
 13. Лачуга Ю.Ф., Месхи Б.Ч., Пахомов В.И. и др. Исследование по возделыванию трититригии в полужасушливой зоне // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N3. С. 34-42. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-34-42.
 14. Borisenko I., Meznikova M. Strip tillage as an implementation of resource-saving approaches in areas of risky agriculture. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 398. 01023. DOI: 10.1051/e3sconf/202339801023.
 15. Mudarisov S.G., Lobachevsky Ya.P., Farkhutdinov I.M. et al. Justification of the soil dem-model parameters for predicting the plow body resistance forces during plowing. *Journal of Terramechanics*. 2023. Vol. 109. 37-44. DOI: 10.1016/j.jterra.2023.06.001.
 16. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Экологически безопасная эксплуатация технических средств в условиях физической деградации почвы // *Технический сервис машин*. 2019. N2(135). С. 40-46. EDN: WSZBHC.
 17. Helman D., Lensky I.M., Bonfil D.J. Early prediction of wheat grain yield production from root-zone soil water content at heading using Crop RS-Met. *Field Crops Research*. 2019. 232. 11-23. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.12.003.
 18. Burton G.J., Shend D.S., Cambell C. Bimodal pore size distribution of a high-plasticity compacted clay. *Géotechnique Letters*. 2014. 4. 2. 88-93. DOI: 10.1680/geolett.14.00003.
 19. Чаткин М.Н., Федоров С.Е., Бычков М.В. и др. Комбинированные культиваторы для дифференцированной обработки почвы в системе точного земледелия // *Сельский механизатор*. 2022. N12. С. 2-3. DOI: 10.47336/0131-7393-2022-12-2-3-14.
 20. Чаткин М.Н., Федоров С.Е., Бычков М.В., Жалнин А.А. Экспериментальное исследование рабочего органа глубокихрыхлителя // *Сельский механизатор*. 2022. N2. С. 12-14. EDN: FXEUJH.

REFERENCES

1. Parkhomenko G.G., Podlesny D.S., Kambulov S.I., Bozhko I.V. Comparative analysis of the working bodies of a field cultivator according to qualitative indicators. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2024. N1(37). 136-148 (In Russian). DOI: 10.5281/zenodo.10930800.
2. Trubilin E.I., Belousov S.V., Lepshina A.I. Basic soil cultivation with a turnover in the formation of modern working conditions and arrangements for its implementation. *Polythematic online scientific journal of Kuban state agrarian university*. 2024. N104. 1902-1922 (In Russian). EDN: TFWSLT.
3. Parkhomenko G.G., Kambulov S.I., Pakhomov V.I. Calculation of parameters of the cultivator's working body based on bionic shaping. *Agricultural Cyber-Physical Systems*. 2024. 733-1. 1071-1078 (In English). DOI: 10.1007/978-3-031-37978-9_103.
4. Izmailov A.Yu., Sidorov S.A., Lobachevsky Ya.P. et al. Scientific principles of raising wear resistance in working organs of soil tillage machinery. *Vestnik of the Russian Agricultural Sciences*. 2012. N3. 5-7 (In Russian). EDN: PATNMP.

5. Izmailov A.Yu., Shogenov Yu.K. Intensive machine technologies and new generation machinery for manufacturing main groups of agricultural produce. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2017. N7. 2-6 (In Russian). EDN: ZBMMSL.
6. Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Sizov O.A. The technological and technique means for recreation and rehabilitation of idle and degraded agricultural lands. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2010. N2. 12-14 (In Russian). EDN: KZWFSJ.
7. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Mazitov N.K. Soil-cultivating machinery: ways of import substitution. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017. N2. 37-42 (In Russian). DOI: 10.22314/207375992017.2.3741.
8. Gudkov S.V., Sarimov R.M., Astashev M.E. et al. Modern physical methods and technologies in agriculture. *Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)*. 2024. Vol. 194. N2. 208-226 (In Russian). DOI: 10.3367/UF-Nr.2023. 09.039577.
9. Belousov S.V., Lepshina A.I., Trubilin M.E. Moldboard plow for full inversion tillage. *Selskiy Mechanizator*. 2015. N3. 6-7 (In Russian). EDN: TUHAJJ.
10. Belousov S.V., Kambulov S.I., Rykov V.B., Turovsky B.V. Kinematics of rotary tillage machines. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2023. N1(69). 509-519 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-56.
11. Parhomenko G.G., Kambulov S.I., Belousov S.V. Methodology for determining the similarity criteria for the parts of a deep - miner. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2023. N1(69). pp. 556-563 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-01-61.
12. Zhalnin A.A., Chatkin M.N., Fedorov S.E. et al. Assessment of the compacting effect of the roller on the soil of a combined cultivator. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2024. N2. 44-51 (In Russian). DOI: 10.55170/1997-3225-2024-9-2-44-51.
13. Lachuga Yu.F., Meskhi B.Ch., Pakhomov V.I. et al. Investigating tritritrigia cultivation in a semi-arid zone. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N3. 34-42 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-34-42.
14. Borisenko I., Meznikova M. Strip tillage as an implementation of resource-saving approaches in areas of risky agriculture. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 398. 01023 (In English). DOI: 10.1051/e3sconf/202339801023.
15. Mudarisov S.G., Lobachevsky Ya.P., Farkhutdinov I.M. et al. Justification of the soil dem-model parameters for predicting the plow body resistance forces during plowing. *Journal of Terramechanics*. 2023. Vol. 109. 37-44 (In English). DOI: 10.1016/j.jterra.2023.06.001.
16. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Ecologically safe operation of technical facilities in conditions of physical degradation of soil. *Machinery Technical Service*. 2019. N2(135). 40-46 (In Russian). EDN: WSZBHC.
17. Helman D., Lensky I.M., Bonfil D.J. Early prediction of wheat grain yield production from root-zone soil water content at heading using Crop RS-Met. *Field Crops Research*. 2019. 232. 11-23 (In English). DOI: 10.1016/j.fcr.2018.12.003.
18. Burton G.J., Shend D.S., Cambell C. Bimodal pore size distribution of a high-plasticity compacted clay. *Géotechnique Letters*. 2014. 4. 2. 88-93 (In English). DOI: 10.1680/geolett.14.00003.
19. Chatkin M.N., Fedorov S.E., Bychkov M.V. et al. Combined cultivators for differentiated tillage in precision farming system. *Selskiy Mechanizator*. 2022. N12. 2-3 (In Russian). DOI: 10.47336/0131-7393-2022-12-2-3-14.
20. Chatkin M.N., Fedorov S.E., Bychkov M.V., Zhalnin A.A. Experimental study of the working organ of a deep-loader. *Selskiy Mechanizator*. 2022. N2. 12-14 (In Russian). EDN: FXEJUH.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Рыков В.Б. – научное руководство;
Камбулов С.И. – постановка задачи исследования;
Туровский Б.В. – разработка методики инженерного расчета работы рабочего органа;
Белузов С.В. – обзор и анализ направлений развития конструкции почвообрабатывающих рабочих органов, оценка достоверности полученных результатов 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:

Rykov V.B. – scientific supervision;
Kambulov S.I. – formulation of the research problem;
Turovsky B.V. – development of the engineering calculation methodology for the working body;
Belousov S.V. – review and analysis of the development trends in the design of soil-tillage tools, evaluation of the reliability of the obtained results, data processing, construction of diagrams and drawings in the Compass program, literature review, and text 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

03.12.2024

31.01.2025

EDN: QLPRYU

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-69-76

Научная статья
УДК 697.953.2:631.22

Выбор потолочных вентиляторов в системе микроклимата животноводческих помещений

Алексей Васильевич Кузьмичев,
научный сотрудник,
e-mail: alkumkuzm@mail.ru;
Дмитрий Анатольевич Тихомиров,
член-корр. РАН, доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: tihda@mail.ru;

Алексей Викторович Хименко,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: avmkh87@gmail.com

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. На основе литературного анализа выявили, что распределение воздушных потоков и температуры внутри помещения зависит от нескольких основных факторов: особенностей конструкции здания, внешних климатических условий, внутренних источников теплоты и работы системы вентиляции. Показали, что в животноводческих зданиях возникает температурный градиент по высоте помещения, который может достигать 6 градусов Цельсия и более. Провели оценку возможного изменения температуры воздуха по высоте для различных животноводческих помещений. Установили, что применение потолочных вентиляторов позволит более равномерно распределять воздух, обеспечить нормативную скорость движения воздуха в рабочей зоне, снизить содержания вредных газов, микроорганизмов в местах нахождения животных. (*Цель исследования*) Разработать рекомендации по выбору потолочных вентиляторов в помещениях сельскохозяйственного назначения для выравнивания температуры воздуха по высоте и равномерного распределения приточного воздуха с учетом нормирования скорости движения воздушных масс в местах расположения животных. (*Материалы и методы*) Изучили возможные подходы и модели описания распространения компактных струй и приточных струй от осевых потолочных вентиляторов. (*Результаты и обсуждение*) Показали область возможного варьирования производительности потолочных вентиляторов при обеспечении нормативной подвижности воздушной среды в зоне нахождения животных в зависимости от высоты подвеса и диаметра лопастей вентилятора. Привели общие аналитические выражения для описания модели распространения компактных свободных и стесненных воздушных струй. Показан характер распространения компактных стесненных воздушных струй для помещений с наиболее характерной высотой зданий. (*Выводы*). Полученное аналитическое выражение связывает параметры потолочного вентилятора и характеристику воздушной струи с учетом нормативных значений скорости движения воздуха в рабочей зоне. Приведены расчетные зависимости и рекомендации по определению количества потолочных вентиляторов для выравнивания температуры воздуха по высоте помещения.

Ключевые слова: животноводство, микроклимат, вентиляция, комфортность, градиент температур, воздушная струя, потолочный вентилятор.

■ **Для цитирования:** Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Хименко А.В. Выбор потолочных вентиляторов в системе микроклимата животноводческих помещений. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 69-76. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-69-76. EDN: QLPRYU.

Scientific article

Selection of Ceiling Fans for the Microclimate System of Livestock Facilities

Alexey V. Kuzmichev,
researcher,
e-mail: alkumkuzm@mail.ru;

Dmitry A. Tikhomirov,
Dr.Sc.(Eng.), corresponding member of the Russian
Academy of Sciences, chief researcher,
e-mail: tihda@mail.ru;

Aleksey V. Khimenko,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: avmkh87@gmail.com

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. A literature review revealed that the distribution of air flows and indoor temperatures is influenced by several key factors, including building design, external climatic conditions, internal heat sources, and ventilation system operation. It was demonstrated that livestock buildings exhibit a temperature gradient along the room height, which can reach 6 degrees Celsius or more. An assessment of potential air temperature variations at different heights across various types of livestock facilities was conducted. It has been found that the use of ceiling fans enables a more uniform distribution of air, ensures the standard airflow velocity in the working area, and helps to reduce the concentration of harmful gases and microorganisms in animal zones. *(Research purpose)* The study aims to develop recommendations for selecting ceiling fans in agricultural premises to equalize air temperature at different heights and ensure uniform distribution of supply air, while maintaining regulated air flow velocity in animal housing areas. *(Materials and methods)* Various approaches and models for describing the propagation of compact jets and supply air jets from axial ceiling fans were analyzed. *(Results and discussion)* The range of possible variations in the ceiling fan performance was determined ensuring the normative air velocity in the animal zone, depending on suspension height and blade diameter. General analytical expressions were presented for modeling the propagation of both free and confined compact air jets. Additionally, the behavior of confined compact air jets in buildings with typical height characteristics was analyzed. *(Conclusions)* The obtained analytical expression defines the relationship between ceiling fan parameters and air flow characteristics, considering the regulated air flow velocity in the working zone. Calculated dependencies and recommendations were provided for determining the optimal number of ceiling fans needed to equalize the air temperature along the room height.

Keywords: livestock farming, microclimate, ventilation, comfort, temperature gradient, air jet, ceiling fan.

■ **For citation:** Kuzmichev A.V., Tikhomirov D.A., Khimenko A.V. Selection of ceiling fans for the microclimate system of livestock facilities. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 69-76 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-69-76. EDN: QLPYU.

Применение на животноводческих предприятиях энергетического оборудования различного типа, в том числе отопительного, и высокая концентрация животных, также являющихся источником теплоты, приводят к возникновению градиента температуры воздушной среды по высоте помещения. Теплый воздух, поднимаясь вверх, под потолком образует воздушную подушку, а холодный и излишне влажный воздух скапливается внизу на уровне рабочей зоны, где располагаются животные и обслуживающий персонал. Перепад температуры может достигать 6 °C и более, при этом в рабочей зоне температура значительно ниже (особенно в холодный период года), чем предусмотрена нормами по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота (РД-АПК 1.10.01.01-18).

Наиболее нагретая часть помещения для коров с вентиляцией у конька здания находится под крышей [1]. В системах общеобменной приточно-вытяжной вентиляции не всегда равномерно распределяются поступающие воздушные массы по объему помещения. Установка потолочных вентиляторов позволит обеспечить в рабочих зонах требуемую скорость воздуха, выровнять температуру по высоте помещения [2].

Экспериментальные исследования отопительно-вентиляционной системы с потолочными вентиляторами в зимний период в профилактории для телят показали уменьшение времени разогрева и остывания воздуха, снижение расхода энергии на отопление [3]. Может быть снижена мощность или изменены режимы работы отопительной установки [4].

Вместе с тем требуется научное обоснование выбора параметров потолочных вентиляторов, их высоты подвеса, конструктивных особенностей, необходимого количества, взаимного расположения в помещении.

Цель исследования – разработать рекомендации по выбору потолочных вентиляторов для выравнивания температуры воздуха по высоте помещения и распределения воздуха с учетом нормирования скорости движения воздушных масс в местах расположения животных.

Материалы и методы. В животноводческих помещениях объем воздуха непрерывно циркулирует. Характер распространения воздушных потоков, распределение температуры внутри помещения зависят от конструктивной схемы системы вентиляции, определяющей температуру и скорость поступающего воздуха, внешних климатических факторов, наличия тепловыделяющих источников, а также работы приточно-вытяжной вентиляции и технологического оборудования [1, 2, 5]. Задача заключается в анализе характера движения воздушных масс с тем, чтобы в зонах с животными обеспечить требуемые параметры микроклимата – температуру и скорость воздуха [8].

Методы определения температуры воздушной среды основаны на формуле линейного возрастания температуры по высоте H помещения:

$$t_{\text{пом}} = t_{\text{р.з}} + \gamma \cdot (H - h_{\text{р.з}}), \quad (1)$$

где $t_{\text{р.з}}$ – температура в рабочей зоне (на высоте $h_{\text{р.з}}$ от пола), °C; γ – увеличение (градиент) температуры на каждый метр выше рабочей зоны ($h_{\text{р.з}}$), °C/м.

Для производственных и бытовых помещений $h_{p.з} = 2$ м; для помещений с небольшим тепловыделением принимают $\gamma = 0,5^\circ\text{C}/\text{м}$, с интенсивным – $\gamma = 0,7-1,5^\circ\text{C}/\text{м}$.

Рабочая зона определяется видом, возрастом, местом расположения животных и нахождения обслуживающего персонала (рис. 1).

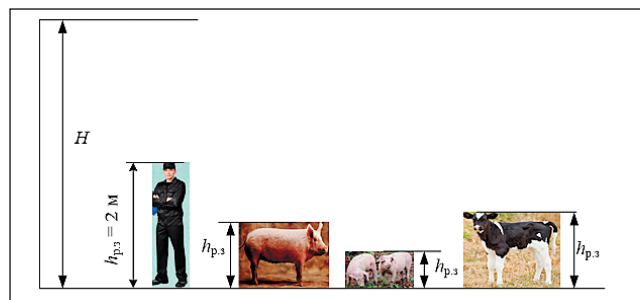


Рис. 1. Варьирование величины рабочей зоны ($h_{p.з}$) в производственных помещениях

Fig. 1. The value (height) of working area of the production premises

На рисунке 2 приведена зависимость изменения температуры воздуха от высоты помещения и интенсивности тепловыделения для рабочей зоны на высоте $h_{p.з} = 0,5$ м при температуре воздуха $t_p = 18^\circ\text{C}$, соответствующей тепловому комфорту животных, и $\gamma = 0,5-1,5^\circ\text{C}/\text{м}$ [7, 8].

Выравнивание температуры достигается путем организации обмена воздуха при подаче приточной струи из верхней зоны помещения в рабочую. Применение потолочных вентиляторов является эффективным методом выравнивания температуры по высоте помещения [9-11].

Современные методы расчета приточных струй основаны на трудах Абрамовича Г.Н., Гримитлина М.И., Талиева В.Н., Шепелева И.А., Сазонова Э.В. и др. На основании экспериментальных и теоретических исследований получены обобщенные характеристики компактных струй, образующихся из круглых, квадратных и прямоугольных отверстий. Схожие характеристики распространения приточных струй имеют осевые вентиляторы.

В качестве модели для описания работы потолочного вентилятора примем рассмотрение приточной струи, истекающей из круглого отверстия. Существующая методика расчета приточных струй предполагает, что струя состоит из двух участков. Начальный участок (устье струи), примыкающий к приточному отверстию, характеризуется наличием ядра постоянной скорости. Основной участок состоит из пограничного слоя, где скорость в любой точке меньше скорости истечения. Струя истекает с равномерной скоростью v_0 , при этом осевая скорость в пределах начального участка x_0 постоянна и равна скорости истечения v_0 .

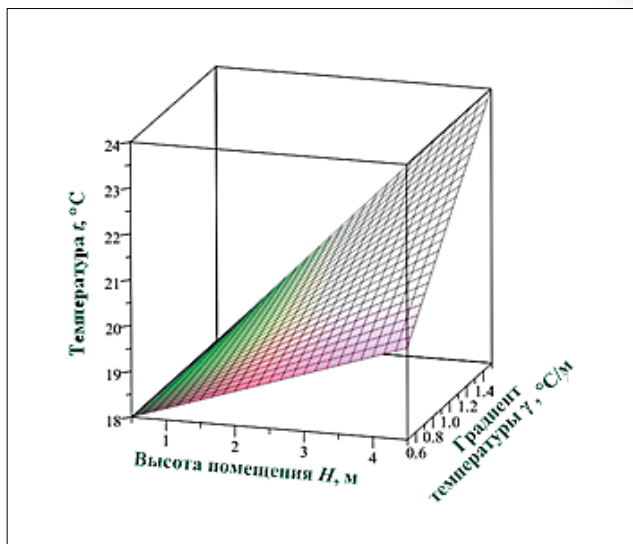


Рис. 2. Изменение температуры воздуха по высоте помещения

Fig. 2. Change in air temperature along the height of the room

На основном участке осевая скорость изотермической струи представляется в виде:

$$v_x = \frac{v_0 \sqrt{F_0}}{\sqrt{\pi c x}}, \quad (2)$$

где v_0 – начальная скорость истечения по оси x , м/с; F_0 – площадь приточного отверстия при истечении воздушной струи, м^2 ; $c = 0,082$ – значение экспериментальной постоянной; x – расстояние от начала истечения струи на основном участке (при условии $x > x_0$), м.

Для струи, истекающей из круглого отверстия радиусом R_0 :

$$v_x = v_0 R_0 / c x. \quad (3)$$

Обобщенная расчетная формула, отражающая непрерывное изменение осевой скорости на всем пути развития струи, имеет вид:

$$v_x = v_0 \sqrt{1 - e^{-(R_0/cx)^2}}. \quad (4)$$

Закономерности распределения скорости в зоне перемешивания струи описываются большим числом аналитических выражений, основанных на полумпирических теориях. Одно из них имеет экспоненциальный закон распределения:

$$u = v_x e^{-\frac{(r/cx)^2}{2}}, \quad (5)$$

где u – скорость движения воздуха в произвольной точке струи с координатами x и r (рис. 3); r – расстояние от оси струи по координате x ; v_x – скорость воздуха в центре произвольного поперечного сечения струи.

Скорость в любой точке струи с координатами x и r на основном участке

$$u = v_0 \sqrt{1 - e^{-(R_0/cx)^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{r}{cx} \right)^2}. \quad (6)$$

Приведенные соотношения представляют аналитическое описание распространения затопленной нестесненной струи в пространстве.

Две одинаковые приточные струи, распространяющиеся по одной прямой навстречу друг другу, взаимодействуют таким образом, что струя вначале распространяется как свободная, затем тормозится другой струей и растекается по плоскости, перпендикулярной оси обеих струй, разделяющих расстояние между приточными отверстиями пополам. Задача о взаимодействии двух одинаковых струй идентична задаче о взаимодействии одной струи и непроницаемой для воздуха твердой поверхности, находящейся в плоскости симметрии обеих струй (рис. 3).

Скорость на оси струи, соответствующей рассматриваемому условию:

$$u_{x \text{ пл.огр}} = u \sqrt{\frac{1 - \frac{x}{a}}{1 - \frac{x}{2a}}} \quad (7)$$

где a – расстояние от устья струи до нижней непроницаемой поверхности (пола).

Случай взаимодействия двух одинаковых компактных прямооточных струй, истекающих в одном направлении из двух отверстий, центры которых расположены на некотором расстоянии, приведен на рисунке 4 (где D_0 – диаметр приточного отверстия; b – расстояние между центрами приточных отверстий или до ограничивающей плоскости).

Скорость движения воздуха в произвольной точке пространства, в котором распространяются одинаковые струи, имеет вид:

$$u = v_0 \sqrt{1 - e^{-(R_0/cx)^2}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{r}{cx})^2} \sqrt{e^{(\frac{y-b}{cx})^2} + e^{(\frac{y+b}{cx})^2}}. \quad (8)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Основным требованием к технологическому оборудованию ферм является создание комфортных условий в зонах размещения животных. Важная задача заключается в выравнивании температуры по высоте помещения при ограниченной подвижности воздушной среды в рабочих зонах, а также в поддержании состава воздушно-газовой среды в соответствии с зоогигиеническими требованиями. Нормы скорости движения воздуха в сельскохозяйственных производственных помещениях (РД-АПК 1.10.01-18) приведены в таблице 1.

Характер циркуляции воздушных потоков, создаваемых потолочными вентиляторами, должен отвечать этим требованиям и определяется высотой помещения, высотой подвески вентилятора от потолка, местом установки, числом вентиляторов и их техническими характеристиками.

Высота рабочей зоны ($h_{p.з}$ – зона обитания животных, м) и подвижность воздушной среды зависят от назначения помещения и регламентируются нормами технологического проектирования.

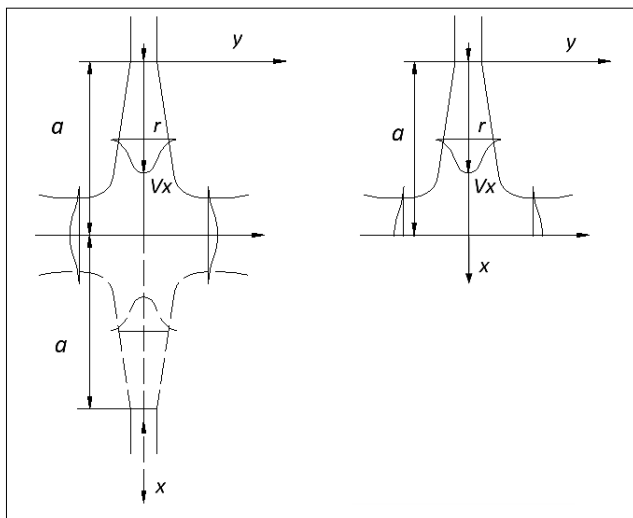


Рис. 3. Взаимодействие двух встречных приточных струй или приточной струи с плоскостью, перпендикулярной потоку

Fig. 3. Interaction of two counter supply air jets or a supply air jet with a plane perpendicular to the flow

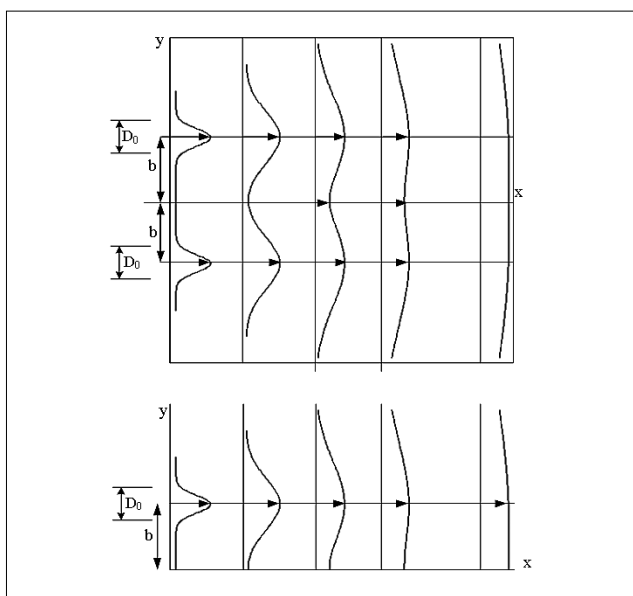


Рис. 4. Профили скоростей при взаимодействии двух одинаковых параллельных приточных струй или приточной струи с плоскостью, параллельной потоку

Fig. 4. Velocity profiles during the interaction of two identical parallel supply air jets or a supply jet air with a plane parallel to the flow

Исходя из этого, скорость воздуха струи, создаваемая осевым вентилятором, на верхней границе рабочей зоны не должна превышать некоторого максимального значения $u_{\text{макс}} \geq u_{x \text{ пл.огр}}$

$$u_{\text{макс}} \geq u_{x \text{ пл.огр}} = u k_c, \quad (9)$$

где $k_c = \frac{\sqrt{1 - \frac{a - h_{p.з}}{a}}}{1 - \frac{a - h_{p.з}}{2a}}$ – коэффициент стеснения струи.

Аналитическая зависимость характеристики струи с техническими параметрами потолочного вентилятора

$$\frac{L_B}{\sqrt{F_B}} = \frac{u_{\max}(a - h_{p.з}) \cdot (1 - \frac{a - h_{p.з}}{2a})}{6,88 \sqrt{1 - \frac{a - h_{p.з}}{a}}}, \quad (10)$$

где L_B – производительность потолочного вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$; $F_B = (\pi D_B^2)/4$ – площадь круга, описываемого лопастями вентилятора, м^2 ; D_B – диаметр вентилятора, м .

В таблице 2 приведены расчетные значения производительности потолочного вентилятора L_B ($\text{м}^3/\text{с}$) при диаметре рабочих лопастей $D_B = 0,9 \text{ м}$ в зависимости от высоты рабочей зоны $h_{p.з}$, высоты подвеса вентилятора от пола $h_{\text{вент}}$ и допустимой скорости движения воздуха в рабочей зоне.

На рисунке 5 показана область, ограниченная графиками 1 и 2, возможного варьирования производительности потолочных вентиляторов, обеспечивающих требуемую подвижность воздушной среды в установленных рабочих зонах, в зависимости от высоты подвеса и диаметра рабочих лопастей вентилятора. График 1 соответствует скорости воздуха $u_{\max} = 1 \text{ м/с}$ в рабочей зоне $h_{p.з} = 1 \text{ м}$; график 2 – $u_{\max} = 0,5 \text{ м/с}$ в рабочей зоне $h_{p.з} = 0,5 \text{ м}$.

На рисунке 6 показаны профили скоростей движения воздуха параллельных струй (рис. 6а) и профили скоростей движения воздуха параллельных струй в условиях их взаимодействия с учетом стеснения струи поверхностью zy (пол) (рис. 6б).

Расстояние, в пределах которого взаимодействующие параллельные струи могут рассматриваться

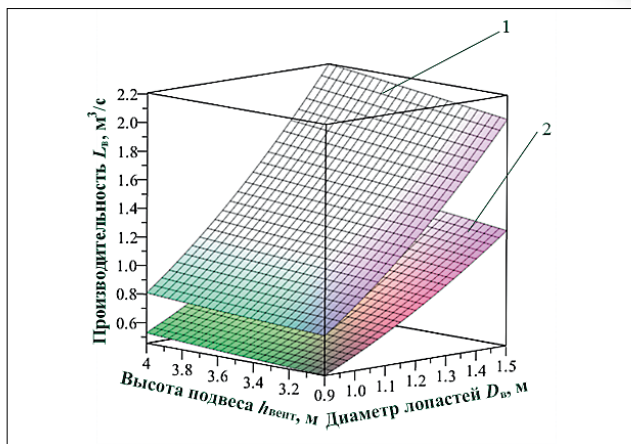


Рис. 5. Область возможного варьирования производительности потолочных вентиляторов в зависимости от высоты подвеса и диаметра рабочих лопастей

Fig. 5. The range of possible variations in ceiling fan performance depending on suspension height and working blade diameter

как свободные, оценивается соотношением $a = 26,8b$ с погрешностью $\lambda = 0,1$. При условии, что $b > D_B = 0,9-1,5$ предельное расстояние находится в диапазоне $a = 24,1-40,2 \text{ м}$. Для большинства сельскохозяйственных зданий высота потолков не превышает 6 м .

Производство сельскохозяйственной продукции – это совокупность взаимодействующих технологических процессов и технических элементов, представляющих собой единую биотехническую систему (животное – среда – технические элементы [12]. Для сельскохозяйственных ферм создание требуемых условий микроклимата в пространстве

Таблица 1

Нормы скорости движения воздуха в сельскохозяйственных помещениях
AIR VELOCITY STANDARDS IN AGRICULTURAL PREMISES

Table 1

Назначение помещения	Скорость воздуха, м/с	
	оптимальная	максимальная
Помещения для молодняка и скота на откорме	0,5	1
Родильное отделение с профилакторием телятника, доильное отделение, манеж	0,3	0,5
Свинарники	Расчетная в холодный и переходный периоды	Допустимая в летний период
Для холостых и легкосупоросных маток и хряков-производителей	0,3	1
Для ремонтного молодняка и порослят-отъемышей	0,2	0,6
Откормочники	0,3	1
Маточники для тяжелосупоросных маток и подсосных с приплодом	0,15	0,4

Таблица 2

Показатели подвижности воздушной среды в рабочей зоне при применении потолочного вентилятора
INDICATORS OF AIR MOVEMENT IN THE WORKING AREA WHEN USING A CEILING FAN

Table 2

Высота рабочей зоны $h_{p.з}$, м	0,5				1			
Высота подвеса вентилятора $h_{\text{вент}}$, м	4		3		4		3	
Скорость движения воздуха в рабочей зоне, м/с	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1
Производительность вентилятора, L_B , $\text{м}^3/\text{с}$	0,53	1,1	0,46	0,91	0,40	0,81	0,37	0,73

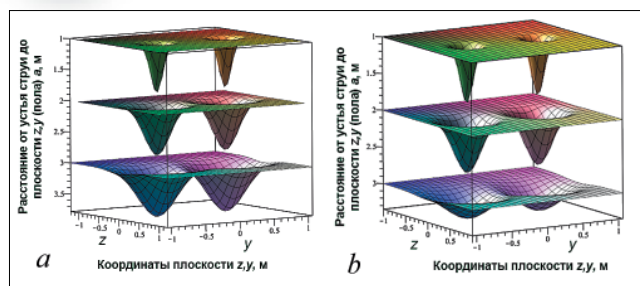


Рис. 6. Профили скоростей движения воздуха параллельных струй в условиях их взаимодействия

Fig. 6. Air velocity profiles of parallel jets under interaction conditions

помещения является одной из приоритетных задач [13, 14]. Поскольку сами помещения для содержания животных существенно различаются по техническим средствам (конструктивным элементам), то важно создать единый методологический подход к выбору параметров потолочных вентиляторов, их количеству и размещению, которые обеспечивают требуемые параметры микроклимата в рабочих зонах обитания животных, а также обслуживающего персонала [15, 16].

Микроклимат животноводческих помещений определяется комплексом физических параметров: влажность, температура, скорость перемещения воздуха, концентрация вредных газов и микроорганизмов, запыленность. Поддержание определенного воздухообмена с внешней средой позволяет создать требуемые условия микроклимата.

В зависимости от приоритета выполняемой задачи необходимое качество воздушной среды обеспечивается за счет подачи в помещение с учетом его назначения и режима эксплуатации определенного количества наружного воздуха. Воздухообмен определяется на основе удельных норм и кратности, обеспечения допустимых концентраций вредных веществ и удаления вредных примесей.

Выбор необходимого количества потолочных вентиляторов проводится по формуле:

$$N_n = V/L_v, \quad (11)$$

где V – кратность воздухообмена, $\text{м}^3/\text{ч}$; L_v – производительность одного вентилятора, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Необходимая мощность вентилятора может быть приближенно определена по выражению:

$$P_v = 1,2V\Delta T, \quad (12)$$

где V – объем помещения, м^3 ; ΔT – установленная разница между температурой воздуха у потолка и у пола, $^\circ\text{C}$; 1,2–1,3 – коэффициент, учитывающий потери теплоты в помещении, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$.

Для помещений с интенсивным выделением и высокой концентрацией вредных примесей, распределенных по всей поверхности и объему поме-

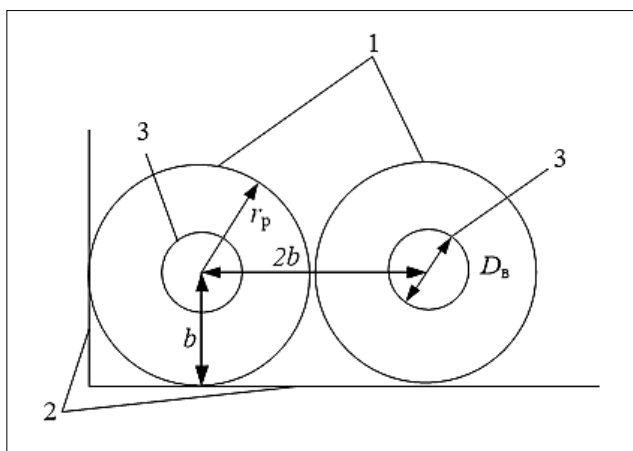


Рис. 7. Схема размещения потолочных вентиляторов

Fig. 7. Ceiling fan placement diagram

щения, выбор достаточного количества потолочных вентиляторов проводится по соотношениям:

$$N_d = S/4r_p^2,$$

$$r_p^2 = -2[0,082(h_{\text{вент}} - h_{\text{р.з}})]^2 \cdot \ln \frac{\varepsilon(h_{\text{вент}} - h_{\text{р.з}})\sqrt{F_0}}{6,88Lk_c} \quad (13)$$

$$k_c = \sqrt{\frac{1 - \frac{h_{\text{вент}} - h_{\text{р.з}}}{h_{\text{вент}}}}{1 - \frac{h_{\text{вент}} - h_{\text{р.з}}}{2h_{\text{вент}}}}}$$

где S – площадь помещения, м^2 ; r_p – граница расширения струи, м ; $h_{\text{вент}}$ – высота подвеса вентилятора, м ; $h_{\text{р.з}}$ – высота рабочей зоны, м ; ε – величина, задающая минимальное значение скорости на боковой границе струи $u_{\text{стр}} \leq \varepsilon$.

Расчетная схема выбора, размещения и определения количества потолочных вентиляторов приведена на рисунке 7 (где r_p – граница расширения струи; D_v – диаметр вентилятора; $2b$ – расстояние между центрами приточных отверстий).

Выводы

- На основе приведенного анализа для описания работы потолочного вентилятора принята модель приточной струи, истекающей из круглого отверстия. Приведены общие аналитические выражения для описания характера распространения компактных свободных и стесненных воздушных струй в помещении.

- Получено аналитическое выражение, которое связывает параметры потолочного вентилятора и характеристику воздушной струи с учетом нормативных значений скорости движения воздуха в рабочей зоне расположения животных.

- Приведены результаты теоретических исследований, показан характер распространения компактных стесненных воздушных струй для сельскохозяйственных помещений с наиболее характерной высотой зданий.

- Приведены расчетные зависимости и рекомендации по определению количества потолочных вентиляторов для выравнивания температуры воздуха по высоте сельскохозяйственного помещения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трунов С.С., Растимешин С.А. Экономия энергии при использовании потолочных вентиляторов в животноводческих помещениях // *Вестник ВИАХ*. 2016. N3(24). С. 35-37. EDN: WWWVCZ.
2. Khimenko A.V., Tikhomirov D.A., Trunov S.S. et al. Electric heating system with thermal storage units and ceiling fans for cattle-breeding farms. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. Iss. 11. 1753. DOI: 10.3390/agriculture12111753.
3. Тимошенко В.Н., Петрушко И.С., Музыка А.А. и др. Особенности микроклимата в наиболее распространенных типах животноводческих помещений для содержания коров дойного стада в различные сезоны года // *Научный вестник НУБП. Серия: Технология производства и переработки продукции животноводства*. 2015. N205. С. 388-398. EDN: UMFOVR.
4. Трофимов А.Ф., Музыка А.А., Москалев А.А. Особенности формирования микроклимата животноводческих помещений в зависимости от конструктивных решений // *Вестник национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук*. 2016. N2. С. 80-86. EDN: VZUJXB.
5. Leliveld L.M.C., Riva E., Mattachini G. et al. Dairy cow behavior is affected by period, time of day and housing. *Animals*. 2022. Vol. 12. Iss. 4. 512. DOI: 10.3390/ani12040512.
6. Flood C.A. jr., Koon J.L., Trumbull R.D., Brewer R.N. Energy savings with ceiling fans in broiler houses. *Applied Engineering in Agriculture*. 1998. Vol. 14. Iss. 3. 305-309. DOI: 10.13031/2013.19382.
7. Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Хименко А.В. Моделирование теплового режима в зоне нахождения поросят при использовании ИК облучательной панели // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70. N1(50). С. 66-74. DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-1-66-74.
8. Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Хименко А.В. Тепловой режим напольных энергоустановок в зонах содержания молодняка поросят // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2021. Т. 68. N3(44). С. 15-20. DOI: 10.22314/2658-4859-2021-68-3-15-20.
9. Тихомиров Д.А., Трунов С.С., Хименко А.В. Энергосберегающая система отопления с применением электрических тепловых аккумуляторов и потолочных вентиляторов // *Техника и оборудование для села*. 2022. N2(296). С. 34-38. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-2-34-38.
10. Тимошенко В.Н., Музыка А.А., Коронец И.Н. и др. Микроклимат основных технологических зон типовых молочно-товарных ферм и комплексов // *Современные достижения и актуальные проблемы животноводства*. 2023. С. 164-170. EDN: RYATRI.
11. Кирсанов В.В., Довлатов И.М., Комков И.В. и др. Современные подходы к системам обеспечения параметров воздуха в животноводческих помещениях // *Техника и технологии в животноводстве*. 2022. N4(48). С. 61-71. DOI: 10.51794/27132064-2022-4-61.
12. Кирсанов В.В., Баишева Р.А. Контроль и управление в сложной биотехнической системе молочной фермы // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020. Т. 21. N5. С. 625-632. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.5.625-632.
13. Андреев Л.Н., Салмина-Олышко К.Б., Бикчантаева Р.А. Повышение качества макро- и микроклимата животноводческих помещений // *Мир инноваций*. 2018. N1-2. С. 122-127. EDN: URJGWS.
14. Широбокова Т.А., Шувалова Л.А. Энергетический анализ производства продукции животноводства // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. N1(61). С. 72-78. DOI: 10.48012/1817-5457_2020_1_72.
15. Chamberlain A.T. The use of supplementary lighting in dairy cow housing to increase milk production. *Livestock*. 2018. Vol. 23. Iss. 3. 130-138. DOI: 10.12968/live.2018.23.3.130.
16. Hempel S., König M., Janke D. et al. Uncertainty in the measurement of indoor temperature and humidity in naturally ventilated dairy buildings as influenced by measurement technique and data variability. *Biosystems Engineering*. Vol. 166. 58-75. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.11.004.

REFERENCES

1. Trunov S.S., Rastimeshin S.A. Energy savings when using ceiling fans in livestock premises. *Vestnik VIESH*. 2016. Iss. 3(24). 35-37 (In Russian). EDN: WWWVCZ.
2. Khimenko A.V., Tikhomirov D.A., Trunov S.S. et al. Electric heating system with thermal storage units and ceiling fans for cattle-breeding farms. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. Iss. 11. 1753 (In English). DOI: 10.3390/agriculture12111753.
3. Timoshenko V., Petrushko I., Muzyka A. et al. Features of microclimate in the most common types of livestock buildings for cattle dairy cattle in different seasons. *Scientific Bulletin NUBiP. Series: Production technology and processing of livestock products*. 2015. Iss. 205. 388-398 (In Russian). EDN: UMFOVR.
4. Trofimov A.F., Muzyka A.A., Moskaliyov A.A. Features of formation of microclimate in livestock buildings depending on design. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2016. Iss. 2. 80-86 (In Russian). EDN: VZUJXB.
5. Leliveld L.M.C., Riva E., Mattachini G. et al. Dairy Cow Behavior is Affected by Period, Time of Day and Housing. *Animals*. 2022. Vol. 12. Iss. 4. 512 (In English). DOI: 10.3390/ani12040512.
6. Flood C.A.jr, Koon J.L., Trumbull R.D., Brewer R.N. Energy savings with ceiling fans in broiler houses. *Applied Engineering in Agriculture*. 1998. Vol. 14. Iss. 3. 305-309 (In English). DOI: 10.13031/2013.19382.
7. Kuzmichev A.V., Tikhomirov D.A., Khimenko A.V. Simulation of the thermal mode in the piglets' location area

- when using an IR irradiation panel. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2023. Vol. 70. Iss. 1(50). 66-74 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-1-66-74.
8. Kuz'michev A.V., Tikhomirov D.A., Khimenko A.V. Thermal mode of floor power plants in the areas of keeping young piglets. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2021. Vol. 68. Iss. 3(44). 15-20 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2021-68-3-15-20.
 9. Tikhomirov D.A., Trunov S.S., Khimenko A.V. Energy-saving heating system using electric heat accumulators and ceiling fans. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022. Iss. 2(296). 34-38 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2022-2-34-38.
 10. Timoshenko V.N., Muzyka A.A., Koronets I.N. et al. Microclimate of main technological zones of typical dairy farms and complexes. *Modern Achievements and Current Problems of Animal Husbandry*. 2023. 164-170 (In Russian). EDN: RYATRI.
 11. Kirsanov V.V., Dovlatov I.M., Komkov I.V. et al. The modern approaches to livestock premises' air providing systems parameters. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2022. N4(48). 61-71 (In Russian). DOI: 10.51794/27132064-2022-4-61.
 12. Kirsanov V.V., Baisheva R.A. Control and management in a complex biotechnical system of a dairy farm. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020. Vol. 21. Iss. 5. 625-632 (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.5.625-632.
 13. Andreev L.N., Salmina-Olshko K.B., Bikchantaeva R.A. Improving the quality of macro- and microclimate of livestock premises (In Russian). *World of Innovation*. 2018. Iss. 1-2. 122-127 (In Russian). EDN: URJGWS.
 14. Shirobokova T.A., Shuvalova L.A. Energy analysis of the livestock production. *Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2020. Iss. 1(61). 72-78 (In Russian). DOI: 10.48012/1817-5457_2020_1_72.
 15. Chamberlain A.T. The use of supplementary lighting in dairy cow housing to increase milk production. *Livestock*. 2018. Vol. 23. Iss. 3. 130-138 (In English). DOI: 10.12968/live.2018.23.3.130.
 16. Hempel S., König M., Janke D. et al. Uncertainty in the measurement of indoor temperature and humidity in naturally ventilated dairy buildings as influenced by measurement technique and data variability. *Biosystems Engineering*. Vol. 166. 58-75 (In English). DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.11.004.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Кузьмичев А.В. – анализ научных исследований и литературный обзор, выбор расчетных зависимостей, проведение теоретических исследований;
Тихомиров Д.А. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования; постановка цели и задач исследований;
Хименко А.В. – доработка и оформление текста статьи, анализ расчетных зависимостей, формулирование общих выводов и формирование библиографического списка.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Kuzmichev A.V. – analysis of scientific research and literature review, selection of calculated dependencies, theoretical research;
Tikhomirov D.A. – scientific supervision, formulation of key research directions; setting research purpose and objectives;
Khimenko A.V. – revision and formatting of the manuscript text, analysis of calculated dependencies, formulation of general conclusions and formation of the reference list.

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

03.12.2024
21.02.2025

EDN: ZUKTYF

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-77-85



Обзорная статья

УДК: 629.3014.2: 658.58: 631.12



Вклад Целинного филиала ГОСНИТИ в создание ремонтно-обслуживающей базы тракторов К-700А и К-701

Николай Алексеевич Петрищев,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;
Александр Сергеевич Саяпин,
младший научный сотрудник;

Вера Александровна Казакова,
младший научный сотрудник;
Михаил Николаевич Костомахин,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: gosnit14@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Тракторы К-700А и К-701 семейства «Кировец» производства ПО «Кировский завод» уже более пятидесяти лет используются в сельском хозяйстве и их эффективная эксплуатация была бы невозможна без созданной ремонтно-обслуживающей базы, разработанной нормативно-технической документации, оборудования для технического обслуживания и ремонта. (*Цель исследования*) Провести анализ разработок и производственного опыта Целинного филиала ГОСНИТИ по повышению эффективности сервисного обслуживания энергонасыщенных тракторов, полученных при создании ремонтно-обслуживающей базы тракторов К-700А и К-701. (*Материалы и методы*) Провели анализ разработанной нормативно-технической документации и оборудования для организации ремонта. Созданная на их основе ремонтно-обслуживающая база для тракторов «Кировец» позволила обеспечить требуемый уровень готовности, сохранить показатели надежности. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что созданная ремонтно-обслуживающая база соответствовала запросам времени и обеспечивала высокие технико-экономические показатели эффективности в соответствии с действующими ГОСТ. Существенно уменьшались затраты времени и материальных средств на поиск причинно-следственных связей параметров и условий работы тракторов, влияющих на эксплуатационную надежность, зависящую от условий эксплуатации, полноты проведенных регламентных работ по сервисному обслуживанию, оценки качества проведенного ремонта, входного контроля качества новых и восстановленных запасных частей. (*Выводы*) Опыт работы Целинного филиала ГОСНИТИ показал, что комплексный государственный подход при реализации крупных проектов доказывает свою экономическую эффективность, которая составила в 1980-е годы 1,5-4,4 рублей прибыли на один рубль вложений государства. Итогом такого подхода явилась разработка более 75 результатов опытно-конструкторских работ и их серийное или индивидуальное внедрение, позволившее совершенствовать ремонтно-обслуживающую базу на более чем 100 тысяч ремонтов в год, что в настоящее время имеет особую актуальность для обеспечения продовольственной безопасности РФ. **Ключевые слова:** ремонтно-обслуживающая база, нормативно-технологическая документация, технические требования на капитальный ремонт, руководство по текущему ремонту, классификатор отказов, контрольно-диагностическое оборудование.

■ **Для цитирования:** Петрищев Н.А., Саяпин А.С., Казакова В.А., Костомахин М.Н. Вклад Целинного филиала ГОСНИТИ в создание ремонтно-обслуживающей базы тракторов К-700А и К-701 // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 77-85. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-77-85. EDN: ZUKTYF.

Review article

Contribution of the Virgin Land Branch of GOSNITI to the Creation of a Repair and Maintenance Base for Tractors K-700A and K-701

Nikolay A. Petrishchev,
Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Aleksandr S. Sayapin,
junior researcher;

Vera A. Kazakova,
junior researcher;
Mikhail N. Kostomakhin,
Ph.D.(Eng.), leading researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Tractors K-700A and K-701 of the Kirovets family manufactured by Kirovsky Zavod have been used in agriculture for more than fifty years and their effective operation would have been impossible without the established repair and maintenance base, vast regulatory and technical documentation, equipment for maintenance and repair. (*Research purpose*) The research purpose is analyzing the development and production experience of the Virgin Land Branch of GOSNITI to improve the efficiency of servicing high-power tractors obtained during the creation of the repair and maintenance base of tractors K-700A and K-701. (*Materials and methods*) Conducted an analysis of the developed regulatory and technical documentation and equipment for the organization of repairs. The repair and maintenance base for Kirovets tractors created on their basis made it possible to ensure the required level of readiness and maintain reliability indicators. (*Results and discussion*) It was shown that the created repair and maintenance base corresponded to the needs of the time and provided high technical and economic performance indicators in accordance with the current GOST. The time and material resources spent on the search for causal relationships between the parameters and operating conditions of tractors affecting operational reliability, depending on the operating conditions, the completeness of routine maintenance work carried out, the quality assessment of repairs carried out, the input quality control of new and refurbished spare parts, were significantly reduced. (*Conclusions*) The experience of the Virgin Land Branch of GOSNITI has shown that an integrated state approach to the implementation of large projects proves its economic efficiency, which amounted to 1.5-4.4 rubles of profit per ruble of state investment in the 1980s. The result of this approach was the development of more than 75 results of development work and their serial or individual implementation, which made it possible to improve the repair and maintenance base for more than 100,000 repairs per year, which is currently of particular relevance for ensuring food security of the Russian Federation.

Keywords: repair and maintenance base, regulatory and technological documentation, technical requirements for major repairs, manual for current repairs, failure classifier, control and diagnostic equipment.

For citation: Petrishchev N.A., Sayapin A.S., Kazakova V.A., Kostomakhin M.N. Contribution of the Virgin land branch of GOSNITI to the creation of a repair and maintenance base for tractors K-700A and K-701. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 77-85 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-77-85. EDN: ZUKTYF.

Эффективное использование ремонтно-обслуживающей базы сельскохозяйственной техники не только способствуют поддержанию ее в рабочем состоянии, но и оказывает влияние на рентабельность и получение прибыли сельхозтоваропроизводителями [1].

Использование тракторов пятого тягового класса K-700A и K-701 производства ПО «Кировский завод» в сельскохозяйственном производстве значительно повысило производительность труда в условиях интенсивного земледелия и обработки больших площадей земли. Тракторы семейства «Кировец» благодаря универсальности и возможности переключения передач без разрыва потока мощности использовались ранее и продолжают использоваться сейчас для выполнения широкого спектра сельскохозяйственных задач [2].

Ввиду высокой энергонасыщенности (отношения эффективной мощности к массе) трактора K-700A, K-701, а также специализированные K-702 и K-703 начали широко использоваться в различных отраслях промышленности. Внедрение скоростных энергонасыщенных тракторов повышает производительность машинно-тракторных агрегатов в среднем в 1,4-1,6 раза по сравнению с применяемыми ранее [3].

Использование энергонасыщенных тракторов благоприятно сказалось на выполнении агросроков, повышении урожайности, и, что особенно важ-

но в условиях недостатка рабочей силы, снизило потребность в трудозатратах. Но, с другой стороны, в процессе их эксплуатации выявилось, что имеющаяся на тот момент ремонтно-обслуживающая база (РОБ) не может обеспечить эффективность ремонта, так как данные трактора требуют применения специального оборудования и знаний, а день простоя приносил убыток предприятию до 120 рублей. Так, затраты на поддержание тракторов «Кировец», эксплуатируемых в условиях Северных районов Казахской ССР, составляли 25-30% от общего годового фонда рабочего времени. При этом 50-85% всех прямых затрат уходило на устранение последствий отказов III группы сложности, а на запчасти приходилось от 70 до 90% от суммы затрат [4].

С целью минимизации простоев и затрат для коренного улучшения уровня технического обслуживания и ремонта энергонасыщенных тракторов 4 апреля 1983 г. было принято Постановление Совета министров СССР №271 «О мерах по дальнейшему повышению технического уровня и качества машин и оборудования для сельского хозяйства, улучшению использования, увеличению производства и поставок их в 1983-1990 годах». Одним из основных направлений Постановления Совета Министров СССР было внедрение новых технологий и разработка машин, отвечающих современным требованиям производства. Стимулирование научно-исследовательских работ и продвижение результатов

НИОКР (научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы) в серийное производство должны были привести к значительному повышению качества сельскохозяйственной техники. Предполагалось, что обеспечивая более качественное техническое обслуживание и ремонт можно повысить эффективность эксплуатации техники за счет снижения количества поломок и простоев. Для дальнейшей реализации Постановления в ГОСНИТИ, ВИМ и НПО «Ремдеталь», а также в отраслевых НИИ совместно с Госкомсельхозтехникой СССР была разработана «Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве» [5]. Согласно Постановлению №271 процесс создания РОБ предполагал не только построение физической инфраструктуры, но и разработку системы управления и организации сервисного обслуживания. Важным аспектом этого подхода стало внедрение современных методов диагностики и обслуживания, систем контроля обеспечения стабильности качества ремонта, что позволило бы существенно увеличить ресурс техники – до 80% ресурса от новой.

С 1962 по 1992 г. Целинный филиал ГОСНИТИ (ЦФ) являлся одним из ключевых центров СССР по исследованию и разработке технологий для обслуживания и текущего и капитального ремонта и сосредотачивал свои усилия на реализации заданий ГОСНИТИ по повышению эффективности эксплуатации тракторов К-700А и К-701.

Ведущие ученые СССР в области ремонта и эксплуатации МТП неоднократно посещали ЦФ и осуществляли научно-методическую и организационную помощь (С.С. Черепанов, И.Е. Ульман, В.М. Михлин и др.) [6] (рис. 1).

Наработки и опыт ЦФ представляют собой интересный и показательный пример интеграции научных разработок для практического применения при создании ремонтно-обслуживающей базы тракторов «Кировец» и могут пригодиться при реализации Национального проекта России от 2025 г. – «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности» по направлению «Сельхозтехника и оборудование».

Цель исследования – провести анализ разработок и производственного опыта Целинного филиала ГОСНИТИ по повышению эффективности сервисного обслуживания энергонасыщенных тракторов, полученных при создании ремонтно-обслуживающей базы тракторов К-700А и К-701.

Материалы и методы. В основе создания РОБ для производимых в СССР энергонасыщенных тракторов было исполнение ГОСТ 18322-78, ГОСТ 207993-81, ГОСТ 27.103-83, РТМ 70.0001.246-84 и др., принятых для оптимального использования технического ресурса, что позволило бы повысить



Рис. 1. Ведущие ученые СССР, принимавшие участие в работе ЦФ: а – директор ГОСНИТИ д.т.н. Черепанов С.С. с сотрудниками; б – ректор ЧИМЭСХ, д.т.н., проф. Ульман И.Е. с сотрудниками

Fig. 1. Leading scientists of the USSR who took part in the work of the Central Fund: а – Director of GOSNITI Dr.Sc.(Eng.) Cherepanov S.S. with employees; б – Rector of CHIMESKH Dr.Sc.(Eng.), Professor Ulman I.E. with employees

фактическую межремонтную наработку на 20-30% и снизить расходы на ремонт на 15-20%. Новые виды сельскохозяйственной техники, созданные в результате НИОКР, должны были обеспечивать повышение производительности сельскохозяйственных машин и машинно-тракторных агрегатов в 1,5-1,8 раза, снижение удельного расхода топлива дизельных двигателей до уровня 170-175 г/л.с. ч, масла на угар до 0,3-0,4% от расхода топлива; повышение ресурса тракторов и двигателей до 8-10 тыс. моточасов, а гусениц до 5 тыс. моточасов до момента проведения капитального ремонта.

Система технического обслуживания и ремонта тракторов семейства «Кировец» предусматривала наличие РОБ и подготовленных решений для проведения технического обслуживания (ТО), текущего ремонта (ТР) и капитального ремонта (КР). Сотрудниками ЦФ (А.П. Соломкиным, Ю.В. Синевым, И.А. Щабельским и др.) была разработана технология ТО трактора К-701, изданная тиражом 20 тыс. экземпляров [7]. Данная технология предусматривала выполнение организационных вопросов, включая обеспечение мер безопасности, правила обслуживания, нормативы трудоемкости и расхода материалов, а также включала 43 технологические карты с указанием методик проведения работ и требований для применяемого инструмента (рис. 2).



Рис. 2. Технология технического обслуживания К-701
Fig. 2. Maintenance technology of K-701

В 1985 г. под руководством В.Ф. Кириенко и Ф.Н. Тавлыбаева сотрудниками ЦФ А.П. Соломкиным, И.Т. Скибой, Д.Ш. Нурмановым и др. было разработано руководство РТ 70.0001.059-84 по текущему ремонту тракторов К-700А, К-701, которое было издано тиражом более 17 тыс. экземпляров и предназначалось для мастеров-наладчиков, инженерно-технических работников станций технического обслуживания тракторов «Кировец» системы ВО «Сельхозтехники» [8]. В данном руководстве были приведены таблицы дефектации деталей, которые чаще всего приходится заменять, а также показатели остаточного ресурса сборочных единиц, рекомендации по обнаружению и предупреждению отказов, в том числе – по разборке, сборке, регулированию, а в необходимых случаях и обкатки составных частей и трактора в сборе, был представлен перечень контрольно-диагностических работ и последовательности их выполнения, применяемое оборудование и приспособления. Текущий ремонт осуществлялся агрегатным методом, предусматривающим замену неисправных или требующих капитального ремонта составных частей или сборочных единиц, взятых из оборотного фонда. При этом снятые с трактора неисправные части ремонтировали на рабочих участках СТот или специализированных ремонтных предприятиях (РТП).

С 1 мая 1985 г. были введены в действие утвержденные заместителем председателя Госкомсельхозтехники СССР В.И. Черноивановым руководящие технические материалы РТМ 70.0001.246-84, которые устанавливали критерии предельного состояния тракторов и их составных частей. Разработанные в ГОСНИТИ, ВИМ, НАТИ критерии определяли условия, при которых доремонтный или межремонтный ресурс изделия считался исчерпанным, а ремонт – капитальным. Предельное состояние

выявлялось на основе контроля технического состояния по ресурсным параметрам при проведении ТО-3.

Сотрудники ЦФ Л.А. Бабченко, В.Я. Трибус, А.Н. Петрищев, Т.Е. Хабарова и др. принимали участие с ПО «Кировский завод» и НПО НАТИ в разработке классификатора отказов тракторов «Кировец» для машинно-испытательных станций (МИС), ремонтных предприятий Гособагропрома СССР. Данный классификатор устанавливает группы сложности отказов, затраты оперативного времени и труда на устранение их последствий (рис. 3). В классификаторе отмечены отказы, устранение которых требует необходимости постановки на капитальный ремонт, и определяющие предельное состояние трактора в целом по РТМ 70.0001.246-84.

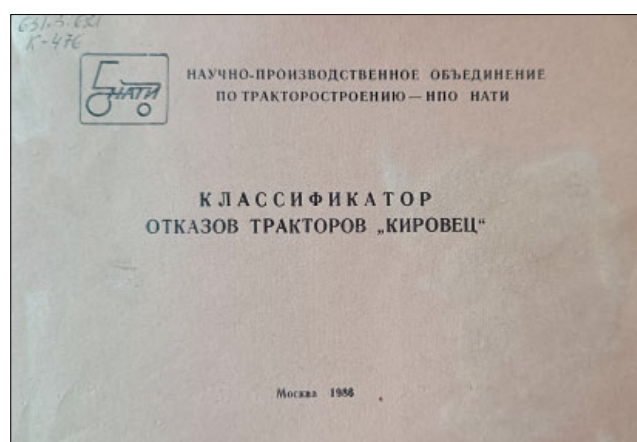


Рис. 3. Классификатор отказов трактора «Кировец»
Fig. 3. Classifier of failures of the «Kirovets» tractor

В соответствии с РТМ 70.0001.246-84 были разработаны технические требования ТК 70.0001.071-85 на капитальный ремонт шасси тракторов К-700А и К-701 [9]. Были установлены требования к разборке, дефектации, сборочным единицам и деталям, указания по модернизации, обкатки и испытанию с применением разработанного и изготовленного в ЦФ оборудования. Требования были составлены на основе технической документации, предоставленной ПО «Кировский завод», опыта ремонта и изношенных данных. Ремонт, выполненный в соответствии с ТК 70.0001.071-85, обеспечивал ресурс не менее 80% от ресурса новых машин. При этом для обеспечения стабильности качества капитального ремонта шасси трактора К-701 под руководством И.А. Щабельского и участия Р.О. Лучера, Л.А. Качесова был разработан руководящий документ РД 10-05.0001.008-87, утвержденный зам. директора ГОСНИТИ В.Н. Лосевым. Данный документ предоставлял ремонтным предприятиям направленную на повышение качества ремонта информацию о рациональном комплексе мероприятий профилактического и контрольного характера, благодаря чему удалось повысить надежность тракторов при эксплуатации.

Работы по упрочнению и восстановлению деталей, в том числе коленчатых валов, велись под руководством З.С. Дагиса совместно с Ф.Х. Бурмукуловым (НПО «Ремдеталь»), были разработаны методические указания по определению предельных и допустимых износов и по расчету припусков на обработку при восстановлении деталей на примере тракторов К-700А и К-701 [10, 11].

Для обучения и повышения квалификации инженерно-технических работников, специалистов ремонтных заводов ремонтно-технических предприятий, входящих в структуру ВО «Сельхозтехника», под авторством Ф.Н. Тавлыбаева была издана в 1983 г. тиражом 25 тыс. экземпляров книга «Ремонт тракторов «Кировец», в которой отражены результаты конструкторских разработок В.В. Шанина, И.В. Карасева, В.К. Федотова, выполненных ЦФ [12]. В ней изложены технологии разборки, дефектации и сборки основных агрегатов с указанием конкретных приемов ремонта сборочных единиц и деталей на основе полученного передового опыта ремонтных предприятий. Книга имеет множество иллюстраций, а также справочных таблиц, позволяющих обучить специалистов при осуществлении ремонта двигателя, агрегатов шасси, приведены данные по рекомендуемому оборудованию, приспособлениям, характеристикам используемых материалов.

Разработанная в ЦФ РОБ для тракторов «Кировец» достигла успеха благодаря системному государственному подходу к организации работы, где все этапы – от обучения персонала до внедрения новых технологий и оборудования были взаимосвязаны и направлены на достижение общей цели. Такой опыт может служить моделью, демонстрируя пример того, как научные и опытные разработки могут практическим образом способствовать развитию отрасли и повышению ее эффективности.

Результаты и обсуждение. Созданная РОБ для тракторов «Кировец» отвечала на запросы времени и обеспечивала высокие технико-экономические показатели эффективности в соответствии с действующими ГОСТ. Особую роль в реализации РОБ обеспечивали требования ВО «Сельхозтехника», так как при выпуске новых марок тракторов учитывались как интересы конечных потребителей, так и завода-производителя за счет обеспечения средствами технического сопровождения машинно-тракторного парка (МТП) в течении всего заявленного производителем срока службы. При таком подходе существенно уменьшались затраты времени и материальных средств на поиск причинно-следственных связей параметров и условий работы тракторов, влияющих на эксплуатационную надежность, зависящую от условий эксплуатации, полноты проведенных регламентных работ по сервисному об-

Таблица 1 ЗАЩИЩЕННЫЕ ДИССЕРТАЦИИ СОТРУДНИКОВ ЦФ ГОСНИТИ DEFENDED DISSERTATIONS OF EMPLOYEES OF THE VIRGIN LAND BRANCH OF GOSNITI	
Наименование	Автор
Формирование и обеспечение готовности тракторов (на примере трактора «Кировец») (д.т.н.)	Соломкин А.П.
Исследование факторов, определяющих трудоемкость технического ухода и приспособленность к нему сельскохозяйственных машин (к.т.н.)	Соломкин А.П.
Обоснование метода оценки качества технического обслуживания тракторов: на примере тракторов «Кировец» (к.т.н.)	Козак А.И.
Повышение надежности трансмиссии тракторов с шарнирной рамой (д.т.н.)	Дегтярев М.Г.
Исследование надежности и оптимального срока службы шин сельскохозяйственных тракторов: (в условиях Северного Казахстана) (к.т.н.)	Тавлыбаев Ф.Н.
Исследование приспособленности машин к хранению в условиях Северного Казахстана: (на примере тракторов Ленинградского Кировского завода) (к.т.н.)	Щукин А.Р.
Обоснование централизованного технического обслуживания и текущего ремонта тракторов «Кировец» в условиях Северного Казахстана (к.т.н.)	Синев Ю.В.
Исследование режимов прогрева тракторного двигателя в холодное время года (к.т.н.)	Саламасов Г.И.
Повышение эффективности использования ремонтно-обслуживающей базы АПК (к.т.н.)	Клейменов О.А.
Обеспечение эксплуатационной технологичности машинно-тракторных агрегатов (д.т.н.)	Халфин М.А.
Исследования по обоснованию ремонтной обслуживающей базы подразделений хозяйств Северного Казахстана (к.т.н.)	Петрищев А.Н.
Обоснование процесса технического обслуживания тракторов на основе календарного планирования и применения сменных комплектов (на примере тракторов «Кировец») (к.т.н.)	Какенов М.К.
Исследование условий совмещения операций технического ухода и устранения неисправностей МТП в условиях Северного Казахстана (к.т.н.)	Смагулов Ш.С.
Рациональное распределение ремонтных работ на основе специализации центральных ремонтных мастерских хозяйств (к.т.н.)	Сазонов С.Н.
Ресурсосбережение при ремонте базовых деталей тракторных двигателей (д.т.н.)	Усков В.П.
Разработка методов очистки и восстановления качества смазочных масел для сельскохозяйственных тракторов (к.т.н.)	Нурманов Ж.Ш.
Формирование системы технического сервиса сельскохозяйственной техники (д.т.н.)	Бабченко Л.А.

служиванию, оценки качества проведенного ремонта, обеспеченности средствами для выполнения ТО (включая ресурсное диагностирования), ТР, КР, входного контроля качества новых и восстановленных запасных частей.

Поиск решений для повышения эффективности РОБ тракторов «Кировец» велся на научно-обоснованной базе исследовательских работ, по результатам которых сотрудниками ЦФ было защищено значительное количество докторских и кандидатских диссертаций. Некоторые из них представлены в *таблице*.

В рамках диссертационных работ и НИР были разработаны установки для испытаний и диагностирования, с помощью которых осуществляли сбор статистических данных, а также оценивали эффективность предлагаемых ремонтно-обслуживающих воздействий на надежность.

Помимо исследовательской деятельности ЦФ принимал участие в выполнении комплексных программ ГОСНИТИ. Например, в XI пятилетку ЦФ участвовал в разработке и внедрении новых методов обеспечения высокой работоспособности и сохранности МТП, позволяющих повысить готовность до 0,92 и производительность труда на 15-20%, снизить затраты на ТО и ремонт с 0,20 до 0,15 руб. на один рубль балансовой стоимости. Для решения данной проблемы в структуре ЦФ имелись соответствующие научные, конструкторские и производственные направления.

Так, план серийного производства оборудования для ремонта шасси тракторов «Кировец» и двигателей ЯМЗ ежегодно динамично увеличивался, и таким образом удовлетворялась потребность в оснащения РТП и ремонтных предприятий (*рис. 4а*). При этом реализация опытно-конструкторских работ (ОКР) проходила трехступенчатый отбор (*рис. 4б*). Последующее широкое внедрение разработок позволяло ежегодно увеличивать экономические показатели (*рис. 4с*).

Примеры разработанного в структуре ЦФ и серийно выпускаемого оборудования и стендов для нужд ремонтных заводов ВО «Сельхозтехника», а также районных СТОВ, специализированных РТП и мастерских совхозов, осуществляющих ТО, капитальный и текущий ремонт КПП тракторов производства ПО «Кировский завод» по требованиям ТК 70.0001.071-85 представлены на *рисунке 5* [13, 14].

Хозяйственные договора с тракторными заводами (Павлодарский, Кировский, Челябинский), а также ремонтно-механическими заводами (Октябрьский, Чуйский, Нововаршавский) были выполнены в ЦФ в 1984 г. более чем на 125, 4 тыс. руб. и их годовой экономический эффект составил 1898,1 тыс. рублей или 4,35 руб. на рубль затрат государства.

Пропаганда научно-технических разработок ЦФ осуществлялась в виде НТД, статей и лекций по тематике ремонта и эксплуатации МТП, семинаров, подачи заявок на изобретение, проведение курсов подготовки мастеров-наладчиков и комбайнеров (*рис. 6*).

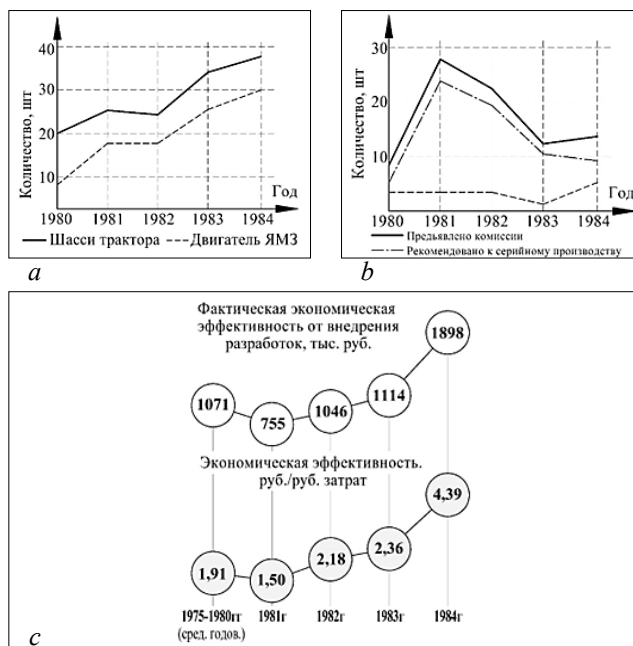


Рис. 4. Показатели для оснащения РОБ: а – план серийного производства; б – реализация ОКР; в – экономические показатели внедрения разработок

Fig. 4. Indicators for equipping the repair and maintenance base: а – serial production plan; б – implementation of R&D; в – economic indicators of development implementation

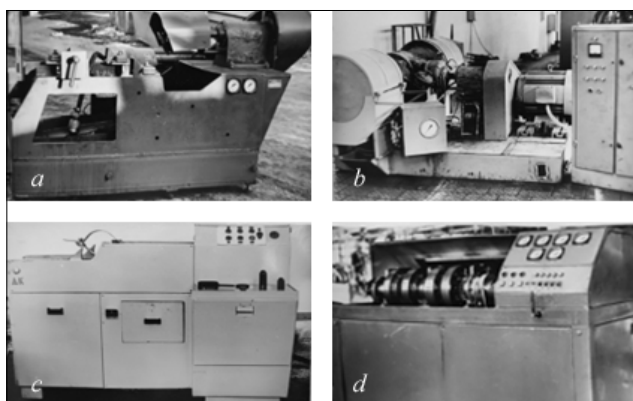


Рис. 5. Оборудование (стенды) ЦФ ГОСНИТИ для оснащения участков ремонта КПП и ведущих мостов в РТП: а – для обкатки коробок передач КИ-17918; б – для обкатки ведущих мостов тракторов КИ-17917; в – для разборки ведущего вала ОР-13800; д – для испытания ведущего вала КИ-13805

Fig. 5. Equipment (stands) of GOSNITI for equipping the sections for repair of gearboxes and drive axles in the repair facilities: а – for running-in KI-17918 gearboxes; б – for running-in drive axles of KI-17917 tractors; в – for disassembling the drive shaft of the OR-13800; д – for testing the drive shaft of the KI-13805

Постоянное совершенствование РОБ энергонасыщенных тракторов существенно увеличило уровень сервиса и удовлетворенности потребителей, что также способствовало повышению привлека-



Рис. 6. Специалисты ЦФ ГОСНИТИ проводят курсы повышения квалификации

Fig. 6. Specialists of Virgin Land Branch of GOSNITI conduct advanced training courses

тельности использования продукции ПО «Кировский завод». Важным элементом эффективности работы ЦФ при внедрении РОБ тракторов «Кировец» стало обучение и повышение квалификации технического персонала, который должен был овладеть новыми навыками с оборудованием и разработанными технологиями в области обслуживания и ремонта [15].

Представленный комплексный государственный научно-производственный подход позволил улучшить качество обслуживания и сократить сроки ремонта, повысить производительности труда в АПК [16].

В настоящее время сотрудниками лаборатории 9.1 ФНАЦ ВИМ (Е.М. Филиппова, А.А. Данков, И.М. Макаркин и др.) в рамках НИОКР разработаны и внедрены новые стенды КИ-28340 для обкатки коробок передач для современных тракторов «Кировец» – 4 шт., стенд для обкатки и испытания ведущего вала КИ-28326, которые установлены в цеху № 225 АО «Петербургский тракторный завод». Также стендами оснащены более 15 сервисных участков дилеров ПТЗ [17]. При выполнении рабочей программы НИР сотрудники лабораторий 9.1 и 9.2 (Ю.В. Катаев, М.Н. Костомахин, А.С. Саяпин, Е.В. Пестряков и др.) разрабатывают новые цифровые средства диагностирования для мониторинга технического состояния узлов и агрегатов трактора «Кировец» в процессе его эксплуатации [18, 19].

Исторический опыт взаимодействия ЦФ с ПО «Кировский завод» может служить моделью, демонстрирующей пример того, как научные разработки могут практическим образом способствовать дальнейшему развитию отрасли и повышению ее эффективности при реализации национального проекта «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности» по направлению «Сельхозтехника и оборудование».

Выводы. Исторический опыт Целинного филиала ГОСНИТИ показывает, что для достижения долгосрочной устойчивости и конкурентоспособности отечественной сельскохозяйственной техники важно, чтобы были разработаны системы РОБ с учетом ранее разработанной «Комплексной системы технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве» с поддержкой на всех уровнях, включая государственные органы, предприятия сельхозмашиностроения и сельхозтоваропроизводителей.

Совершенствование РОБ тракторов «Кировец», внедренные технологии не только снижали затраты на более чем 25%, но и способствовали повышению общей производительности сельскохозяйственного производства. Опыт Целинного филиала ГОСНИТИ можно и нужно использовать в современных условиях для повышения фактической экономической эффективности за счет внедрения разработок, которая составляла в среднем более 1 млн руб. в год, а экономическая эффективность составляла порядка 3 руб. прибыли на каждый вложенный от государства рубль.

Важным элементом эффективности работы ЦФ ГОСНИТИ при создании РОБ тракторов «Кировец» стало обучение и повышение квалификации технического персонала, который должен был овладеть навыками обращением с новым оборудованием и разработанными технологиями в области обслуживания и ремонта.

Опыт ЦФ ГОСНИТИ показал, что наиболее эффективны совместные исследования и разработки, проводимые в сотрудничестве с производителями техники, а также при поддержке государства. Что позволяло совместно с производителем разрабатывать новейшие методы обслуживания и ремонта для повышения эффективности использования тракторов К-700А и К-701 на предприятия ВО «Сельхозтехника».

При разработке новой техники, наряду с ее функциональной оценкой в условиях машинно-испытательных станций, важно оценивать степень подготовленности ремонтно-обслуживающей базы, поскольку от этого зависит не только эффективность ее эксплуатации, но и общая рентабельность инвестиционных затрат. Требуется постоянного внимания и комплексного подхода решение существующих проблем, таких как старение оборудования для РОБ, а также недостаток квалифицированных кадров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Черноиванов В.И. История развития ремонтной базы сельскохозяйственной техники в России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №1. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-4-12.
- Шувалов Е.А., Бойков А.В., Добряков Б.А. и др. Теория и расчет трактора «Кировец». Л.: Машиностроение. 1980. 208 с.
- Агеев Л.Е., Бахриев С.Х. Эксплуатация энергонасыщенных тракторов. М.: Агропромиздат. 1991. 271 с.
- Копылов Ю.М., Кулаченко Ю.В., Пуховицкий Ф.Н. Текущий ремонт энергонасыщенных тракторов. М.: Россельхозиздат. 1986. 206 с.
- Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. Ч. 1. М.: ГОСНИТИ. 1985. 143 с.
- Ценч Ю.С., Годлевская Е.В. Сотрудничество ГОСНИТИ и ЧГАУ в научно-исследовательской деятельности // *Технический сервис машин*. 2023. Т. 61. №2(151). С. 12-23. DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-2-12-23.
- Трактор К-701. Техническое обслуживание. М.: ГОСНИТИ. 1980. 184 с.
- Тракторы К-700А, К-701. Руководство по текущему ремонту. РТ 70.0001.059 -84. М.: ГОСНИТИ. 1985. 104 с.
- Шасси тракторов К-700А, К-701. Технические требования на капитальный ремонт. ТК 70.0001.071-85. М.: ГОСНИТИ. 1986. 205 с.
- Методические указания по определению предельных и допустимых износов деталей и их соединений. М.: ГОСНИТИ. 1988. 84 с.
- Методические рекомендации по расчету припусков на обработку при восстановлении деталей на примере тракторов К-700А и К-701. М.: ГОСНИТИ. 1988. 56 с.
- Тавлыбаев Ф.Н. Ремонт тракторов «Кировец». М.: Колос. 1983. 351 с.
- Новые технические средства для ремонта машин, восстановление деталей и технического обслуживания машинно-тракторного парка колхозов и совхозов. Ч. III. М.: ГОСНИТИ. 1986. 129 с.
- Каталог оборудования и инструмента для технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. М.: ГОСНИТИ. 1989. 113 с.
- Ценч Ю.С. Профессиональные стандарты как фактор сокращения дефицита квалификационных кадров // *Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии*. 2014. Т. 67. №2. С. 62-65. EDN: RZJCNN.
- Черноиванов В.И., Лялякин В.П. История организации ГОСНИТИ // *Технический сервис машин*. 2020. Т. 58. №4(141). С. 165-175. DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-4-165-175.
- Макаркин И.М., Данков А.А., Филиппова Е.М. и др. Опыт внедрения оборудования для диагностики, контроля качества изготовления и ремонта агрегатов гидропривода, трансмиссии энергонасыщенной техники // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2019. №4-2(336). С. 135-144. EDN: SCBOUO.
- Дорохов А.С., Катаев Ю.В., Костомахин М.Н. и др. Управление техническим состоянием сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2024. №5. С. 51-56. DOI: 10.31857/S2500262724050102.
- Ценч Ю.С. Становление и развитие научно-технического и кадрового обеспечения агропромышленного комплекса России. М.: ВИМ. 2021. 156 с. EDN: JJVOPC.

REFERENCES

- Chernoivanov V.I. The history of agricultural machinery repair system in Russia. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. T. 18. №1. 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-4-12.
- Shuvalov E.A., Boykov A.V., Dobryakov B.A., et al. Theory and calculation of the tractor «Kirovets». Leningrad: Mechanical engineering. 1980. 208 (In Russian).
- Ageev L.E., Bakhriev S.Kh. Operation of high-power tractors. Moscow: Agropromizdat. 1991. 271 (In Russian).
- Kopylov Yu.M., Kulachenko Yu.V., Pukhovitsky F.N. Current repair of energy-saving tractors. Moscow: Rosselkhozizdat, 1986. 206 (In Russian).
- Integrated system of technical maintenance and repair of machines in agriculture. Part 1. Moscow: GOSNITI. 1985. 143 (In Russian).
- Tsench Yu.S., Godlevskaya E.V. Cooperation between GOSNITI and CHGAU in research activities. *Machinery Technical Service*. 2023. Vol. 61. №2(151). C. 12-23 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-2-12-23.
- Tractor K-701. Maintenance. Moscow: GOSNITI. 1980. 184 (In Russian).
- Tractors K-700A, K-701. Maintenance manual. RT 70.0001.059-84. Moscow: GOSNITI. 1985. 104 (In Russian).
- Chassis of tractors K-700A, K-701. Technical requirements for major repairs. TK 70.0001.071-85. Moscow: GOSNITI. 1986. 205 (In Russian).
- Guidelines for determining the maximum and permissible wear of parts and their connections. Moscow: GOSNITI. 1988. 84 (In Russian).
- Methodological recommendations for calculating allowances for processing during restoration of parts using the example of K-700A and K-701 tractors. Moscow: GOSNITI. 1988. 56 (In Russian).
- Tavlybaev F.N. Repair of Kirovets tractors. Moscow: Kolos. 1983. 351 (In Russian).
- New technical means for machine repair, restoration of parts and technical maintenance of the machine and tractor fleet of collective and state farms. Part III. Moscow: GOSNITI. 1986. 129 (In Russian).
- Catalog of equipment and tools for maintenance and repair of agricultural machinery. Moscow: GOSNITI. 1989. 113 (In Russian).

15. Tsench Yu.S. Professional standards as a factor reducing the deficit of qualified personnel. *Bulletin of the Chelyabinsk State Agroengineering Academy*. 2014. Vol. 67. N2. C. 62-65 (In Russian). EDN: RZJCNN.
16. Chernoiivanov V.I., Lyalyakin V.P. History of the GOSNITI establishment. *Machinery Technical Service*. 2020. Vol. 58. N4(141).165-175 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-4-165-175.
17. Makarkin I.M., Dankov A.A., Filippova Ye.M. et al. The experience of introducing equipment for diagnosis, quality control of the manufacture and repair of hydraulic units, power transmission equipment. *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*. 2019. N4-2(336). 135-144 (In Russian). EDN: SCBOUO.
18. Dorokhov A.S., Katayev Yu.V., Kostomakhin M.N. et al. Management of the technical condition of agricultural machinery using digital technologies. *Rossiiskaia Selskokhoziaistvennaia Nauka*. 2024. N5. 51-56 (In Russian). DOI: 10.31857/S2500262724050102.
19. Tsench Yu.S. Formation and development of scientific, technical and personnel support of the agro-industrial complex of Russia. Moscow: VIM. 2021. 156 c. EDN: JJVOPC.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Петрищев Н.А. – подготовка текста, сбор материалов, анализ литературных данных, формирование выводов;
Саяпин А.С. – редактирование текста, доработка текста, анализ литературных данных, формирование выводов;
Казакова В.А. – сбор материалов, доработка текста, анализ литературных данных;
Костомахин М.Н. – общее руководство, постановка задач исследования, доработка текста, анализ литературных данных.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Petrishchev N.A. – text preparation, collection of materials, analysis of literary data, formation of conclusions;
Sayapin A.S. – text editing, text revision, analysis of literary data, formation of conclusions;
Kazakova V.A. – collection of materials, text revision, analysis of literary data;
Kostomakhin M.N. – general management, setting research objectives, text revision, analysis of literary data.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

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

10.12.2024
25.02.2025

EDN: CWVCUM

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-86-95



Научная статья

УДК 631.3



Основные тенденции в развитии технологии аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий

Рашид Курбанович Курбанов,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;
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 для сельского хозяйства стала важным инструментом, позволяющим фермерам и агрономам получать актуальную информацию о состоянии сельскохозяйственных угодий. (*Цель исследования*) Выполнить ретроспективный анализ совершенствования технологии аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий для формирования периодизации развития аэрофотосъемочного оборудования и воссоздания целостной картины их эволюции. (*Материалы и методы*) Выполнили систематический обзор литературы с помощью историко-аналитического метода. Изучили оригинальные работы отечественных и зарубежных авторов: монографии, научные журналы, материалы конференций, экспозиции музеев, фотоматериалы и исходный код программного обеспечения в открытом доступе. (*Результаты и обсуждение*) Выделено четыре основных этапа в развитии аэрофотосъемочного оборудования. Периодизация основана на изменении типа камер и летательных аппаратов, на которые они устанавливались. Проведено сравнение аэрофотоаппаратов для аэрофотосъемки, начиная с камер, использующих мокрые коллодиевые пластины, до современных цифровых аэрофотоаппаратов, устанавливаемых на беспилотные воздушные суда. (*Выводы*) Процесс разработки и создания аппаратуры для аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель происходил скачкообразно. В настоящее время актуально использовать беспилотные воздушные суда с камерами видимого диапазона и мультиспектральными камерами при аэрофотосъемке сельскохозяйственных угодий. Предположили, что дальнейшее развитие цифровых камер для аэрофотосъемки будет направлено на повышение пространственного разрешения, их гибридизацию и интеллектуализацию.

Ключевые слова: сельское хозяйство, аэрофотосъемка, аэрофотография, аэрофотоаппарат, дистанционное зондирование, анализ развития, точное земледелие, беспилотная аэрофотосъемка.

■ **Для цитирования:** Курбанов Р.К., Ценч Ю.С., Захарова Н.И. Основные тенденции в развитии технологии аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 86-95. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-86-95. EDN: CWVCUM.

Scientific article

Major Trends in the Development of Aerial Photography Technology for Agricultural Lands

Rashid K. Kurbanov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Yuliya S. Tsench,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher;

Natalia I. Zakharova,
junior researcher,
e-mail: smedia@vim.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Aerial photography has become an essential tool in agriculture, allowing farmers and agronomists to monitor the condition of agricultural land in real time. (*Research purpose*) This study aims to conduct a retrospective analysis of the evolution of aerial photography technology in agriculture, establish a chronological framework for its development, and provide a comprehensive overview of its advancements. (*Materials and methods*) A systematic literature review was conducted using a historical-analytical approach. The analysis included original works by both domestic and international authors, including monographs, scientific journals, conference proceedings, museum exhibits, photographic materials, and publicly available software source codes. (*Results and discussion*) Four key stages in the development of aerial photography equipment were identified based on advancements in

camera technology and the aerial platforms on which they were mounted. A comparative analysis of aerial photography devices was conducted, tracing the evolution from wet collodion plate cameras to modern digital aerial cameras mounted on unmanned aerial vehicles (UAVs). (*Conclusions*) The development of aerial photography equipment for agricultural land mapping has progressed in leaps rather than through gradual increments. Currently, UAVs equipped with visible-spectrum and multispectral cameras are the most relevant for agricultural applications. Future advancements in digital aerial photography cameras will focus on improving spatial resolution, hybridization, and intelligent functionalities.

Keywords: agriculture, aerial photography, aerial imaging, aerial camera, remote sensing, development history, precision agriculture, unmanned aerial photography.

For citation: Kurbanov R.K., Tsench Yu.S., Zakharova N.I. Major trends in the development of aerial photography technology for agricultural lands. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 86-95 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-86-95. EDN: CWVCUM.

Беспилотные воздушные суда активно используются в сельском хозяйстве [1, 2]. Их применение с аэросъемочным оборудованием позволяет проводить мониторинг состояния растений и контролировать их развитие [3]. Развитие аэрофотосъемочного оборудования расширило возможности их применения и спектр решаемых задач [4]. К 2030 г. прогнозируется значительный рост мирового рынка аэрофотосъемочного оборудования для беспилотных воздушных судов (БВС).

Современные технические решения на базе беспилотных воздушных судов и цифровых камер представляют собой наукоемкую, высокотехнологичную область и одно из наиболее перспективных сегодня направлений развития авиации сельскохозяйственного назначения [5]. История создания, совершенствования и тенденции развития средств аэрофотосъемки актуальны в мире и влияют на производство и применение аэрофотоаппаратуры в комплексе с беспилотными воздушными судами для мониторинга сельскохозяйственных угодий. История развития аэрофотосъемки позволяет понять, как создавались такие технологии, какие инновации и открытия способствовали их улучшению, а также предоставляет ценные знания и контекст, которые помогают спрогнозировать вектор развития технологии в аграрном секторе.

Цель исследования – выполнить ретроспективный анализ совершенствования технологии аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий для формирования периодизации развития аэрофотосъемочного оборудования и воссоздания целостной картины их эволюции.

Материалы и методы. Выполнен комплексный обзор литературы с использованием историко-аналитического метода для описания развития технологии аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий. Рассмотрены оригинальные работы отечественных и зарубежных авторов: монографии, научные журналы, материалы конференций, музейных выставок и фотоматериалы, находящиеся в открытом доступе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В период с 1858 по 1908 г. использование аэрофотосъемки представляло собой экспериментальную работу и было неэффективным до появления более устойчивых воздушных платформ и более совершенных средств аэрофотосъемки. В это время начинаются разработки портативных камер и их креплений к различным носителям, создаются первые аэрофотоснимки [6].

Значительный вклад в развитие аэрофотосъемки внесли воздухоплаватели, фотографы, изобретатели и экспериментаторы:

- Гаспар Феликс Турнашон – создатель первой в мире аэрофотографии;
- Джеймс Уоллес Блэк – первый аэрофотоснимок в Соединенных Штатах Америки (США);
- Уолтер Бентли Вудбери – разработка фотоаппарата, управляемого с земли через электрический кабель;
- Жан Никола Трушелю – первые аэрофотографии с использованием сухих пластин;
- Сесил Виктор Шэдболт – аэрофотосъемка с воздушного шара в Великобритании (*рис. 1*);
- Вячеслав Измайлович Срезневский – первая аэрофотосъемка специализированным фотоаппаратом в России;
- Александр Матвеевич Кованько – аэрофотосъемка Санкт-Петербурга;
- Эдмунд Дуглас Арчибалд и Артур Батут – аэрофотосъемка с воздушных змеев;
- Альфред Нобель и Альфред Мауль – аэрофотосъемка с ракет;
- Юлиус Густав Нойброннер – камеры для голубей.

На этом этапе технологические возможности аэрофотосъемки не позволяли их применять в сельском хозяйстве в связи с непостоянством получаемых данных.

При создании изображений использовались различные модели камер, отличающиеся по техническим и технологическим параметрам. Для аэрофотосъемки применяли мокрые коллодиевые пластины, сухие и стеклянные пластины. Размеры



Рис. 1. Сесил Шедболт (слева) и Уильям Дейл (справа) у воздушного шара с прикрепленной к корзине камерой (Исторический архив Англии) Historic England Archive (<https://historicengland.org.uk/images-books/photos/item/CVS01/01/023>)

Fig. 1. Cecil Shadbolt (left) and William Dale (right) posed in the basket of a gas balloon with a camera attached to the side of the basket. Historic England Archive. (<https://historicengland.org.uk/images-books/photos/item/CVS01/01/023>)

используемых пластин определяли формат изображения, который значительно варьировался в зависимости от модели камеры. На рисунке 2 представлены результаты анализа используемых форматов изображений в период первых экспериментальных разработок аэрофотоаппаратуры. Из диаграммы видно, что использовались как небольшие форматы изображений (8×8 и 6×9 см), так и крупные (24×24 и 20×25 см). Были определены форматы 18,5×16,7 и 24×24 см, соответствующие тем, которые были распространены в области аэрофотосъемки пленочными аэрофотоаппаратами в XX в.

Во время экспериментальных разработок в области аэрофотосъемочного оборудования была проведена первая съемка с воздуха, ставшая важной вехой в развитии технологии аэрофотосъемки. Одновременно в разных странах мира, в том числе в Российской империи, Франции и США, работали над созданием портативных камер и их креплений к воздушным шарам, воздушным змеям, ракетам и птицам. Развитие технологии было обусловлено рядом факторов, включая повышение чувствительности камер и надежности пластин, улучшение качества изображений и снижение стоимости фотоматериалов. В результате аэрофотосъемка стала больше подходить для использования в авиации.

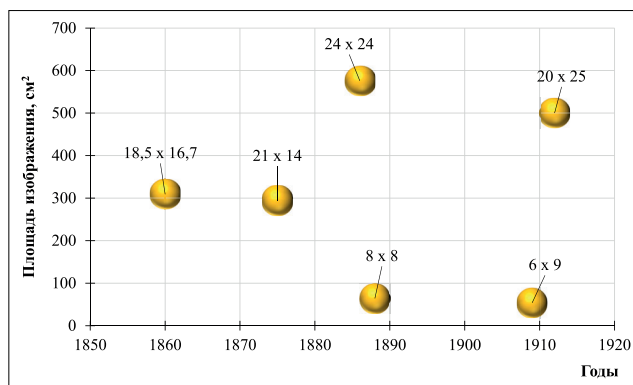


Рис. 2. Форматы изображений, которые использовались в начальный период экспериментов по созданию аэрофотоаппаратов

Fig. 2. Image formats used in the early experimental stages of aerial camera development

Развитие аэрофотосъемки привело к основанию Международного фотограмметрического общества (ISP) в 1910 г. профессором Венского технологического университета Эдуардом Долежалем. Советский союз вступил в эту организацию в 1968 г., на тот момент в нее входили 50 стран. В 1980 г. на конгрессе в Гамбурге ISP было переименовано в Международное общество фотограмметрии и дистанционного зондирования (ISPRS), данное название сохранилось до нашего времени.

В России фотоаппарат был установлен на борт самолета в 1910 г. В аэрофотоаппарате конструкции Сергея Алексеевича Ульянина использовались кассеты из шести стеклянных пластин размером 13×13 см. Появление первого пленочного полуавтоматического аэрофотоаппарата позволило создавать топографические карты достаточно высокого качества [8]. Аэрофотоаппарат Владимира Филипповича Потте имел перематываемую пленку и мог записать 50 последовательных снимков размером 13×18 см.

В Первую мировую войну фотография широко использовалась как средство документирования военных действий. Развитие аэрофотосъемки позволило по-новому увидеть и оценить тактику боя, а также продвинуться в области картографии. С 1921 г. накопленный опыт аэрофотосъемки стали применять в мирных целях, в том числе для картирования сельскохозяйственных полей [9].

В 1926-1928 гг. Государственное техническое бюро «Аэрофотосъемка» по заданию Центрального управления лесами Наркомзема РСФСР в масштабе 1:10 000 и 1:8 000 провело съемку в Марийской автономной области лесного массива площадью около 900 000 га к востоку от Козьмодемьянского кантона. Попутно проводилась аэрофотосъемка русла реки Волга. В эти годы Бюро вело аэрофотосъемку лесных территорий в Чувашской АССР.

Была частично проведена контурная аэрофотосъемка лесной площади Сурского массива и крестьянских земель, расположенных по границе и внутри массива, Бузулукского бора в Самарской губернии, хлопковых полей в Андижанском районе по заданию Узбекского хлопкового комитета [10]. При этом существовали сложности с организацией и проведением полетов, созданием и обработкой полученных изображений.

Цветная аэрофотосъемка впервые была выполнена в 1936 г. одновременно в СССР и в Канаде. И в том же году в США была поставлена задача создать полную и систематическую аэрофотосъемку сельскохозяйственных угодий страны [11].

В это время советскими учеными были разработаны аэрофотоаппараты АФА-33, сменившие камеру В.Ф. Потте. С огромным технологическим прогрессом в области пилотируемой авиации, аэрофотоаппаратуры, картографирования в первой половине XX в. аэрофотосъемка быстро стала инструментом реализации широкого круга операций, в том числе в сельскохозяйственном секторе [12].

Во время Второй мировой войны аэрофотосъемка стала обычным делом. Снимки, сделанные с неба, часто появлялись в газетах и журналах и были основным источником визуальной документации передвижения войск и состояния населенных пунктов. Кроме того, аэрофотосъемка сыграла ключевую роль в создании кинохроники и пропагандистских материалов. Для выполнения задач разведки, наблюдения и рекогносцировки стали использовать более компактные и быстрые самолеты. Прогресс в развитии технологии аэрофотосъемки позволил получать изображения на больших высотах и с большей скоростью, что расширило возможности сбора и использования полученной информации. В это время немецкие самолеты-разведчики регулярно проводили аэрофотосъемку советских городов и прилегающих территорий. Использовались пленочные аэрофотоаппараты немецкой компании *Carl Zeiss*. На изображениях 1942 г. легко различимы городские поселения, а также контуры сельскохозяйственных полей и лесных массивов (рис. 3).

В период с 1909 по 1945 г. произошел стремительный и значительный прогресс, обусловленный сменой военного и мирного времени. Были созданы пленочные камеры, работающие на высоких скоростях, и жесткие крепления для их установки на самолеты, что обеспечило необходимый угол съемки. Технологические достижения позволили применять аэрофотосъемку в различных сферах, включая решение сельскохозяйственных задач.

Во второй половине XX века Советский Союз активно развивал производство пленочных аэрофотоаппаратов [13]. В процессе развития технологии разработки камер произошел переход от черно-белой к



Рис. 3. Аэрофотосъемка с немецкого самолета недалеко от г. Серпухов, 1942 г.

Ресурсы сервиса RetroMap (<https://retromap.ru/>)

Fig. 3. Aerial photograph taken from a German airplane near the city of Serpukhov, 1942.

RetroMap service: <https://retromap.ru/>

цветной (RGB), инфракрасной и спектральной съемке. Одновременно с этим изменилась масса камер и были разработаны системы креплений и стабилизации камер на борту самолетов. Совершенствование средств аэрофотосъемки было направлено на повышение разрешения и точности изображений. Появление электронных приводов затвора ознаменовало значительный прогресс в разработке аэрофотоаппаратуры. Автоматизация оптических систем способствовала более точной фокусировке, экспозиции и наведению камер, что значительно повысило эффективность работы операторов и качество получаемых изображений. Одновременно с этим в качестве стандартов стали использоваться форматы кадра 18×18 и 23×23 см.

В результате исследования отмечена тенденция увеличения количества кадров на пленке вплоть до середины 1960-х г. (рис. 4). Это было обусловлено увеличением длины аэрофотопленки, изменением массогабаритных характеристик камер, совершенствованием технологии перфорации и закрепления пленки. Однако в 1970-1990-х гг. количество кадров на пленке аэрофотоаппарата уменьшилось. Это снижение было вызвано уменьшением размеров и массы камер в результате замены механических элементов на электронные.

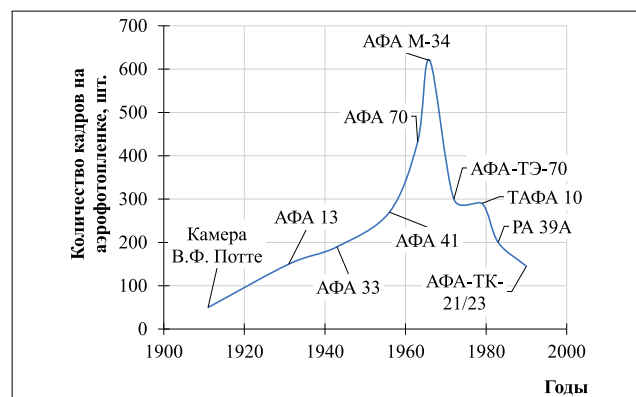


Рис. 4. Изменение количества кадров на аэрофотопленке
Fig. 4. Change in the number of frames on the aerial photographic film

Вместе с прогрессом в авиастроении и разработке аэрофотосъемочного оборудования развивались приборы и методы навигации при аэросъемке. На самолетах использовались приборы, позволяющие создавать аэросъемочные маршруты. В 1939 г. стали использовать дистанционный фотоэлектрический фотосъемочный компас, в 1948-1950 гг. – солнечно-теневые указатели, на смену которым пришли курсовые системы со специальными программными устройствами разворота [7].

Развитие космических технологий во второй половине XX в. способствовало интенсивной разработке аппаратуры для аэросъемки и их носителей. Цветное фотографирование стало новым средством изучения поверхности Земли и происходящих на ней явлений [14]. Появился термин «дистанционное зондирование», который предложила Эвелин Прюитт, так как понятие «аэрофотосъемка» больше не являлось адекватным термином для описания потоков данных, генерируемых новыми технологиями. В сельском хозяйстве начали применять спутниковые снимки (рис. 5), данные мультиспектральной аэросъемки, создавать вегетационные карты для оценки состояния растений [15].



Рис. 5. Карта сельскохозяйственного поля по спутниковым данным: слева съемка 1964 г.; справа – 1980 г. Ресурсы сервиса RetroMap: <https://retromap.ru/>
Fig. 5. Map of an agricultural field based on satellite data: left – image from 1964; right – image from 1980. RetroMap service: <https://retromap.ru/>

Для оценки растительности в 1969 г. был предложен относительный вегетационный индекс (*Ratio Vegetation Index – RVI*) [16]. Для его расчета необходимо определить отношение значений исследуемого участка в инфракрасном спектральном канале к значениям в красном канале. Чем выше полученное значение, тем больший процент растительности присутствует на исследуемом участке. Почва принимает значения близкие к 1.

К 1980-м годам достижения в области камер, их цифровизация, миниатюризация и другие технологии позволили увеличить доступность и расширить использование аэрофотосъемки. Наиболее значительными достижениями в технологии беспилотных камер стали разработка цифровых камер, подвесных систем стабилизации, матрицы нового

поколения (*CMOS*), а также стандарта сжатия изображений (*jpeg*).

К началу 2000-х годов разработанные технологии позволили устанавливать камеры на беспилотные воздушные суда взлетной массой до 30 кг. Такое техническое решение стали использовать для мониторинга сельскохозяйственных угодий (рис. 6).

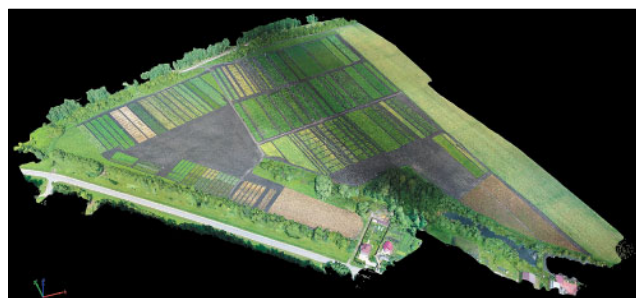


Рис. 6. Триангуляционная модель селекционного поля по данным аэрофотосъемки с БВС DJI Matrice 200 v2 и RGB камеры DJI Zenmuse X4S, 26 июля 2022 г., Орловская область. Фото из архива авторов
Fig. 6. Triangulation model of a plant breeding field based on aerial photography data captures by a DJI Matrice 200 v2 UAV equipped with a DJI Zenmuse X4S RGB camera, July 26, 2022, Oryol Region. Photo from the authors' archive

Проанализировано изменение разрешения цифровых камер видимого диапазона, устанавливаемых на квадрокоптерные БВС взлетной массой менее 30 кг, с 2012 года (рис. 7). За точку отсчета была выбрана камера GoPro, которую устанавливали на квадрокоптере DJI Phantom 1 в начале 2013 г. На графике видно, что за исследуемый период разрешение цифровых камер увеличилось в пять раз. Современные камеры DJI Zenmuse P1 с разрешением 45 Мп и Topodrone P61 с разрешением 61 Мп позволяют собирать высокодетализированные изображения при высоте полета 100-150 м. Увеличение

Разрешение цифровых камер увеличилось в пять раз. Современные камеры DJI Zenmuse P1 с разрешением 45 Мп и Topodrone P61 с разрешением 61 Мп позволяют собирать высокодетализированные изображения при высоте полета 100-150 м. Увеличение

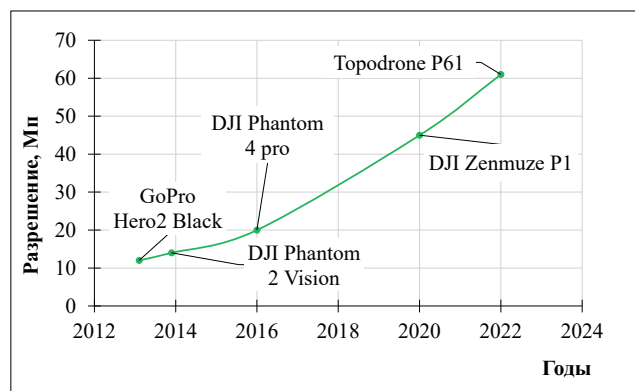


Рис. 7. Разрешение цифровых RGB камер, устанавливаемых на квадрокоптерные БВС взлетной массой менее 30 кг, в XXI веке
Fig. 7. Resolutions of digital RGB cameras for installation on quadcopter UAVs with a takeoff weight of less than 30 kg



высоты полета БВС и расстояния между смежными пролетами повышает производительность БВС до 100-120 га за один вылет.

Развитие микроэлектроники, цифровых носителей, аппаратного и программного обеспечения для управления камерой, создания и записи изображений значительно повлияло на развитие цифровых камер. В то же время камеры с механическим затвором сохранили свою востребованность в области аэрофотосъемки. Высокодетализированные цифровые карты, в том числе вегетационные карты, все больше используются вместе с технологиями искусственного интеллекта для решения сельскохозяйственных задач, например для оценки состояния растений [17], распознавания заболеваний растений [18], картирования сорной растительности [19], прогнозирования урожайности [20, 21], фенотипирования селекционных сортов [22, 23], подсчета растений [24] и др.

Анализ развития фотоносителей показал наличие схожих тенденций увеличения количества изображений в начале XX и начале XXI веков (рис. 8). В XIX – начале XX века аэрофотосъемка развивалась как новое направление, а с XXI века она развивается с помощью миниатюрных цифровых камер. В начале XX века замечено резкое увеличение количества изображений на фотоносителе, связанное с усовершенствованием пластин и конструкций камер. Это было обусловлено сочетанием технологических инноваций (развитие химической промышленности, механизация производства фо-

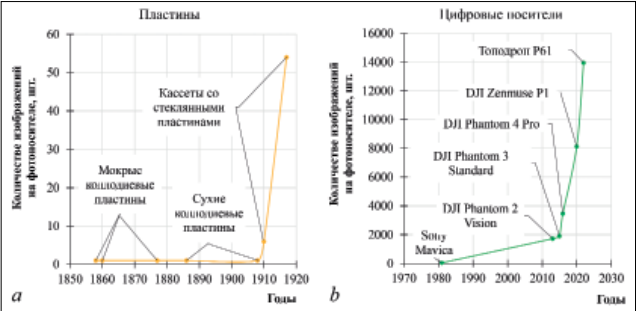


Рис. 8. Изменение количества изображений на фотоносителе: а – XIX – начало XX века; б – конец XX – начало XXI века

Fig. 8. Change in the number of images on the photographic media: a – 19th to early 20th century; b – late 20th to early 21st century

тографических материалов и камер, разработка новых типов объективов), научных открытий (исследования в области фотохимии, развитие теории оптики), экономических и социальных изменений (рост спроса на фотографию, развитие средств массовой информации). В начале XXI века тенденция на увеличение количества изображений связана с развитием полупроводниковых технологий, улучшением алгоритмов обработки изображений, интеграцией с искусственным интеллектом, а также научными исследованиями в области оптики, фотоники и нанотехнологий. Проведено сравнение средств аэрофотосъемки, используемых в XIX-XXI веках. (табл. 1).

Таблица 1 СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АППАРАТОВ ДЛЯ АЭРОФОТОСЪЕМКИ / COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF AERIAL PHOTOGRAPHY DEVICES				
Период использования	Преимущества	Недостатки	Примеры использования	Основные модели камер
Аэрофотоаппараты с мокрыми коллодиевыми пластинами				
Середина XIX в.	Высокое качество изображения, детализация	Сложность и необходимость немедленной обработки, хрупкость	Г.Ф. Турнашот, Д.У. Блэк	Камеры, изготовленные изобретателями
Аэрофотоаппараты с сухими пластинами				
Конец XIX – начало XX в.	Удобство использования по сравнению с мокрыми пластинами, возможность заранее подготовить пластины	Качество изображения ниже, чем с мокрыми пластинами, тяжесть, хрупкость, сложность обработки	А. Нобель, А.М. Кованько, У. Райт	Камера Ж.Н. Трушелло, Камера В.И. Срезневского
Пленочные аэрофотоаппараты				
Середина XX в.	Легкие, компактные, удобство использования, возможность съемки множества кадров без замены пленки	Ограниченное разрешение, необходима химическая обработка пленки	Бюро «Госаэрофотосъемка» в СССР Компания Aerofilm Ltd	АФА-33/75, Fairchild Aerial Camera (США), Carl Zeiss (Германия), S.F.O.M. (Франция)
Цифровые аэрофотоаппараты				
Конец XX – начало XXI в.	Высокое разрешение, удобство использования, возможность мгновенного просмотра и обработки данных, интеграция с геоинформационными системами	Высокая стоимость оборудования, необходимость программного обеспечения для обработки данных	БВС DJI Phantom, DJI Matrice	Камеры компаний DJI, Sony

Фотоаппараты для аэрофотосъемки претерпели значительные изменения за последние 166 лет (1858-2024 гг.) от использования мокрых коллоидных пластинок до современных цифровых камер, устанавливаемых на БВС. Каждый тип камер имеет свои преимущества и недостатки. Усовершенствование конструкций камер, фотоматериалов, метода фиксации и сохранения изображений способствовало развитию технологии аэрофотосъемки и расширило сферы применения получаемых данных.

Использование данных аэрофотосъемки для решения сельскохозяйственных задач началось с применения пленочных аэрофотоаппаратов, установленных на самолеты. Современные технологии позволяют с помощью миниатюрных камер, устанавливаемых на БВС, получать массив данных об исследуемых сельскохозяйственных биообъектах [25].

Ретроспективный анализ развития аэрофотоаппаратуры сельскохозяйственных земель показывает, что развитие происходило скачкообразно и было связано с политической, социальной и экономической ситуацией в стране и мире, уровнем развития технологий в смежных областях.

Выделено четыре основных этапа развития, связанных с изменением типа камер и летательных аппаратов, на которые они устанавливались (табл. 2, рис. 9).

На этапе первых экспериментальных разработок для аэрофотосъемки использовались различные летательные аппараты и объекты (воздушные шары и змеи, ракеты, птицы). На них устанавливали камеры, зачастую изготовленные самими экспериментаторами, разных конструкций, форматов и способов крепления.

Второй этап ознаменовался разработкой специализированных аэрофотоаппаратов, предназначен-



Рис. 9. Этапы развития средств аэрофотосъемки
Fig. 9. Stages of aerial photography equipment development

ных для установки на самолеты. Военные события в первой половине XX века ускорили развитие технологий аэрофотосъемки. Повсеместно стали использовать серийно выпускаемые пленочные аэрофотоаппараты. Опыт и успехи применения аэросъемки в боевых условиях интенсивно внедрялись при решении мирных задач, в том числе в сельском хозяйстве.

На третьем этапе развития средств аэрофотосъемки появился термин «дистанционное зондирование», так как «аэрофотосъемка» больше не являлась адекватным понятием для описания потоков данных, генерируемых новыми технологиями. На этом этапе произошло распространение и внедрение цветной и спектральной аэрофотосъемки, были запущены искусственные спутники Земли, оснащенные камерами. В сельском хозяйстве начали применять данные мультиспектральной аэросъемки, создавать вегетационные карты для оценки состояния растений.

Для четвертого этапа характерно использование цифровых камер. Значительный прогресс в разви-

Таблица 2		Table 2
ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ АЭРОФОТОАППАРАТУРЫ / STAGES OF DEVELOPMENT OF AERIAL PHOTOGRAPHY EQUIPMENT		
Годы	Период	
1858-1908	Первые экспериментальные разработки аэрофотоаппаратуры	
1909-1945	Проведение аэрофотосъемки с самолетов	
	1909-1918	Первая аэрофотосъемка с самолета и период Первой мировой войны
	1919-1938	Развитие аэрофотосъемки в гражданских целях
	1939-1945	Интенсификация аэрофотосъемки в период Второй мировой войны
1946-1979	Становление дистанционного зондирования Земли	
	1946-1971	Развитие цветной аэрофотосъемки
	1972-1979	Начало спутникового зондирования Земли
1980-2024	Развитие цифрового аэрофотоаппарата и беспилотных технологий	
	1980-2012	Установка камер на самолётный тип БВС
	Январь-сентябрь 2013	Установка миниатюрной камеры на квадрокоптер взлетной массой до 30 кг
	Октябрь 2013-2024	Интегрирование камеры в квадрокоптер взлетной массой до 30 кг

тии средств аэрофотосъемки был достигнут в 2010-х годах с началом массового выпуска миниатюрных камер. В 2013 г. они были установлены на квадрокоптеры со взлетной массой менее 30 кг, но управление камерой с пульта управления дрона все еще было невозможно. В конце 2013 г. камера была интегрирована в систему управления полетом БВС, что повысило точность получаемых изображений.

Дальнейшее развитие цифровых камер возможно в области их гибридизации, увеличения разрешающей способности и внедрения технологий искусственного интеллекта для анализа состояния сельскохозяйственных биообъектов в режиме реального времени. Совершенствование аэрофотоаппаратуры будет способствовать увеличению производительности БВС, снижению стоимости съемки гектара сельскохозяйственных полей и стремительному распространению технологии цифрового мониторинга в аграрной сфере.

Выводы. За 166 лет развития средства аэрофотосъемки претерпели множество изменений, включая изменение фотоносителя, пространственное и спектральное разрешение, массы и методов их крепления и стабилизации, типы и приводы затворов, появились инерциальный блок управления, встроенные приемники GPS/ГЛОНАСС, сенсоры освещенности у мультиспектральных камер.

По результатам ретроспективного анализа выделено четыре основных этапа развития средств аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель: 1858-1908 годы – первые экспериментальные разработки аэрофотоаппаратуры; 1909-1945 годы –

проведение аэрофотосъемки с самолетов, включая (1909-1918) первая аэрофотосъемка с самолета и период Первой мировой войны, (1919-1938) развитие аэрофотосъемки в гражданских целях, (1939-1945) интенсификация аэрофотосъемки в период Второй мировой войны; 1946-1979 годы – становление дистанционного зондирования Земли, включая (1946-1971) развитие цветной аэрофотосъемки, (1972-1979) начало спутникового зондирования Земли.

Период с 1980 г. по настоящее время отмечен развитием цифрового аэрофотоаппарата и беспилотных технологий, включая (1980-2012) установку камер на самолетный тип БВС (январь-сентябрь 2013) установку миниатюрной камеры на квадрокоптер взлетной массой до 30 кг, (октябрь 2013 г. по настоящее время) интегрирование камеры в квадрокоптер взлетной массой до 30 кг.

Установлено, что в настоящее время в аграрной сфере наиболее эффективным инструментом для мониторинга сельскохозяйственных угодий рассматриваются цифровые аэрофотоаппараты, в частности камеры видимого диапазона и мультиспектральные камеры.

Тенденции развития камер свидетельствуют о дальнейшем увеличении пространственного разрешения и их гибридизации, интеграция технологий искусственного интеллекта. Разработка и продвижение таких технологических решений будет способствовать повышению эффективности и доступности БВС, а также ускорит распространение технологии цифрового дистанционного зондирования в сельскохозяйственной сфере.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Deng L., Mao Z., Li X. et al. UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: a comparison between different cameras. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2018. N146. 124-136. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.09.008.
2. 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. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
3. 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. N4(298). С. 2-6. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-4-2-6.
4. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электро-технологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45. EDN: RLCDHO.
5. Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В. Перспективы развития методов и технических средств защиты сельскохозяйственных растений // *Агроинженерия*. 2021. N1(101). С. 26-35. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-26-35.
6. Skoog A.I. The Alfred Nobel rocket camera. An early aerial photography attempt. *Acta Astronautica*. 2010. N66 (3-4). 624-635. DOI: 10.1016/j.actaastro.2009.06.011.
7. Лаврова Н.П., Стеценко А.Ф. Аэрофотосъемка. Аэрофотосъемочное оборудование. М.: Недра, 1981. 296 с.
8. Кусов В.С. История аэрофотосъемки в фотографиях: славянский вклад // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. 1992. N6. С. 54-61.
9. Галушина П.С., Кравчук А.А. Применение авиации в сельском хозяйстве Российской Федерации // *Аграрное образование и наука*. 2023. N2. С. 8.
10. Бонч-Бруевич М.Д. Аэрофотосъемка на службе социалистического хозяйства. М.; Л.: Главная редакция общетехнических дисциплин, 1934. 135 с.
11. Monmonier M. Aerial photography at the Agricultural Adjustment Administration: acreage controls, conservation benefits, and overhead surveillance in the 1930s. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2002.

- Vol. 68. N12. 1257-1261 (In English).
12. Bondarev V., Ruday O., Baryshnikova O. Aviation in the agricultural sector: experiments with aviation in the USSR in the 1930-s. *E3S Web of Conferences*. 2021. 273. 07016. DOI: 10.1051/e3sconf/202127307016.
 13. Евдокимов Ю.В., Кузьмин В.М. Развитие аэрофото-съемочных работ в России (СССР) в 60-х-90-х гг. // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэро-фотосъемка*. 1992. N 6. С. 172-176. EDN: WWPCKD.
 14. Валях В.М. Аэрофотографические и методы при ин-женерно-геологических исследованиях. М.: Недра, 1982. 261 с.
 15. Mulla D.J. Twenty five years of remote sensing in preci-sion agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems engineering, special issue: Sensing Tech-nologies for Sustainable Agriculture*. 2014. N114(4). 358-371. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009.
 16. Jordan C.F. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. *Environmental Science. Ecology*. 1969. N50(4). 663-666. DOI:10.2307/1936256.
 17. Курбанов Р.К., Захарова Н.И., Захарова О.М., Горшков Д.М. Оценка перезимовки всходов селекционной озимой пшеницы с помощью БПЛА // *Инновации в сель-ском хозяйстве*. 2019. N3(32). С. 133-139. EDN: YYRCTL.
 18. Kouadio L., Jarroudi M., Belabess Z. et al. A review on UAV-based applications for plant disease detection and monitoring. *Remote Sensing*. 2023. N15(17). 4273. DOI: 10.3390/rs15174273.
 19. Zhao J., Berge T.W., Geipel J. Transformer in UAV image-based weed mapping. *Remote Sensing*. 2023. N15(21). 5165. DOI: 10.3390/rs15215165.
 20. Maimaitijiang M., Sagan V., Sidike P. et al. Soybean yield prediction from UAV using multimodal data fusion and deep learning. *Remote Sensing of Environment*. 2020. N237. 111599. DOI:10.1016/j.rse.2019.111599.
 21. Rodriguez-Sanchez J., Li C., Paterson A.H. Cotton yield estimation from aerial imagery using machine learning approaches. *Frontiers in Plant Science*. 2022. N26(13). 870181. DOI: 10.3389/fpls.2022.870181.
 22. Xie C., Yang C. A review on plant high-throughput phenotyping traits using UAV-based sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. N178. 105731. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105731.
 23. Roth L., Barendregt C., Bétrix C.A. et al. High-through-put field phenotyping of soybean: spotting an ideotype. *Remote Sensing of Environment*. 2022. N269. 112797. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112797.
 24. Zhang J., Zhao B., Yang C. et al. Rapeseed stand count estimation at leaf development stages with UAV imagery and convolutional neural networks. *Frontiers in Plant Science*. 2020. N11. 617. DOI: 10.3389/fpls.2020.00617.
 25. Личман Г.И., Коротченя В.М., Смирнов И.Г., Курба-нов Р.К. Концепция точного земледелия на основе по-нятий идеального поля и цифрового двойника // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. N67. 3(40). С. 81-86. DOI: 10.22314/2658-4859-2020-67-3-81-86.

REFERENCES

1. Deng L., Mao Z., Li X., et al. UAV-based multispectral remote sensing for precision agriculture: a comparison between different cameras. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2018. N146. 124-136 (In English). DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.09.008.
2. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021. Vol. 15. N4. 6-10 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.
3. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Shog-enov Yu.Kh. 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). DOI: 10.33267/2072-9642-2022-4-2-6.
4. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Digitiza-tion aspects of the system of technologies and machines. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agri-culture*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian). EDN: RLCDHO.
5. Dorokhov A.S., Starostin I.A., Eschin A.V. Development prospects for methods and technical means of farm crop protection. *Agricultural Engineering*. 2021. N1 (101). 26-35. (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-1-26-35.
6. Skoog A.I. The Alfred Nobel rocket camera. An early aerial photography attempt. *Acta Astronautica*. 2010. N66(3-4). 624-635 (In English). DOI: 10.1016/j.actaas-tro.2009.06.011.
7. Lavrova N.P., Stetsenko A.F. Aerial photography. *Aerial photography equipment*. Moscow: Nedra. 1981. 296 (In Russian).
8. Kusov V.S. History of aerial photography in photographs: Slavic contribution. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aero-photosurveying*. 1992. N6. 54-61 (In Russian).
9. Galushina P.S., Kravchuk A.A. The use of aviation in ag-riculture of the Russian Federation. *Agrarian education and science*. 2023. N2. С. 8 (In Russian).
10. Bonch-Bruevich M.D. Aerial photography in the socia-list economy. 1934. 135 (In Russian).
11. Monmonier M. Aerial photography at the Agricultural Adjustment Administration: acreage controls, conserva-tion benefits, and overhead surveillance in the 1930s. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2002. Vol. 68. N12. 1257-1261 (In English).
12. Bondarev V., Ruday O., Baryshnikova O. Aviation in the agricultural sector: experiments with aviation in the USSR in the 1930-s. *E3S Web of Conferences*. 2021. 273. 07016 (In English). DOI: 10.1051/e3sconf/202127307016.
13. Evdokimov Yu.V., Kuz'min V.M. Development of aerial

- photography in Russia (USSR) in the 60s-90s. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 1992. N6. 172-176 (In Russian). EDN: WWPCKD.
14. Valyakh V.M. Aerial Photographic and scanner-based aerial methods in engineering geological studies. Moscow: Nedra. 1982. 261 (In Russian).
 15. Mulla D.J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems engineering, special issue: Sensing Technologies for Sustainable Agriculture*. 2014. N114(4). 358-371 (In English). DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009.
 16. Jordan C.F. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. *Environmental Science. Ecology*. 1969. N50(4). 663-666 (In English). DOI: 10.2307/1936256.
 17. Kurbanov R.K., Zakharova N.I., Zakharova O.M., Gorshkov D.M. Assessment of seedlings breeding winter wheat after overwintering using UAVS. *Innovations in Agriculture*. 2019. N3(32). 133-139 (In Russian). EDN: YYRCTL.
 18. Kouadio L., Jarroudi M., Belabess Z. et al. A review on UAV-based applications for plant disease detection and monitoring. *Remote Sensing*. 2023. N15(17). 4273 (In English). DOI: 10.3390/rs15174273.
 19. Zhao J., Berge T.W., Geipel J. Transformer in UAV image-based weed mapping. *Remote Sensing*. 2023. N15(21). 5165 (In English). DOI: 10.3390/rs15215165.
 20. Maimaitijiang M., Sagan V., Sidike P. et al. Soybean yield prediction from UAV using multimodal data fusion and deep learning. *Remote Sensing of Environment*. 2020. N237. 111599 (In English). DOI:10.1016/j.rse.2019.111599.
 21. Rodriguez-Sanchez J., Li C., Paterson A.H. Cotton yield estimation from aerial imagery using machine learning approaches. *Frontiers in plant science*. 2022. N26(13). 870181 (In English). DOI:10.3389/fpls.2022.870181.
 22. Xie C., Yang C. A review on plant high-throughput phenotyping traits using UAV-based sensors. *Computers and electronics in agriculture*. 2020. N178. 105731 (In English). DOI: 10.1016/j.compag.2020.105731.
 23. Roth L., Barendregt C., Bétrix C.A. et al. High-throughput field phenotyping of soybean: spotting an ideotype. *Remote sensing of environment*. 2022. N269. 112797 (In English). DOI: 10.1016/j.rse.2021.112797.
 24. Zhang J., Zhao B., Yang C. et al. Rapeseed stand count estimation at leaf development stages with UAV imagery and convolutional neural networks. *Frontiers in Plant Science*. 2020. N11. 617 (In English). DOI: 10.3389/fpls.2020.00617.
 25. Lichman G.I., Korotchenya V.M., Smirnov I.G., Kurbanov R.K. A concept of precision farming based on the notions of the ideal field and digital twin. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2020. N67. 3(40). 81-86 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2020-67-3-81-86.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Курбанов Р.К. – обработка данных;
 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.

Coauthors' contribution:

Kurbanov R.K. – data processing;
 Tsench Yu.S. – scientific supervision, formulation of research objectives;
 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

03.12.2024
 20.02.2025

EDN: NBLONZ

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-96-102



Обзорная статья

УДК 62.115:631.517:631.3.004.67



Сравнительный анализ технико-экономических и эксплуатационных характеристик тракторов Беларус 2122 и Zoomlion PL2304

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

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

Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Реферат. На российском рынке в последние годы появилось много новой сельскохозяйственной техники, в частности тракторов из КНР. Для определения их эксплуатационных свойств необходимы статистические данные о надежности, теоретические и полевые исследования, сертификационные испытания на государственных машиноиспытательных станциях. (*Цель исследования*) Анализ российского рынка сельскохозяйственной техники, в том числе китайских производителей, технико-экономических и эксплуатационных свойств тракторов с использованием скоростных характеристик двигателей. Оценка влияния площади опорной поверхности колес на касательную силу тяги и тяговые показатели трактора. (*Материалы и методы*) На основе ранее выполненных теоретических исследований проведено сравнение эксплуатационных свойств различных тракторов китайских компаний с тракторами белорусского производства. Исследование и анализ эксплуатационных свойств тракторов *Беларус 2122.3* и *Zoomlion PL2304* с культиватором ИМТ 616.16 проводили во время полевых испытаний. Для этого использовали расчетный, расчетно-конструктивный, экономико-математический метод, а также сравнения, измерения, описания. (*Результаты и обсуждение*) Определены эксплуатационные свойства агрегатов и влияние на них скоростных характеристик двигателей, влияние размерности ходовых колес на реализацию тяговых свойств тракторов. На основании сравнительных расчетов можно сделать выводы об эффективности использования трактора. (*Выводы*) Техничко-экономические показатели трактора *Zoomlion PL2304* (эксплуатационная масса, мощность двигателя, энергонасыщенность, масса балластных грузов, удельный расход топлива, диапазон рабочих передач коробки переключения) позволяют более эффективно реализовать основные эксплуатационные свойства – производительность и расход топлива.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, санкции, технический потенциал, российский рынок, скоростные характеристики, крутящий момент, удельное сопротивление, тяговое сопротивление, тяговые свойства, производительность, культивация.

■ **Для цитирования:** Иовлев Г.А., Голдина И.И. Сравнительный анализ технико-экономических и эксплуатационных характеристик тракторов Беларус 2122 и Zoomlion PL2304 // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 96-102. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-96-102. EDN: NBLONZ.

Review article

Comparative Analysis of Technical, Economic and Operational Properties of Belarus 2122 and Zoomlion PL2304

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

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

Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russian Federation

Abstract. In recent years, various types of agricultural machinery, particularly Chinese-manufactured tractors, have entered the Russian market. Assessing their operational properties requires statistical data on reliability, theoretical and field studies, as well as certification tests conducted at state machine-testing stations. (*Research purpose*) To analyze the Russian agricultural machinery market, including Chinese manufacturers, and assess the technical, economic, and operational properties of tractors based on engine speed characteristics; to evaluate the impact of the wheel contact area on traction tangential force and overall traction performance. (*Materials and methods*) Building on previous theoretical studies, a comparative analysis of the operational

properties of Chinese- and Belarusian-manufactured tractors was conducted. Field tests were carried out to evaluate the operational properties of the *Belarus 2122.3* and *Zoomlion PL2304* tractors, in combination with the IMT 616.16 cultivator. The research employed a combination of computational, structural-design, and economic-mathematical methods, as well as comparison, measurement, and descriptive techniques. (*Results and discussion*) The operational characteristics of the tractor-implement units and the influence of engine speed characteristics on their performance were determined. Additionally, the effect of wheel size on the realization of tractor tractive properties was examined. Comparative calculations provided insights into tractor efficiency. (*Conclusions*) The technical and economic indicators of the *Zoomlion PL2304* tractor, such as operating weight, engine power, energy saturation, ballast weight, specific fuel consumption, and gearbox working range, contribute to the more efficient utilization of key operational properties, particularly productivity and fuel consumption.

Keywords: agricultural machinery, sanctions, technical potential, Russian market, speed characteristics, torque, specific resistance, traction resistance, tractive properties, productivity, cultivation, tillage.

■ **For citation:** Iovlev G.A., Goldina I.I. Comparative analysis of technical, economic and operational properties of Belarus 2122 and Zoomlion PL2304. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 96-102 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-96-102. EDN: NBLONZ.

В условиях санкций на российский рынок в последние годы практически прекращены прямые поставки полнокомплектной сельскохозяйственной техники, запасных частей, узлов и агрегатов от ведущих производителей из Европы и Северной Америки. В то же время продолжается эксплуатация ранее приобретенной сельхозтехники западных марок. Например, в Свердловской области это 10,3% тракторов (480 ед.) в основном *CASEIH, Deutz-Fahr, New Holland*, из которых 12,9% эксплуатируются за пределами срока амортизации; зерноуборочных комбайнов – 11,9% (97 ед.) в основном *Claas, New Holland*, из которых 25,8% за пределами амортизации; кормоуборочных комбайнов – 18,6% (68 ед.) в основном *Claas, New Holland*, за пределами амортизации – 27,9% (Источник: материалы отчетов Министерства агропромышленного комплекса и потребительского рынка Свердловской области).

Цель исследований. Выполнить сравнительный анализ технико-экономических показателей и эксплуатационных свойств тракторов *Беларус 2122* и *Zoomlion PL2304*, оценить возможности их эксплуатации.

Материалы и методы. Данные отчетов Министерства агропромышленного комплекса и потребительского рынка Свердловской области по наличию основных видов сельскохозяйственной техники, руководства по эксплуатации тракторов *Беларус 2122, Zoomlion PL2304* и культиватора ИМТ 616.16. Проанализированы исследования отечественных и зарубежных специалистов. Методы исследований: расчетный, расчетно-конструктивный, экономико-математический, сравнения, измерения, описания.

Результаты и обсуждение. Для эффективного ведения аграрного производства необходимо технический потенциал отрасли, во-первых, доводить до нормативных показателей обеспеченности, во-вто-

рых, серьезно обновлять его. В результате ухода европейских и американских брендов на отечественном рынке появилась техника из азиатских стран, особенно активно ее продвигают компании из КНР. На 1 января 2024 г. в сельскохозяйственном производстве России доля китайских тракторов составила 0,9%.

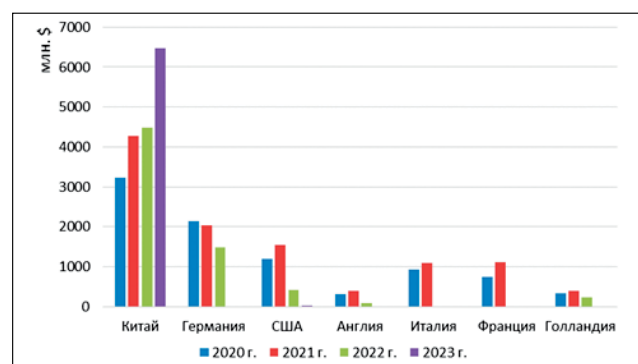
Особенность сельскохозяйственного машиностроения Китая заключается в ориентации на потребности доминирующего мелкотоварного производства. Это тракторы малого тягового класса, зерноуборочные комбайны с малой пропускной способностью молотильно-сепарирующего устройства. И только с освобождением ниши на российском рынке китайские предприятия начали разрабатывать и производить тракторы с мощностью двигателя 300 л.с. и выше. В тракторостроительной отрасли Китая занято множество государственных корпораций и частных компаний с объемами производства от нескольких тысяч до сотен тысяч единиц техники.

В России представлены следующие китайские бренды тракторов:

- *Lovol Heavy Industry Co., Ltd.* – тракторы мощностью от 82 л.с. (*Lovol TD824*) до 220 л.с. (*Lovol TR2204*);
- *YTO Group Corporation* – тракторы от 90 л.с. (*YTO-X904*) до 160 л.с. (*YTO-ELG1604*);
- *Changzhou Dongfeng Agricultural Machinery Group Co., Ltd (Dongfeng)* – тракторы от 80 л.с. (*DF-804C*) до 180 л.с. (*DF-1804C*);
- *Xuzhou KAT Agricultural Equipment Co., Ltd.* – тракторы от 140 л.с. (*KAT 1404-A*) до 440 л.с. (*KAT 4404*);
- *Zoomlion Agriculture Machinery Co., Ltd.* – тракторы от 90 л.с. (*RN 904*) до 230 л.с. (*PL 2304*);
- *Shifeng Group Co., Ltd.* – тракторы от 90 л.с. до 130 л.с. (*TA-904C, TD-1304C*);
- *Jiangsu Changfa Agricultural Equipment Co., Ltd.* тракторы от 90 л.с. (*CFG904B*) до 140 л.с. (*CFG1404B*).

Необходимо отметить, что перечисленные компании имеют обширный опыт исследований, разработки, производства и продажи агротехники с 1950-х и 1990-х годов, активно работают и новые предприятия, созданные в 2010-х годах.

Динамика импорта агротехники на рынок России показывает, что поставки из Китая за последние годы увеличились в 2 раза (рис. 1). Данные рассчитаны по группе товаров ТН ВЭД 8701 (тракторы) в общем объеме импорта из КНР, ЕС и США.



Источники: URL: https://dzen.ru/a/ZJwPPH9xG_KXGwQ; URL: https://rosstat.gov.ru/statistics/vneshnyaya_torgovlya. Дата обращения 24.08.2024 г.

Рис. 1. Динамика импортных поставок сельскохозяйственной техники в РФ

Fig. 1. Dynamics of agricultural machinery imports to the Russian Federation

Из всего разнообразия поставляемой из Китая техники российским агропроизводителям трудно выбрать необходимый трактор из-за отсутствия практической информации по надежности, работоспособности, ремонтнопригодности, эксплуатационным свойствам.

Эксплуатационные свойства у тракторов любых тяговых классов, особенно с механической трансмиссией (КПП), во многом зависят от запаса крутящего момента двигателя. Этот показатель позволяет судить о возможности агрегата (трактор + сельскохозяйственная машина) преодолевать временное сопротивление без переключения передачи или остановки двигателя. В классе тракторов 220-240 л.с. показатели у западных моделей более высокие – от 32% (*Case IH Puma 225*) до 38% (*Fendt 724 Vario*), у китайских от 26% (*YTO LX 2204*) до 36% (*Zoomlion PL2304*), у трактора *Беларус 2122.3* – 30%.

Для анализа свойств тракторов использованы данные отечественных ученых по исследованию следующих вопросов:

- скоростные характеристики двигателей;
- влияние балластирования и установки сдвоенных колес на тяговые свойства тракторов;
- влияние давления в шинах, нагрузки, передаваемой движителями на почву, на плотность почвы и на тяговое сопротивление машины;

- рекомендации по конструктивному и компоновочному решению трактора с электроприводным силовым агрегатом.

В отношении скоростных характеристик двигателей Журавлёв С.Ю. сделал вывод, что оптимальные параметры и режимы работы двигателя основываются на «расчетных значениях вероятностно-статистических оценок энергетических и технико-экономических показателей» в результате воздействия «переменной нагрузки, имеющей вероятностно-статистический характер своих значений, непрерывно и хаотично изменяющихся во времени» [1]. Причинами этого служат неровная поверхность поля, неравномерность влажности и состава почвенного слоя, колебания рабочего сопротивления агрегируемых машин-орудий». Автор отмечает: «Оптимальные с точки зрения максимальных средних значений мощности и расхода топлива режимы расположены в области характеристики дизеля на участке от номинального значения крутящего момента до предельного значения момента».

Многие специалисты занимаются исследованием влияния балластирования, установки сдвоенных колес на тяговые свойства тракторов. Так, на примере трактора К-744Р2 обосновано, что установка сдвоенных колес позволяет заметно улучшить параметры тяговой характеристики [2]. Был сделан вывод о том, что «выбор наиболее рациональной величины эксплуатационной массы трактора и установка сдвоенных колес дают возможность существенно увеличить эффективность его использования при выполнении различных технологических операций в составе агрегата».

Стеновский В.С. и др. рассматривают возможности улучшения технологичности движителей путем установки колес с «большим диаметром и увеличенной шириной профиля шины», что обеспечивает повышение сцепных качеств за счет увеличения площади контакта с почвой. Приводятся данные по изменению глубины колеи, сопротивлению движению, касательной силы тяги при движении колесного трактора на сдвоенных колесах и одном колесе [3].

Ворохобин А.В. с соавт. рассматривают создание «дополнительной движущей силы агрегатов» пристыковкой «к трактору на жесткой или шарнирной основе ... дополнительного ведущего моста». Предложена методика сравнения тягово-сцепных свойств трехосного и двухосного полноприводных тракторов [4].

Ревенко В.Ю. с соавт. пришли к выводу, что для определения «уровня воздействия движителей на почву ... достаточно знать вес трактора, вес балластных грузов, типоразмер шин, их статический радиус и величину внутришинного давления» [5].

В работе Зернова В.Н. и др. отмечены недостатки универсально-пропашных тракторов и для их устранения рассматривается возможность создания «моделей тракторов новой компоновочной схемы – с колесами одинакового размера, с измененной развесовкой и смещением кабины в середину колесной базы энергосредства» [6].

Много исследований посвящены влиянию параметров шин на удельное давление колес на почву [7-10].

Особенно хотелось бы выделить исследование, в котором определена закономерность зависимости сопротивления почвы (плотности) от уплотняющей нагрузки [7]. Сделан вывод: «Предельное значение нормального давления под движителями машин, занятых на полевых работах, следует ограничить до 150-175 кПа в зависимости от исходного состояния почвы плотностью 1,00-1,08 г/см³. Экологический порог нормального давления не должен превышать 120-135 кПа. Отметим, что в нашем исследовании нормальная нагрузка, передаваемая движителям тракторов *Zoomlion PL2304* и *Беларус 2122.3* на почву составляет 143,2 кПа, что соответствует плотности почвы 1,23 г/см³.

Также изучалось удельное давление колеса на почву, связь его с сопротивлением качению тракторного колеса и давлением воздуха в шине [8]. В исследовании Бижаева А.В. обосновано компоновочное и конструктивное решение тракторов для тепличных хозяйств и других крытых помещений в АПК, с учетом снижения давления на почву и улучшения потребительских свойств трактора [11].

С появлением на отечественном рынке тракторов китайского производства на кафедре «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования в АПК» Уральского ГАУ проведены полевые и теоретические исследования с целью сравнения эксплуатационных свойств тракторов китайского производства между собой и тракторами *Беларус* [12-14]:

- анализ эксплуатационных свойств тракторов белорусско-российского и китайского производства *Беларус 1025* и *Zoomlion RN1104*;
- исследование эксплуатационных свойств тракторов *Беларус 2122.6* и *Zoomlion PL2304*;
- место и роль трактора тягового класса 1,4 т в сельскохозяйственном производстве России (*Беларус 82.3* и *Lovol TD824*);
- сравнительный анализ тракторов соответствующих тяговых классов *Беларус*, *Zoomlion*, *YTO*, *Lovol*;
- сравнительный анализ тракторов соответствующих тяговых классов *Zoomlion* и *YTO*.

Эксплуатационные свойства тракторов *Zoomlion PL2304* и *Беларус 2122* были изучены во время весенне-полевых работ в 2023 г. при выполнении технологической операции культивации в агрегате с культиватором ИМТ 616.16.

Для оценки эксплуатационных свойств построены скоростные характеристики с использованием формул (1)-(3) [URL: <https://studizba.com/lectures/inzheneriya/avtomobili/35553-dvigatel-i-ego-harakteristiki.html>. Дата обращения 22.08.2024]:

- эффективная мощность

$$N_e = N_{\max} \left[0,53 \frac{\omega_e}{\omega_N} + 1,56 \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 - 1,09 \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right]; \quad (1)$$

- эффективный крутящий момент

$$M_e = 1000 \frac{N_e}{\omega_e}; \quad (2)$$

- максимальный крутящий момент

$$M_{\max} = 1090 \frac{N_{\max}}{\omega_N}, \quad (3)$$

где $N_{\max}$ – максимальная мощность, кВт; ω_e – промежуточная угловая скорость; ω_N – угловая скорость коленчатого вала, соответствующая максимальной мощности, рад/с.

Результаты теоретических расчетов представлены на рисунке 2.

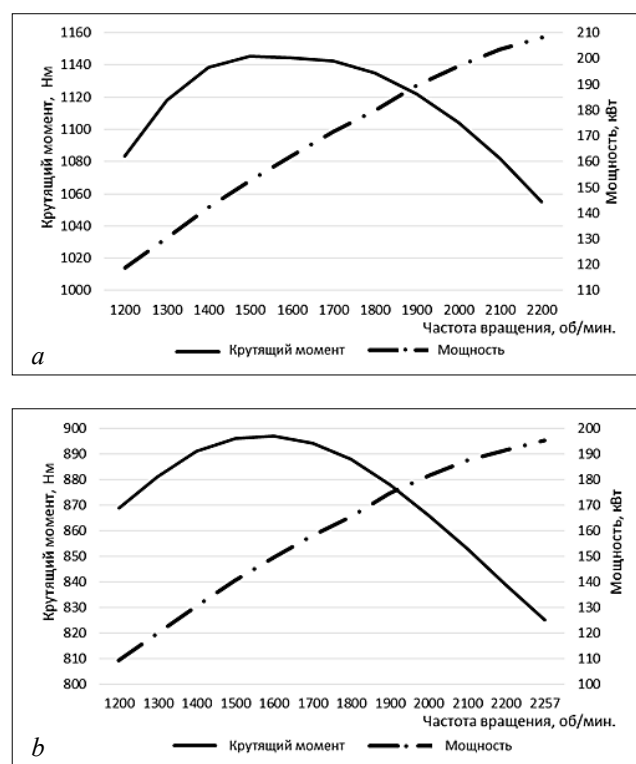


Рис. 2. Скоростные характеристики двигателя тракторов: а – *Zoomlion PL2304*; б – *Беларус 2122.3*

Fig. 2. Speed characteristics of engine: а – *Zoomlion PL2304*; б – *Belarus 2122.3*

Крутящий момент M_e у трактора *Zoomlion PL2304* поддерживается практически на одном уровне в диапазоне от 1400 до 1700 об/мин, сохраняя запас. Это будет сказываться положительно на реализации тяговых свойств трактора. У двигателя трактора *Беларус 2122.3* крутящий момент имеет явно выражен-

ный максимум при частоте вращения 1600 об/мин. Из представленной информации можно сделать предварительный вывод о том, что при использовании запаса крутящего момента, его «выровненности» показатели производительности, расхода топлива и других показателей, у трактора *Zoomlion PL2304* будут предпочтительнее.

При определении эксплуатационных свойств тракторов использованы технико-экономические показатели:

- эксплуатационная масса *Zoomlion PL2304* – 8575 кг, диапазон передач – 0,65–40 км/ч, масса передних противовесов (26 шт. по 45 кг) – 1170 кг. Возможность установки спаренных задних колес (комплект с колесами 1025 кг);
- эксплуатационная масса культиватора ИМТ 616.16 – 2570 кг, ширина захвата – 9,6 м;
- эксплуатационная масса *Беларус 2122.3* – 8390 кг, диапазон передач 1,9–39,6 км/ч. Для балластирования можно использовать: кронштейн для грузов – 105 кг; грузы: 10 грузов по 45 кг + 2 груза по 40 кг; буксирное устройство – 5 кг. Возможность установки спаренных задних колес (комплект с колесами – 1189 кг).

Исходные данные для расчетов:

- удельное сопротивление – 1,7 кН/м;
- коэффициент сопротивления перекачиванию – 0,15;
- запас тягового усилия 7,5%;
- для расчетов выбраны возможно более высокие скорости в соответствии с агротехническими требованиями;
- тяговое сопротивление культиватора ИМТ 616.16:

$$R_a = 9,6 \cdot 1,7 + 0,15 \cdot 25,2 = 16,32 + 3,78 = 20,1 \text{ кН.}$$

Для определения эксплуатационных свойств трактора *Zoomlion PL2304* предусмотрены 14 вариантов балластирования; оптимальным является агрегатирование трактора с 14-ю грузами по 45 кг. Часовая производительность – 7,69 га/ч, удельный расход топлива – 2,48 кг/га.

Для трактора *Беларус 2122.3* предложены 8 вариантов догрузки балластными грузами; оптимальным является использование трактора без балластных грузов. Часовая производительность – 7,41 га/ч, удельный расход топлива – 2,68 кг/га.

В результате сравнительного анализа выявлено, что производительность агрегата культиватора ИМТ 616.16 с трактором *Zoomlion PL2304* выше, чем с трактором *Беларус 2122.3* на 3,8%, расход топлива ниже на 7,5%.

На эксплуатационные, тяговые свойства трактора значительное влияние оказывает касательная сила тяги, которая в свою очередь зависит от величины крутящего момента двигателя, эксплуатационной массы трактора, площади опорной поверхности колес. Касательная сила тяги направлена на преодоление сопротивления качению движителя и

тягового сопротивления агрегата.

Касательная сила тяги зависит от момента, приложенного к ведущим колесам, и силы сцепления колеса с почвой. Сила сцепления колеса с почвой зависит от удельного давления колеса на почву, на которое в свою очередь влияют доля эксплуатационной массы, приходящейся на одно колесо, площадь пятна контакта колес моста. Для сравнения тяговых свойств тракторов используем понятие «индекс тягового усилия», представленный как произведение крутящего момента двигателя и удельного давления на почву (Иовлев Г.А., Несговоров А.Г., Зорков В.С. и др. Оценка эксплуатационных свойств зарубежных сельскохозяйственных тракторов. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ГАУ, 2020. 189 с.).

Результаты расчетов по определению тяговых свойств тракторов *Zoomlion PL2304* и *Беларус 2122.3*

Таблица		Table
ХАРАКТЕРИСТИКА ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ ТРАКТОРОВ CHARACTERISTICS OF TRACTIVE AND COUPLING PROPERTIES OF TRACTORS		
Показатель	<i>Zoomlion PL2304</i>	<i>Беларус 2122.3</i>
Крутящий момент двигателя, Нм	1150	900
Эксплуатационная масса, кг, приходящаяся: на передний мост на задний мост	3625 4950	3342 5048
Размерность: передних колес задних колес	420/90R30 520/85 R42	420/70R24 580/70 R42
Длина пятна контакта, см: передних колес задних колес	42,4 46,7	39,0 42,7
Ширина пятна контакта, см: передних колес задних колес	29,4 36,4	29,4 40,6
Удельное давление на почву, кг/см ² : передних колес задних колес	1,45 1,46	1,46 1,46
Индекс тягового усилия	1673	1314

приведены в *таблице*.

Исследований в полевых условиях показали следующее. Средняя часовая производительность агрегата в составе *Zoomlion PL2304* + ИМТ 616.16 (10 рабочих смен) составила 5,67 га/ч, т.е. 73,7% от расчетной. Средняя часовая производительность агрегата в составе *Беларус 2122.3* + ИМТ 616.16 (16 рабочих смен) составила 5,06 га/ч, т.е. 68,3% от расчетной.

Определяющее влияние на производительность трактора оказывают рабочая скорость и коэффициент использования времени смены. Рабочая скорость зависит от тягового сопротивления и тягового усилия на конкретной рабочей передаче с учетом кратковременных перегрузок, вызывающих увеличение тягового сопротивления сельскохозяйствен-

ной машины. Необоснованное снижение рабочей скорости приведет к неполной загрузке двигателя и повышенному расходу топлива.

Коэффициент использования времени смены зависит от уровня организации производственных процессов, конфигурации и размеров поля. Для технологической операции культивации в зависимости от длины прохода коэффициент использования времени смены находится в пределах 0,67-0,89. При организации производства на полях учебно-опытного хозяйства коэффициент использования времени смены составлял 0,58 и подтвержден первичной учетной документацией.

Выводы. По состоянию на 1 января 2024 г. доля тракторов китайского производства в сельском хозяйстве России составила менее 1%, но рынок тракторов за четыре года увеличился практически в два раза. При этом в КНР десятки предприятий производят сотни марок тракторов различной мощности и видов техники для агросектора. Чтобы сделать правильный выбор между тракторами необходимо иметь объективную информацию о надежности, эксплуата-

ционных свойствах и особенностях тракторов.

Проведен сравнительный анализ китайского и белорусского тракторов в составе агрегата ИМТ 616.16. В частности, скоростная характеристика двигателя *Zoomlion PL2304* имеет более предпочтительный вид, крутящий момент сохраняет практически равное значение в диапазоне от 1400 до 1700 об/мин, что оказывает влияние на эксплуатационные свойства трактора. Теоретические и полевые исследования подтвердили, что производительность агрегата в комплекте с трактором *Zoomlion PL2304* выше, чем с трактором *Беларус 2122.3* на 3,8%, расход топлива ниже на 7,5%. При полевых исследованиях средняя часовая производительность агрегата трактора *Zoomlion PL2304* и культиватора ИМТ 616.16 была на 12% выше, чем с трактором *Беларус 2122.3*.

По тяговым свойствам *Zoomlion PL2304* также имеет преимущество. Кроме того, использование передних шин более большего диаметра улучшают управляемость трактора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журавлев С.Ю. Эксплуатационные показатели дизеля трактора на операциях почвообработки // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2020. N2 (38). С. 158-168. EDN: IGDXXW.
2. Журавлёв С.Ю. Улучшение эксплуатационных свойств колёсных 4к4 сельскохозяйственных тракторов // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. N4 (84). С. 127-132. EDN: WKVGWR.
3. Стеновский В.С., Асманкин Е.М., Ушаков Ю.А. и др. Локальная модернизация как путь улучшения эксплуатационной технологичности колёсных движителей сельскохозяйственных тракторов // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021. N5 (91). С. 150-154. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-91-5-150-154.
4. Ворохобин А.В., Устинов Ю.Ф., Жулай В.А. Методика оценки тягово-сцепных свойств трехосного полноприводного трактора и влияния его колебаний, воздействующих на оператора // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 15. N1 (72). С. 34-39. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_34.
5. Ревенко В.Ю., Назаров А.Н., Скорляков В.И. Методика расчета давления на почву колесных тракторов // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023. Т. 24. N5. С. 868-876. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.5.868-876.
6. Зернов В.Н., Петухов С.Н., Пономарев А.Г. Кто решает, какие тракторы нужны сельхозпроизводителю? // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. Т. 22. N1. С. 136-148. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.136-148.
7. Панасюк А.Н., Липкань А.В. Расчет экологических порогов нормального давления колесных движителей машин на полевых работах на глинистых почвах // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N4. С. 43-48. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-43-48.
8. Калашников С.С., Калашников С.Ф., Раднаев Д.Н., Петров В.А. Методика измерения удельных давлений колес трактора на почву и определение коэффициента сопротивления качению // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова*. 2023. N1 (70). С. 150-157. DOI: 10.34655/bgsha.2023.70.1.018.
9. Ревенко В.Ю., Иванов А.Б., Петухов Д.А. Новые методы определения площади контактирующей поверхности шин сельскохозяйственных машин и тракторов // *Техника и оборудование для села*. 2023. N2 (308). С. 10-15. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-10-15.
10. Кравченко В.А., Кравченко Л.В., Меликов И.М. Оценка тягово-сцепных свойств мощных тракторов и комбайнов в комплектации с шинами различного исполнения // *Аграрный научный журнал*. 2020. N8. С. 83-88. DOI: 10.28983/asj.y2020i8pp83-88.
11. Бижаев А.В. Исследование параметров трактора с электроприводным силовым агрегатом // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N4. С. 33-42. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-33-42.
12. Иовлев Г.А., Голдина И.И. Балластирование как способ повышения эксплуатационных свойств трактора // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022. Т. 69. N1 (46). С. 44-54. DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-1-44-54.
13. Иовлев Г.А., Голдина И.И. Зависимость тяговых свойств трактора от типа соединения с сельскохозяйственной машиной // *Сельскохозяйственные машины и техно-*

логии. 2023. Т. 17. N4. С. 75-81. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-75-81.

14. Иовлев Г.А., Голдина И.И. Исследование эксплуата-

ционных свойств тракторов отечественного и китайского производства // Экономика сельского хозяйства России. 2022. N10. С. 93-100. DOI: 10.32651/2210-93.

REFERENCES

1. Zhuravlev S.Yu. Operational parameters of diesel engine tractors for tillage operations. *Vestnik of Omsk SAU*. 2020. N2 (38). 158-168 (In Russian). EDN: IGDXXW.
2. Zhuravlev S.Yu. Improvement of operational properties of wheeled 4K4 agricultural tractors. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2020. N4 (84). 127-132 (In Russian). EDN: WKVGWR.
3. Stenovskiy V.S., Asmankin E.M., Ushakov Yu.A. et al. Local modernization as a way to improve the operational manufacturability of wheeled propellers of agricultural tractors. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2021. N5 (91). 150-154 (In Russian). DOI: 10.37670/2073-0853-2021-91-5-150-154.
4. Vorokhobin A.V., Ustinov Yu.F., Zhulai V.A. Methodology for assessing traction and coupling capacity of a three-axle all-wheel drive tractor and the impact of its vibrations on the operator. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022. Vol. 15. N1 (72). 34-39 (In Russian). DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_1_34.
5. Revenko V.Yu., Nazarov A.N., Skorlyakov V.I. Method of calculating the pressure on the soil of wheeled tractors. *Agrarian Science Euro-North-East*. 2023. Vol. 24. N5. 868-876 (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.5.868-876.
6. Zernov V.N., Petukhov S.N., Ponomarev A.G. Who decides what tractors farmers need? *Agrarian Science Euro-North-East*. 2021. Vol. 22. N1. 136-148 (In Russian). DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.136-148.
7. Panasyuk A.N., Lipkan A.V. Calculation of the ecological thresholds of normal pressure of machine propulsion drive in working on clay soils. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Vol. 14. N4. 43-48 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-43-48.
8. Kalashnikov S.S., Kalashnikov S.F., Radnaev D.N., Petrov V.A. Method of measuring specific pressures of tractor wheels on the soil and determination of rolling resistance coefficient. *Bulletin of the BSSA named after V.R. Filippov*. 2023. N1 (70). 150-157 (In Russian). DOI: 10.34655/bgsha.2023.70.1.018.
9. Revenko V.Yu., Ivanov A.B., Petukhov D.A. New methods for determining the area of the contact surface of tires of agricultural machines and tractors. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023. N2 (308). 10-15 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-10-15.
10. Kravchenko V.A., Kravchenko L.V., Melikov I.M. Evaluation of traction-chain properties of powerful tractors and combines complete with varieties of various performance. *Agrarian scientific journal*. 2020. N8. 83-88 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.2020i8pp83-88.
11. Bizhaev A.V. Research of tractor power unit with electric drive parameters. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Vol. 14. N4. 33-42 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-33-42.
12. Iovlev G.A., Goldina I.I. Ballasting as the way of improving the operational properties of the tractor. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2022. Vol. 69. N1 (46). 44-54 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2022-69-1-44-54.
13. Iovlev G.A., Goldina I.I. Dependence of tractor traction properties on agricultural machinery connections. *Agricultural Machines and Technologies*. 2023. Vol. 17. N4. 75-81 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-75-81.
14. Iovlev G.A., Goldina I.I. Research of the operational properties of tractors of domestic and chinese production. *Economics of Agriculture of Russia*. 2022. N10. 93-100 (In Russian). DOI: 10.32651/2210-93.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Иовлев Г.А. – общее руководство, замысел исследования, анализ и интерпретация данных;

Голдина И.И. – разработка дизайна иллюстраций, подготовка статьи, ее критический анализ, окончательное одобрение варианта статьи для публикации.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Iovlev G.A. – general guidance, study design, data analysis and interpretation;

Goldina I.I. – development of illustration design, preparation and proofreading of the manuscript, and approval of the final version 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

09.01.2025

10.02.2025

EDN: HBDRDQ

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-103-110

Научная статья
УДК 631.331; 631.33.024

Развитие конструкций сеялок и технологий посева семян в ленте

Михаил Евгеньевич Чаплыгин,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: misha2728@yandex.ru;

Юлия Сергеевна Ценч,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: vimasp@mail.ru;
Алексей Викторович Подзоров,
научный сотрудник,
e-mail: alexvp900@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что посев семян в ленте (жгуте) является непростой для решения задач с точки зрения механизации и возможности контроля качества выполнения процесса. В каждом рассмотренном изобретении применяемые конструктивно-технологические решения направлены на реализацию положительного эффекта. (*Цель исследования*) Проследить предпосылки появления и совершенствования агрегируемых сеялок для посева семян в ленте, их конструктивные особенности и элементную базу (*Материалы и методы*) Работа выполнена на основе историко-аналитического метода. Исследовались публикации в научных печатных источниках, документы патентных баз *Espacenet*, Федерального института промышленной собственности, системы «База патентов СССР» и фотоматериалы. (*Результаты и обсуждение*) Приведена информация о появлении первых устройств для посева семян с применением лент. Выявлены типовые конструктивные решения и технологии посева семян в ленте, предложенные в разных странах. (*Выводы*) Проведен обзор известных на настоящий момент изобретений и определен ряд конструктивно-технологических решений, которые могут быть перспективными при разработке новых машин этого типа. В частности, отмечены применение лентопроводящих элементов, минимизирующих частоту обрывов ленты и повреждение семян, устройства сигнализации обрыва ленты, контроля ее допустимого натяжения и др.; универсальность лентопроводящей системы, позволяющая использовать ленту различных видов и типоразмеров; применение в конструкции сеялки почвообрабатывающих рабочих органов, дисково-анкерного сошника для создания ровной уплотненной полосы-ложа для семенной ленты; оборудование сеялки системой локального полива для ускорения прорастания семян и процессов биоразложения ленточного носителя.

Ключевые слова: семена, технологии посева, семенная лента, сеялка, сошник, агрегатирование, типовое конструктивное решение.

■ Для цитирования: Чаплыгин М.Е., Ценч Ю.С., Подзоров А.В. Развитие конструкций сеялок и технологий посева семян в ленте // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №1. С. 103-110. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-103-110. EDN: HBDRDQ.

Scientific article

Development of Seeder Design and Technologies of Seed Tape Planting

Mikhail E. Chaplygin,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: misha2728@yandex.ru;
Yuliya S. Tsench,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: vimasp@mail.ru;

Aleksey V. Podzorov,
researcher,
e-mail: alexvp900@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. This paper emphasizes the challenges associated with mechanizing and ensuring quality control in the process of sowing seeds using seed tapes (seed ropes). Each examined invention integrates design and technological solutions developed to improve efficiency and effectiveness. (*Research purpose*) The study aims to examine the development and evolution of aggregated seed tape planters, focusing on their structural features, and component base. (*Materials and methods*) The study employs a historical-analytical approach drawing on publications from scientific print sources, patent documents from databases such as

Espacenet, the Federal Institute of Industrial Property, the Database of Patents of the USSR, and photographic materials. (*Results and discussion*) The study provides information on the development of the first devices designed for seed tape sowing. It identifies typical design solutions for seed tape sowing technology across different countries. (*Conclusions*) A review of existing inventions has been conducted, leading to the identification of several promising design and technological solutions for the development of new machines in this category. Specifically, the study highlights the employment of tape-guiding elements that reduce tape breakage and seed damage, as well as tape break detection and tension control systems. It also emphasizes the versatility of the tape-guiding system, which accommodates tapes of different types and sizes. Additionally, the study highlights the incorporation of soil-cultivating units, a disc-anchor coulter for creating an even and compacted seed bed for the seed tape, and a localized irrigation system to accelerate seed germination and facilitate the biodegradation of the tape carrier.

Keywords: seeds, sowing technologies, planting technologies, seed tape, planter, furrow opener, aggregation, typical design solution.

For citation: Chaplygin M.E., Tsench Yu.S., Podzorov A.V. Development of seeder design and technologies of seed tape planting. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N1. 103-110 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-1-103-110. EDN: HBDRDQ.

В современном сельском хозяйстве увеличиваются масштабы использования прогрессивных технологий посева [1] и биополимерных материалов [2-4]. Семенные ленты из биополимеров позволяют не только оптимизировать технологию посева и экономить семена, но и решать проблемы точечного внесения удобрений и борьбы с вредителями [5].

Посев семян в ленте (жгуте) в поле оказался непростой для решения задачей. Активная разработка механизированных средств посева началась в конце XIX – начале XX века [6]. Сеялки для технологии посева семян в ленте делились на две категории – ручные [7] и агрегируемые с использованием конной тяги или трактора. Агрегируемые сеялки предназначены для посева на средних и больших площадях и, как правило, представляют собой многорядные машины. На выбор конструкции сеялки влияют как почвенно-климатические условия, так и вид семенной ленты или жгута [5], и для каждого случая необходимо определить подходящий вариант.

Цель работы – проследить этапы создания и развития агрегируемых сеялок для посева семян в ленте (жгуте) и на основе современных разработок определить перспективные конструктивно-технологические решения.

Материалы и методы. Для рассмотрения исторических аспектов развития агрегируемых технических средств для посева семян на ленте проведен анализ патентных документов международной патентной базы *Espacenet* и патентной базы Федерального института промышленной собственности (ФИПС), а также документов электронного ресурса «База патентов СССР». Особое внимание было уделено наиболее перспективным, на наш взгляд, машинам и механизмам.

Результаты и обсуждение. По нашему мнению, основой агрегируемых сеялок для посева семян в ленте могли стать кабелеукладчики. С определен-

ными доработками конструкции они могут найти применение в сельском хозяйстве.

Одной из таких машин был кабелеукладчик, разработанный в 1905 г. (патент *US 781568*) под руководством Уолтера К. Стивенса (*рис. 1*). Конструкция машин этого типа рассматривалась, к примеру, в трудах Хайзерука Е.М. (Кабелеукладчики. Вопросы теории и расчета. М.: Машиностроение, 1974. 200 с.), Ласточкина Д.С. [8], *Macclay I.C.* [9] и других авторов, а некоторые элементы расчета могут быть взяты за основу при разработке современных установок для посева семян в ленте (жгуте).

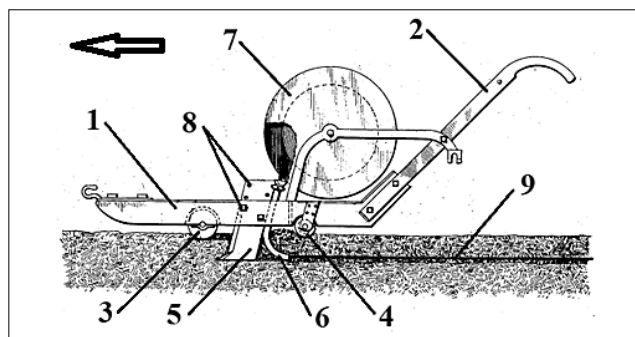


Рис. 1. Кабелеукладчик Уолтера К. Стивенса (<https://ru-i.espacenet.com>)

Fig. 1. Cable-laying implement by Walter C. Stevens

Перемещение кабелеукладчика обеспечивалось преимущественно конной тягой. В нем был предусмотрен почти весь набор конструктивных элементов ручной сеялки для посева семян в ленте (жгуте): рама 1 с рукоятками управления 2; опорное 3 и прикатывающее 4 колеса; сошник 5, регулируемый по глубине хода; трубка 6 для подачи ленты (жгута, кабеля), установленная непосредственно за сошником 1; катушка 7, расположенная над трубкой 6. Глубина заделки кабеля регулировалась положением сошника 5 относительно рамы 1 с фиксацией болтовым соединением 8. Такая эле-

ментная база может быть названа «классической» и рассмотрена в работе [1]. В этом исследовании рассмотрены «неклассические» технические решения для агрегируемых сеялок.

С повышением уровня механизации в конце 1940-х – начале 1950-х годов в разных странах возросло количество разработок агрегируемых сеялок для посева в ленте (жгуте), а также элементной базы к ним. Отметим такие изобретения, как «Метод посева и устройство для его осуществления» Вальтера Брейгеля (патент DE826516, 1952 г.) и «Машина для посева семян» Франсуа Кочена (патент FR1145475, 1956 г.).

В изобретении Вальтера Брейгеля (рис. 2) сошник 1 и подающая трубка 2 по конструкции схожи с изобретением Уолтера К. Стивенса. Семенной жгут 4 в виде катушки расположен в ящике 3, при этом жгут подается из центра катушки. Сзади сошника расположен пружинный кронштейн 5, на котором установлены прикатывающий ролик 6 и заделывающие лопатки 7.

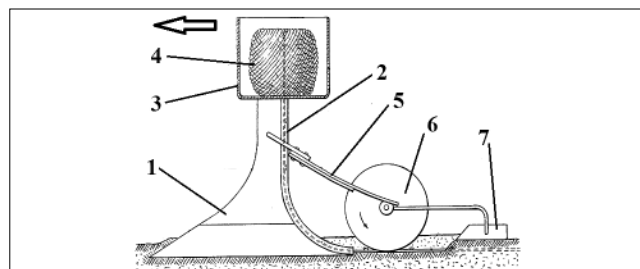


Рис. 2. Устройство Вальтера Брейгеля (<https://ru-i.espacenet.com>)

Fig. 2. Seed carrier by Walther Bruegel (<https://ru-i.espacenet.com>)

В механизме, предложенном Франсуа Коченом (рис. 3), применяется семенная лента 4. Это достаточно высокий и узкий сошник 1 с режущей почву пластиной 2. Катушка 3 с семенной лентой интегрирована в сошник. Для укладки ленты применяется ролик 5. Никаких заделывающих борозду элементов не предусмотрено, видимо, предполагается заделка почвы за счет самоосыпания стенок открытой сошником борозды. Перед началом работы свободный конец семенной ленты 4 пропускают под ролик 5 и фиксируют колышком 6.

Оба изобретения можно отнести к элементной базе сеялок, так как не указаны особенности агрегирования.

Далее остановимся на изобретениях 1960-х – 1980-х годов.

В 1963 г. Рональд Ф. Зитко предложил «Сеялку для семенной ленты» (патент US3078681). Ее особенностью было специальное укладывающее ленту колесо 6 с грунтозацепами 11 и подвижными крючками-фиксаторами 12 для натяжения и удержа-

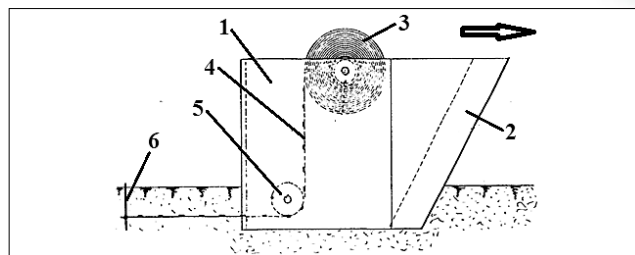


Рис. 3. Машина Франсуа Кочена (<https://ru-i.espacenet.com>)
Fig. 3. Seed tape planter by Francis Cochin (<https://ru-i.espacenet.com>)

жания ленты 10 (рис. 4). Заделка борозды выполнялась с помощью подпружиненных лопаток 9 и прикатывающего колеса 5. Сеялка состоит из рамы 1, параллелограммного подпружиненного подвеса 2, сошника 3, переднего опорного колеса 4, емкости 7 для семенной ленты, ролика 8 для направления ленты и механизма управления крючком-фиксатором 13.

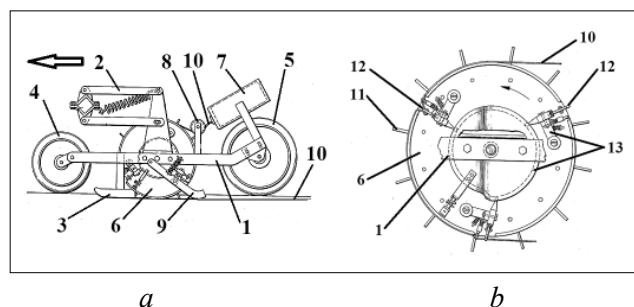


Рис. 4. Сеялка Рональда Ф. Зитко: а – схема сеялки вид слева; б – лентоукладывающее колесо (<https://ru-i.espacenet.com>)
Fig. 4. Seed tape planter by Ronald F. Zitko: a – seeder left side view; b – tape-laying wheel (<https://ru-i.espacenet.com>)

Отметим, что использованный в этом устройстве подпружиненный параллелограммный подвес 2 в том или ином виде предлагается на многих сеялках с 1940-х годов до настоящего времени. К недостаткам сеялки можно отнести сложную конструкцию укладывающего колеса 6. В случае забивания почвой механизма управления крючком-фиксатором 13 колесо может потерять работоспособность, потребуется его длительная чистка, что отразится на производительности машины.

Следующим интересным, на наш взгляд, изобретением был «Ленточный аппарат для посева семян» Жака Крепе (патент FR2302017, 1976 г.). Сеялка отличается тем, что ее рама 1 разделена на три части (рис. 5). Первая часть – Г-образная несущая основа с закрепленной на ней катушкой 9 с семенным жгутом 10; вторая – передний подрамник 2, установленный шарнирно, с сошником и направляющей трубкой; третья часть – задний подрамник 3 с заделывающими лопатками 4 и прикатывающим колесом 5, также установленный шарнирно.

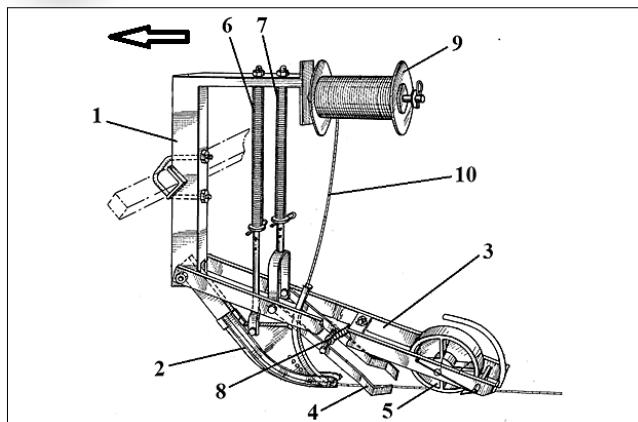


Рис. 5. Ленточный аппарат для посева семян Жака Крепе
(<https://ru-i.espacenet.com>)
Fig. 5. Drill for taped seeds by Jacques Crepet's
(<https://ru-i.espacenet.com>)

Вторая и третья части рамы установлены на пружинных рессорах 6 и 7 соответственно. Заделывающие лопатки 4 отдельно подпружинены механизмом 8. Конструкция машины может обеспечить плавность хода через неровности поля.

У этой оригинальной компоновки можно отметить недостаток: разделение рамы на отдельные части и их отдельная регулировка могут негативно сказаться на обеспечении контроля глубины посева. Помимо этого рабочие элементы расположены на значительном расстоянии друг от друга, что также влияет на качество работы.

В 1982 г. коллективом авторов во главе с В.А. Бахмутовым разработана «Сеялка для высевания семян, размещенных на ленте» (патент SU927152). Конструкция включает: сошник с килевидным наральником 1, боковины сошника 2, стойку 3, семенную ленту 4, направляющую воронку 5, ведомый 6 и прижимной 7 ролики, рычаг прижимного ролика 8, направляющую воронку 9, прикатывающий ролик 10, рычаг 11, пружину 12, винт 13 регулировки натяжения пружины, нож 14 с направляющей 15, противорежущую пластину 16, упор 17 и возвратную пружину ножа 18 (рис. 6).

Семенная лента 4 подается в сошник 1 принудительно при помощи подающего устройства, которое связано с прикатывающим роликом 10 ременной передачей. Особого внимания заслуживает система отрезания семенной ленты. В момент перевода сошника в транспортное положение контакт прикатывающего ролика с почвой теряется, он поворачивается на подпружиненном рычаге 11, активируя нож 14. Нож входит в канал, где находится семенная лента 4 и отрезает ее. При переводе сошника в рабочее положение, нож 14 возвращается пружиной 18 на исходную позицию, освобождая доступ семенной ленте к прикатывающему ролику 10. В момент начала работы прикатывающий ро-

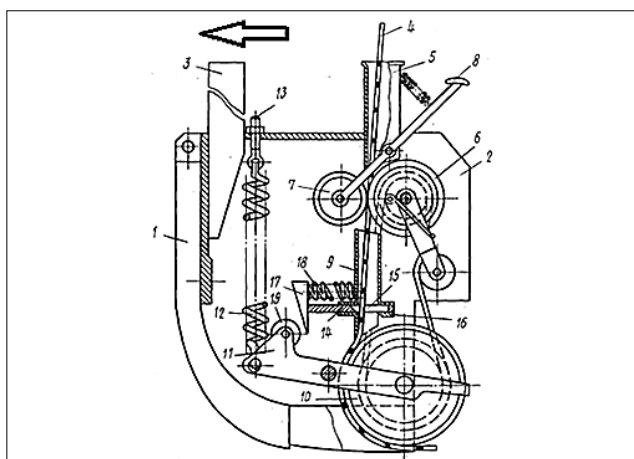


Рис. 6. Сеялка для высевания семян размещенных на ленте В.А. Бахмутова (<https://patents.su>)
Fig. 6. Taped-seed planter by V.A. Bakhmutov's
(<https://patents.su>)

лик 10 через подающее устройство автоматически разматывает новую партию семенной ленты.

Данное изобретение можно отнести к элементной базе сеялки, так как не указано, как агрегируется это устройство и заделывается борозда. Конструкция достаточно удачна. Из недостатков можно выделить слабую защищенность механизмов от загрязнения во время работы.

В 1990-е годы разработки машин продолжались и среди них можно отметить изобретение Ланни Д. Биллингса «Устройство и способ для посадки семян, внесения удобрений и химикатов с использованием биоразлагаемой ленты-аппликатора» (патент US5165351, 1992 г.).

Сеялка состоит из рамы 1, параллелограммного подвеса 2, опорно-прикатывающего колеса 3, дискового сошника 4, катушки 5 с семенной лентой 6 (биоразлагаемая лента-аппликатор), направляющей скобы 7, прикатывающего ролика 8, дисковых заделывающих лопаток 9, ножа 10 для отрезания семенной ленты 6, привода 11 катушки 5 и подвижного штока 12, на котором крепится нож 10 (рис. 7).

Нож активируется при переводе сеялки в транспортное положение аналогично конструкции В.А. Бахмутова, но шток 12 с ножом выдвигается специальным механизмом. Семенная лента отрезается перед опорно-прикатывающим колесом 3. Как и в конструкции В.А. Бахмутова, лента подается принудительно при вращении катушки 5, но не от прикатывающего ролика, а от опорно-прикатывающего колеса 3 через привод 11.

На сеялке установлен двухдисковый сошник 4. Он эффективно работает на тяжелых почвах и полях с повышенной комковатостью, в отличие от многих сеялок, где преимущественно применяются анкерные или килевидные сошники. Недостаток машины связан с конструкцией механизма отреза-

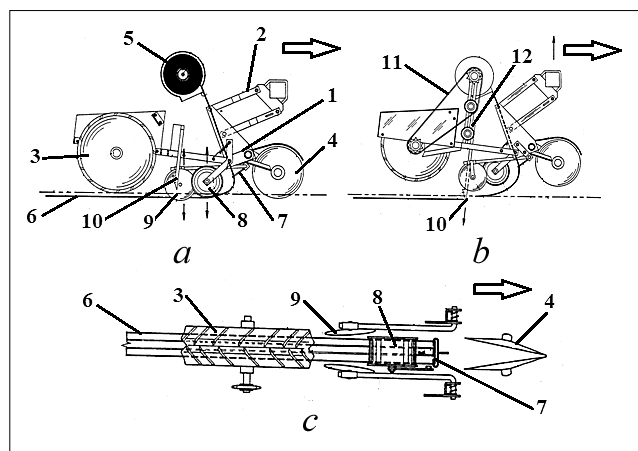


Рис. 7. Устройство для посадки семян, внесения удобрений и химикатов Ланни Д. Биллингса: а – сеялка в рабочем положении; б – сеялка в рабочем положении в момент отрезания семенной ленты; с – вид сеялки сверху (<https://ru-i.espacenet.com>)

Fig. 7. Apparatus for planting seeds, fertilizing, and applying chemicals by Lanny D. Billings: a – a side view of the planter in working position; b – a side view of the planter at the moment of seed tape cutting; c – a top view of the planter (<https://ru-i.espacenet.com>)

ния ленты. Агрегат в момент отрезания должен быть абсолютно неподвижен, так как даже небольшие перемещения или сильные вибрации могут негативно отразиться на целостности конструкции и качестве процесса отрезания семенной ленты.

Одной из интересных разработок XXI в. является изобретение В.А. Любича и М.Г. Шестакова «Сошник сеялки-лентоукладчика» (патент RU2175471, 2001 г.). В описании представлена не только конструкция высевашего устройства, но и математически обосновано взаимное расположение его частей. Конструкция может эффективно работать на полях с различным рельефом, обеспечивая высокое качество укладки семенной ленты по глубине.

Сошник 1 с лентоподающей трубкой 2 установлен на коромысле 3. С другой стороны коромысла 3 на стойке 5 находится прикатывающее колесо 4 (рис. 8). Коромысло монтируется на раме на шарнирной опоре 8. Положение сошника 1 и стойки 5 регулируется перестановкой регулировочных отверстий 6. Это дает возможность четкой фиксации глубины заделки семенной ленты 7. На рисунке 8а показано движение сеялки на неровность, а на рисунке 8б – с неровности, при этом глубина заделки семенной ленты 7 остается неизменной.

Изобретение относится к элементной базе сеялки. В описании не указано, как агрегатируется это устройство и заделывается борозда. Критических недостатков конструкции не выявлено.

Семенная лента (жгут) не отличается высокой прочностью и ее обрыв создает проблему, которую

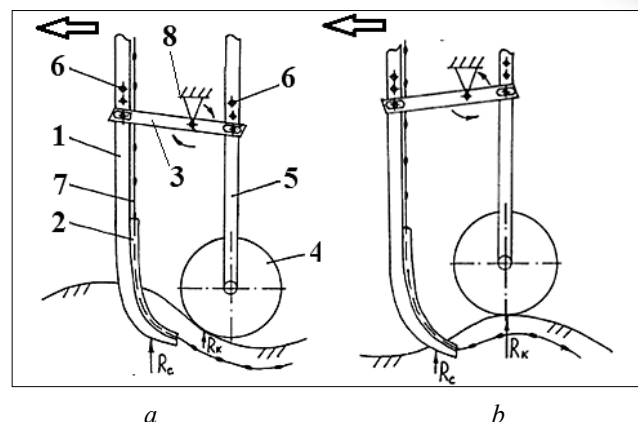


Рис. 8. Сошник сеялки-лентоукладчика В.А. Любича и М.Г. Шестакова: а – при движении на неровность; б – при движении с неровности (<https://www1.fips.ru>)

Fig. 8. Coulter of the planter-seeder by V.A. Lyubich and M.G. Shestakov: a – moving over an elevation; b – moving down from an elevation (<https://www1.fips.ru>)

необходимо решать при работе с сеялками рассматриваемого типа. Один из способов предложен в изобретении Седзиро Юри «Устройство для обнаружения обрыва ленты» (патент JP2007195512, 2007 г.). Сеялка, на которой смонтировано такое устройство, построена по «классической» схеме (рис. 9а). Рама 1 с центральной стойкой установлена на переднее 2 и заднее 3 колеса. На раме смонтирована высевашая трубка-сошник 4. Рама при помощи подпружиненного параллелограммного механизма 5 крепится к энергосредству через кронштейн 6. В верхней части центральной стойки рамы устанавливаются свободно вращающаяся катушка 7 для семенной ленты 8. На боковой части катушки монтируют пластину-детектор 9, а на центральной стойке рамы – электромагнитный датчик числа оборотов катушки 10.

Особый интерес вызывает схема устройства для обнаружения обрыва ленты (рис. 9б). Сбоку от вращающейся во время работы сеялки катушки 7 расположенный датчик 10 генерирует сигнал при прохождении мимо него пластины 9, который передается в блок управления 11. Как только сигнал от датчика 10 перестает поступать, срабатывает реле 12 и включается звуковая и (или) световая сигнализация, предупреждающая о прекращении разматывания или обрыве ленты.

К недостаткам такой системы можно отнести интервал времени от получения сигнала до остановки агрегата, и он проезжает некоторое расстояние вхолостую. Для возобновления работы агрегата необходимо больше манипуляций. Данное изобретение можно доработать, внедрив систему автоматической остановки всего агрегата при обрыве ленты. Кроме того, данная система не предназначена для сеялок с принудительным разматыванием

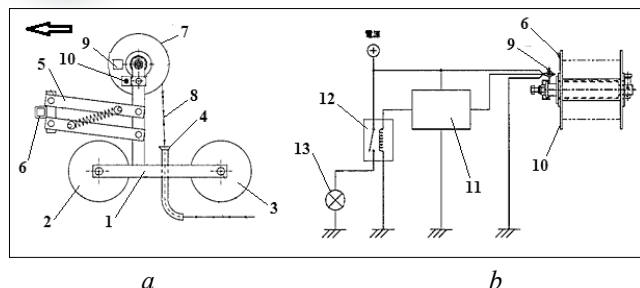


Рис. 9. Устройство для обнаружения обрыва ленты Седзиро Юри: а – конструктивная схема сеялки; б – электрическая схема устройства для обнаружения обрыва ленты (<https://patents.google.com/patent>)
Fig. 9. Tape break detection device by Sejiro Yuri: a – structural diagram of the seeder; b – electrical circuit of the tape break detection device (<https://patents.google.com/patent>)

ванием семенной ленты, поэтому нужны датчики контроля перемещения самой ленты.

В странах Азии наряду с классическими сеялками и машинами для высаживания рассады существуют различные машины для работы с семенной лентой. Одна из них – изобретение Лю Сюэцзюня «Машина для посева и укрывания моркови» предложенная в 2010 г. (патент CN101822143). Изобретение позволяет одновременно формировать гряду, укладывать из передних катушек ленты (шланги) капельного орошения, а из установленных после них катушек – семенные ленты. Дополнительно машина может вносить жидкие удобрения и с помощью укладочного устройства покрывать всю гряду пленкой для создания эффекта парника. Сеялка может укладывать до четырех рядов семенных лент и работать в нескольких режимах. Машина позиционируется для посева моркови, но может применяться и для семян многих других культур.

Рама 1 с тягой 2 для крепления к энергосредству оснащена опорными колесами 3 и постом контроля 4 для помощника механизатора (рис. 10). На стойке рамы установлен полый сошник 5 и катушка 6 с семенной лентой 7. На раме также установлены стойка с дополнительной катушкой 8 для ленты 9 капельного полива и система внесения жидких удобрений в виде форсунки 10. После укладки семенной ленты и шланга прикатывающий ролик 11 формирует гряду. Далее, в зависимости от технологии посева, гряда целиком укрывается пленкой 12, которая фиксируется по краям в почве системой заделки 13 из роликов и дисковых лопаток.

К недостаткам машины можно отнести отсутствие систем контроля обрыва семенных лент и лент капельного орошения, а также систем их отрезания в конце прохода машины.

Как правило, поле перед посевом подготавливают путем боронования. При этом иногда на поверх-

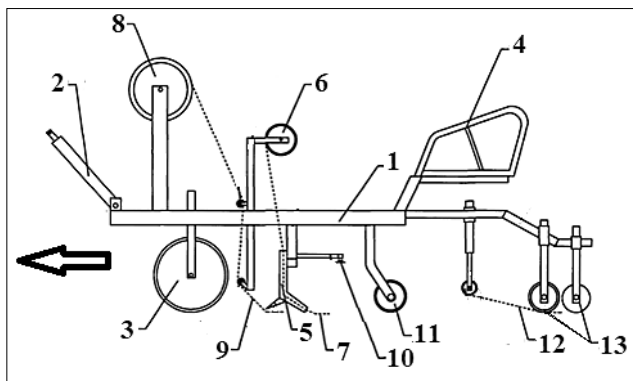


Рис. 10. Машина для посева и укрывания моркови Лю Сюэцзюня (<https://patents.google.com/patent>)
Fig. 10. Carrot seeding and film laminating machine by Liu Xuejun (<https://patents.google.com/patent>)

ности почвы остается много крупных комков. В отличие от классических зерновых сеялок это создает проблему при использовании семенных лент. В связи с этим отметим изобретение 2013 г. коллектива авторов ФГБНУ ФНАЦ ВИМ «Агрегат для посева семенного материала в ленте» (патент RU2547716) [8]. В конструкцию посевного агрегата закладывалась возможность обеспечения в одном проходе одновременно предпосевной подготовки почвы при помощи почворыхлителей, формирования борозд, укладки и укрытия почвой семенной ленты.

Агрегат для посева в ленте включает установленные на раме 1 почворыхлители 2, катушки 7 с семенными лентами 8 и заделывающий каток 10 (рис. 11). Агрегат снабжен семяложеобразователем 3 (сошником) в виде плоского диска 4 с осью и подшипниковым узлом, установленным под углом атаки к направлению движения, и двух вертикальных наружной 5 и внутренней 6 боковин по обеим сторонам и позади плоского диска.

Наружная боковина 5 передней кромкой примыкает к поверхности плоского диска 4 на уровне, близком к его вертикальному диаметру, под углом α , который равен или меньше угла трения почвы. Передняя часть внутренней боковины 6 размещена в пространстве между наружной боковиной 5 и диском 4 и прикреплена к боковине 5.

Почворыхлитель выполнен в виде двух последовательно расположенных в соседних рядах игольчатых дисков 2 с дискретно изменяемыми углами атаки. Расстояние между центрами дисков 2 не превышает их радиуса и по крайней мере вдвое больше расстояния между боковинами 5 и 6 семяложеобразователя 3. Семенная лента 8 сходит с катушки 7, закрепленной на раме за семяложеобразователем 3, через направляющий ролик 9, который укладывает ее на дно семяложа. Заделывающий каток 10 установлен симметрично за катушкой.

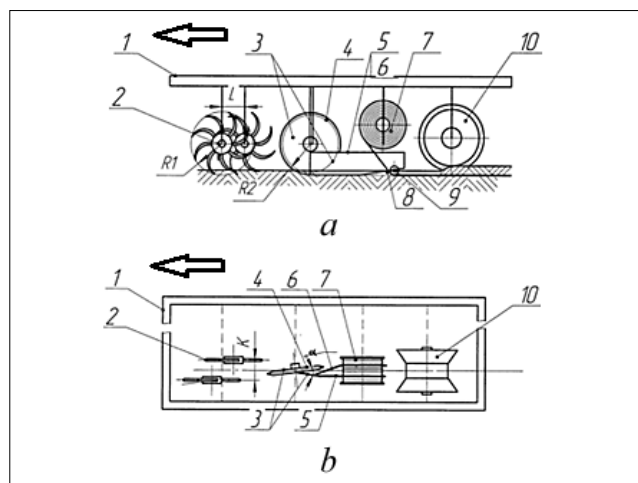


Рис. 11. Агрегат для высева семенного материала в ленте: а – вид слева; б – вид сверху (<https://www1.fips.ru>)

Fig. 11. Unit for sowing seed material in tape: a – seeder left side view; b – seeder top view (<https://www1.fips.ru>)

Сошники выполнены дисково-анкерными, они формируют широкое семяложе и попадание крупных комьев почвы на их работу не влияет. Прикатывающий каток 10 цилиндрический в средней части и в виде усеченных конусов по бокам позволяет качественно заделывать борозду. Конструкция машины достаточно универсальна и может быть адаптирована для различных почвенных условий и типов лент, а также формирования многорядных агрегатов. Изобретение позволит повысить качество высева при меньшей энергоемкости и уменьшить переуплотнение почвы. К недостаткам агрегата можно отнести некоторую громоздкость конструкции и отсутствие механизма отрезания ленты в конце прохода.

В статье рассмотрены лишь некоторые из множества изобретений. Технология посева семян в семенных лентах (жгутах), несмотря на бесспорные большие перспективы, развивается недостаточно

активно из-за слабой механизации. Изобретений достаточно много и данной статьей нам хотелось подстегнуть инженеров и энтузиастов к разработке, а главное к внедрению в производство, новых перспективных машин для этой технологии.

Выводы. Многие изобретатели из США, Европы, Канады, Японии, Китая и России сосредоточили свои усилия на разработке агрегируемых сеялок для посева семян на ленточном носителе. Этот тип сеялок находит применение при выращивании сельскохозяйственных культур на средних и больших площадях.

Анализ конструкций агрегируемых сеялок для посева семян в ленте позволил выделить ряд конструктивно-технологических решений, которые достойны внимания при разработке новых перспективных машин этого типа:

- использование в конструкции сеялки лентопроводящих элементов, минимизирующих частоту обрывов ленты и повреждение семян, а также устройств сигнализации обрыва ленты, контроля ее допустимого натяжения и др.;
- универсальность лентопроводящей системы сеялки, позволяющая использовать ленту различных видов и типоразмеров;
- применение в конструкции сеялки почвообрабатывающих рабочих органов (например, рыхлителей в виде игольчатых дисков);
- применение дисково-анкерного сошника для создания ровной уплотненной полосы-ложа для укладки ленты с семенами [11];
- оборудование сеялки системой локального полива для ускорения прорастания семян и процессов биоразложения ленточного носителя;
- оснащение сеялки маркерами для обеспечения точного соблюдения стыковых междурядий или межделяночных дорожек и безопасным ножом для перерезания ленты с семенами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Несмиян А.Ю., Ценч Ю.С. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N3. С. 45-52. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-45-52.
2. Тертышная Ю.В., Шибряева Л.С. Биоразлагаемые полимеры: перспективы их масштабного применения в промышленности России // *Экология и промышленность России*. 2015. Т. 19. N8. С. 20-25. DOI: 10.18412/1816-0395-2015-8-20-25.
3. Шибряева Л.С., Тертышная Ю.В., Пальмина Д.Д., Левина Н.С. Биодegradуемые полимеры как материалы для высевания семян зерновых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N6. С. 14-18. EDN: VBETEZ.
4. Вильданов Ф.Ш., Латыпова Ф.Н., Красуцкий П.А., Чанышев Р.Р. Биоразлагаемые полимеры – современное состояние и перспективы использования // *Башкирский химический журнал*. 2012. Т. 19. N1. С. 135-139. EDN: NLJRBV.
5. Подзоров А.В., Шибряева Л.С., Чаплыгин М.Е. Особенности технологии посева семян на лентах и жгутах // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N3. С. 56-62. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-56-62.
6. Ценч Ю.С., Несмиян А.Ю., Хомутова Н.С. История развития конструкции высевальных аппаратов зерновых сеялок // *Вопросы истории естествознания и техники*. 2020. Т. 41. N1. С. 102-107. DOI: 10.31857/S020596060008429-3.
7. Подзоров А.В., Шайхов М.М., Чаплыгина Т.В. Опреде-

- ление типовых конструктивных решений ручных сеялок для технологии посева семян в ленте // *Сельский механизатор*. N8. 2023. С. 18-22. DOI: 10.47336/0131-7393-2023-8-18-19-20.
8. Ласточкин Д.С. Новый метод прокладки кабеля с помощью ножевого кабелеукладчика // *Вестник связи*. 1958. № 7. С. 10-11.
9. Maclay I.C. Evolution of Cable - Laying Plows. *Bell Laboratories Record*. 1962. V. 40. N 10. 1962. V. 40. N10.
10. Косолапов В.В., Косолапова Е.В. Сравнительный анализ сошниковых механизмов посевных агрегатов // *Вестник НГИЭИ*. 2011. Т. 2. N1 (2). С. 77-89. EDN: PKSCZJ.
11. Булавко И.А. Анализ конструкций сошников для зерновых сеялок // *Современные научные исследования и инновации*. 2020. N8. [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2020/08/93009> (дата обращения: 25.11.2024).

REFERENCES

- Nesmiyan A.Yu., Tsench Yu.S. Tendencies and Prospects for the Development of Domestic Machinery for Sowing Grain Crops. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018. Vol. 12. N3:45-52 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-45-52.
- Tertyshnaya Yu.V., Shibryaeva L.S. Biodegradable polymers: Prospects of their large-scale application in industry of Russia. *Ecology and Industry of Russia*. 2015. Vol. 19. N8. 20-25 (In Russian). DOI: 10.18412/1816-0395-2015-8-20-25.
- Shibryaeva L.S., Tertyshnaya Yu.V., Pal'mina D.D., Levina N.S. Biodegraded polymers as materials for sowing of grain crops seeds. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2015. N6.14-18 (In Russian). EDN: VBETEZ.
- Vildanov F.Sh., Latypova F.N., Krasutskii P.A., Chanyshiev R.R. Biodecomposed polymers - a current state and use prospects. *Bashkir Chemistry Journal*. 2012. Vol. 19. N1. 135-139 (In Russian). EDN: NLJRBV.
- Podzorov A.V., Shibryaeva L.S., Chaplygin M.E. Specific characteristics of seed tape and seed rope planting. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N3. 56-62 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-56-62.
- Tsench Yu.I., Nesmiyan A.Yu., Khomutova N.S. The history of development of seed-feeding devices on grain drills. *Studies in the History of Science and Technology*. 2020. Vol. 41. N1. 102-107 (In Russian). DOI: 10.31857/S020596060008429-3.
- Podzorov A.V., Shaikhov M.M., Chaplygina T.V. Determination of typical design solutions for manual seeders for the technology of sowing seeds in a tape. *Selskiy Mеханизатор*. N8. 2023. 18-22 (In Russian). DOI: 10.47336/0131-7393-2023-8-18-19-20.
- Lastochkin D.S. A new method for laying cable using a blade cable layer. *Vestnik Svyazi*. 1958. N7. 10-11 (In Russian).
- Maclay I.C. Evolution of Cable - Laying Plows. *Bell Laboratories Record*. 1962. V. 40. N 10 (In English). 1962. V. 40. N10.
- Kosolapov V.V., Kosolapova E.V. The comparative analysis ploughshare mechanisms of sowing units. *Bulletin NGIEI*. 2011. Vol. 2. N1(2). 77-89 (In Russian). EDN: PKSCZJ.
- Bulavko I. A. Analysis of coulter designs for grain seeders. *Modern Scientific Research and Innovations*, 2020. N8. <https://web.snauka.ru/issues/2020/08/93009> (Accessed: 25 November 2024).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Ценч Ю.С. – научное руководство, формулирование направления, цели и задачи исследования, анализ и доработка текста, формирование общих выводов;

Подзоров А.В. – поиск аналитических материалов в отечественных и зарубежных источниках, первичный анализ полученных данных, подготовка текста, визуализация материалов;

Чаплыгин М.Е. – участие в критическом анализе данных, обобщение и описание результатов, формирование общих выводов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Tsench Yu.S. – scientific supervision, development of the research direction, formulation of research goals, and objectives, manuscript analysis and refinement, formation of general conclusions;

Podzorov A.V. – search for domestic and foreign analytical materials, initial analysis of the collected data, manuscript preparation, and material visualization;

Chaplygin M.E. – participation in critical data analysis, summarization and interpretation of results, formulation of general conclusions.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

03.12.2024

14.02.2025

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

