

doi: 10.15507/2658-4123.032.202201

ISSN 2658-4123 (Print), 2658-6525 (Online)

Том 32, № 1. 2022

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Основан в январе 1990 г.
Периодичность издания –
4 раза в год
16+



Vol. 32, no. 1. 2022

SCIENTIFIC JOURNAL
Founded in January 1990
Periodicity:
Quarterly

ИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ENGINEERING TECHNOLOGIES AND SYSTEMS

doi: 10.15507/2658-4123

Учредитель и издатель –
федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего
образования «Национальный
исследовательский Мордовский
государственный университет
им. Н. П. Огарёва»

Предыдущее название (до 2019 года):
Вестник Мордовского университета

FOUNDER AND PUBLISHER –
Federal State
Budgetary Educational
Institution
of Higher Education
“National Research
Ogarev Mordovia
State University”

The previous name until beginning of 2019:
Mordovia University Bulletin

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК)

Индексируется и архивируется в Web of Science Core Collection (ESCI),
Российском индексе научного цитирования (РИНЦ),
а также EBSCO

Является членом Directory of Open Access Journals (DOAJ),
Open Access Scholarly Publishers Association (OASPA),
Committee on Publication Ethics (COPE),
Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ) и CrossRef
Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор),
свидетельство ПИ № ФС77-74640 от 24.12.2018 г.

Подписной индекс – **70539**

Адрес учредителя, издателя и редакции:
430005, Российская Федерация,
Республика Мордовия,
г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68/1
Тел./факс: +7 (8342) 48-14-24

Founder, Publisher and Editorial House address:
68/1 Bolshevistskaya St., Saransk 430005,
Republic of Mordovia,
Russian Federation
Tel/Fax: +7 8342 481424

© ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», 2022

Научный журнал «Инженерные технологии и системы»

публикует оригинальные научные статьи (Full Articles) на русском и английском языках, ранее не публиковавшиеся в других изданиях. Миссия заключается в публикации результатов научных исследований, способствующих развитию науки в области инженерных систем и технологий.

Журнал адресован исследователям, аналитикам и практикам в области физики и сельскохозяйственного производства, а также широкому кругу читателей, интересующихся проблемами технических наук.

Редакция журнала осуществляет научное рецензирование (двустороннее слепое) всех поступающих статей. Рукопись статьи направляется на рецензирование для оценки ее научного содержания нескольким ведущим специалистам соответствующего профиля, имеющим научную специализацию, наиболее близкую к тематике статьи.

Редакция журнала реализует принцип нулевой толерантности к плагиату. Мониторинг некорректного цитирования осуществляется с помощью систем «Антиплагиат» и CrossCheck.

Распространение – Российская Федерация, зарубежные страны.

Журнал предоставляет открытый доступ к полным текстам публикаций, исходя из следующего принципа: открытый доступ к результатам исследований способствует увеличению глобального обмена знаниями.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по научным специальностям и соответствующим им отраслям науки:

01.03.02 Приборы и методы экспериментальной физики

01.03.06 Оптика

01.03.13 Электрофизика, электрофизические установки

04.03.01 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

04.03.02 Электротехнологии, электрооборудование и электроснабжение агропромышленного комплекса

Журнал индексируется и архивируется в базах данных:

Web of Science Core Collection (ESCI)

Российском индексе научного цитирования (РИНЦ)

EBSCO

Журнал является членом Open Access Scholarly Publishers Association (OASPA), Directory of Open Access Journals (DOAJ), Committee on Publication Ethics (COPE), Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ), CrossRef и международного сообщества рецензентов Publons

Материалы журнала доступны по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная



The scientific journal **Engineering Technologies and Systems**

publishes original scientific articles (full articles) in Russian and English, which have not been previously published in other publications. The mission of the journal is to publish research results that contribute to the advancement of knowledge in area of engineering systems and technology.

The journal is addressed to researchers, analysts and practitioners in the fields of physics and agricultural production, as well as readers interested in engineering problems.

The Editorial Board reviews (double-blind review) all incoming papers. The manuscript of the article is sent for review to several leading specialists of the corresponding profile, who have scientific specialization closest to the subject of the article, to evaluate the scientific content.

The Editorial Board follows the principle of zero tolerance to plagiarism. The incorrect citations shall be monitored with the help of Antiplagiat and CrossCheck systems.

The journal is distributed in Russian Federation and other countries of the world.

The journal offers direct open access to full-text issues based on the following principle: open access to research results contributes to the global knowledge sharing.

The journal is included in the List of the leading peer-reviewed scientific journals and publications, where basic scientific results of dissertations for the degree of Doctor and Candidate of Sciences should be published for scientific specialties and branches of science:

Instruments and Methods of Experimental Physics

Optics

Electrophysics, Electrophysical Installations

Technologies, Machinery and Equipment for Agro-Industries

Electrotechnics, Electrical Equipment and Power Supply in Agro-Industries

The journal is indexed and archived by databases:

Web of Science Core Collection (ESCI)

Russian Index of Science Citation

EBSCO

The journal is a member of Open Access Scholarly Publishers Association (OASPA),

Directory of Open Access Journals (DOAJ), Committee on Publication

Ethics (COPE), Association of Scientific Editors and Publishers (ASEP), CrossRef and the international community of reviewers Publons

All the materials of the Engineering Technologies and Systems journal are available under Creative Commons “Attribution” 4.0 license



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Сенин Пётр Васильевич – *главный редактор*, первый проректор ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000-0003-3400-7780, vice-rector-innov@adm.mrsu.ru (Саранск, Российская Федерация)

Левцев Алексей Павлович – *заместитель главного редактора*, заведующий кафедрой теплоэнергетических систем ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000-0003-2429-6777, levtzevar@mail.ru (Саранск, Российская Федерация)

Гордина Светлана Викторовна – *ответственный секретарь*, член Европейской ассоциации научных редакторов (EASE), кандидат педагогических наук, ORCID: 0000-0003-2265-418X, vestnik_mrsu@mail.ru (Саранск, Российская Федерация)

Аллахвердиев Сурхай Рагим оглы – академик Российской Академии Естествознания, профессор кафедры экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет» (Москва, Российская Федерация); профессор кафедры лесной индустрии Бартынского государственного университета, доктор биологических наук (Бартын, Турция)

Астахов Михаил Владимирович – профессор кафедры колесных машин и прикладной механики Калужского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана», доктор технических наук, ORCID: 0000-0001-8675-1611 (Калуга, Российская Федерация)

Булгаков Алексей Григорьевич – профессор кафедры промышленного и гражданского строительства ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Российская Федерация); профессор строительного факультета Дрезденского технического университета, доктор технических наук, ORCID: 0000-0003-4261-9840 (Дрезден, Германия)

Гербер Юрий Борисович – заведующий кафедрой технологии и оборудования производства и переработки продукции животноводства ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского», доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000-0003-3224-6833 (Симферополь, Российская Федерация)

Дайфен Чжень – заместитель декана Школы энергетики Цзянсуского университета науки и технологии, директор Международной объединенной лаборатории по экологической энергетике судов и контролю выбросов Цзянсу, Ph.D., профессор, ORCID: 0000-0002-3070-1989 (Чжэньцзян, Китай)

Димитров Валерий Петрович – заведующий кафедрой управления качеством ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000-0003-1439-1674 (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Жачкин Сергей Юрьевич – профессор кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», доктор технических наук, ORCID: 0000-0002-1844-5011 (Воронеж, Российская Федерация)

Железникова Ольга Евгеньевна – директор Института электроники и светотехники ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат технических наук, доцент (Саранск, Российская Федерация)

Игумнов Леонид Александрович – главный научный сотрудник Научно-исследовательского института механики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского», доктор физико-математических наук, профессор, ORCID: 0000-0003-3035-0119 (Нижний Новгород, Российская Федерация)

Истомина Наталья Леонидовна – начальник отдела физических наук Российской академии наук, заместитель академика-секретаря по научно-организационной работе ОФН РАН; профессор кафедры управления инновациями ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; главный редактор научно-технического журнала «Фотоника», доктор физико-математических наук, ORCID: 0000-0001-6008-1226 (Москва, Российская Федерация)

Кечемайкин Владимир Николаевич – директор Рузаевского института машиностроения ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», кандидат экономических наук, доцент (Саранск, Российская Федерация)

Котин Александр Владимирович – профессор кафедры механизации переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор технических наук, ORCID: 0000-0001-8235-0052 (Саранск, Российская Федерация)

Кусмарцев Фёдор Васильевич – декан физического факультета Университета Лафборо (Лафборо, Великобритания); профессор Колледжа искусств и наук Университета Халифы, Ph.D. (Абу-Даби, ОАЭ)

Кухарев Олег Николаевич – ректор ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет», доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000-0002-3519-4066 (Пенза, Российская Федерация)

Лобачевский Яков Петрович – первый заместитель директора ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», доктор технических наук, профессор, академик РАН, ORCID: 0000-0001-7863-2962 (Москва, Российская Федерация)

Микаева Светлана Анатольевна – профессор кафедры электроники ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», доктор технических наук, доцент, ORCID: 0000-0001-6992-455X (Москва, Российская Федерация)

Несмиян Андрей Юрьевич – заместитель директора по научной работе и инновациям Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», доктор технических наук, доцент, ORCID: 0000-0002-5556-1767 (Зерноград, Российская Федерация)

Остриков Валерий Васильевич – заведующий лабораторией использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000-0003-2927-768X (Тамбов, Российская Федерация)

Плотников Сергей Александрович – профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», доктор технических наук, ORCID: 0000-0002-8887-4591 (Киров, Российская Федерация)

Прытков Юрий Николаевич – директор Аграрного института ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Саранск, Российская Федерация)

Рудик Феликс Яковлевич – профессор кафедры технологий продуктов питания ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова», доктор технических наук, ORCID: 0000-0001-8444-0115 (Саратов, Российская Федерация)

Рябочкина Полина Анатольевна – научный руководитель лаборатории оптической спектроскопии лазерных материалов ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», доктор физико-математических наук, профессор, ORCID: 0000-0001-8503-8486 (Саранск, Российская Федерация)

Салем Абдель-Бадед Мохамед – руководитель исследовательских лабораторий в области искусственного интеллекта и знаний, профессор факультета компьютерных и информационных наук университета Айн Шамс, доктор наук в области компьютерных технологий, заслуженный профессор, ORCID: 0000-0003-0268-6539 (Каир, Египет)

Симдянкин Аркадий Анатольевич – профессор кафедры технической эксплуатации транспорта ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева», доктор технических наук, ORCID: 0000-0001-9761-6183 (Рязань, Российская Федерация)

Скрябин Владимир Александрович – профессор кафедры технологий и оборудования машиностроения ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», доктор технических наук, ORCID: 0000-0001-7156-9198 (Пенза, Российская Федерация)

Тарасов Евгений Михайлович – заведующий кафедрой автоматки, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000-0003-2717-7343 (Самара, Российская Федерация)

Федулова Лилия Вячеславовна – заведующий экспериментальной клиникой лаборатории биологически активных веществ животного происхождения ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, доктор технических наук, ORCID: 0000-0003-3573-930X (Москва, Российская Федерация)

Шишелова Тамара Ильинична – профессор кафедры физики ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», доктор технических наук (Иркутск, Российская Федерация)

EDITORIAL BOARD

Petr V. Senin – *Editor-in-Chief*, First Vice-Rector, National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Engr.), Professor, ORCID: 0000-0003-3400-7780, vice-rector-innov@adm.mrsu.ru (Saransk, Russian Federation)

Alexey P. Levitsev – *Deputy Editor-in-Chief*, Head of the Chair of Heat and Power Systems, National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Engr.), Professor, ORCID: 0000-0003-2429-6777, levtzevap@mail.ru (Saransk, Russian Federation)

Svetlana V. Gordina – *Executive Editor*, Member of European Association of Science Editors (EASE), Cand.Sci. (Ped.), ORCID: 0000-0003-2265-418X, vestnik_mrsu@mail.ru (Saransk, Russian Federation)

Surkhay Allahverdiyev – Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor of the Chair of Ecology and Nature Management, Moscow Pedagogical State University (Moscow, Russian Federation); Head of the Forest Industry Chair, Bartin University, Dr.Sci. (Biol.) (Bartın, Turkey)

Mikhail V. Astakhov – Professor of the Chair of Wheeled Machines and Applied Mechanics, Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Dr.Sci. (Engr.), ORCID: 0000-0001-8675-1611 (Kaluga, Russian Federation)

Alexey G. Bulgakov – Professor of the Chair of Industrial and Civil Engineering, Southwest State University (Kursk, Russian Federation); Professor of the Faculty of Civil Engineering, Dresden University of Technology, Dr.Sci. (Engr.), ORCID: 0000-0003-4261-9840 (Dresden, Germany)

Chen Daifen – Vice Dean of the School of Energy and Power, Jiangsu University of Science and Technology; Director of the International Joint Laboratory of Ship Green Power and Emission Control of Jiangsu, Ph.D., Professor, ORCID: 0000-0002-3070-1989 (Zhenjiang, China)

Valeriy P. Dimitrov – Head of the Chair of Quality Management, Don State Technical University, Dr.Sci. (Engr.), Professor, ORCID: 0000-0003-1439-1674 (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Liliya V. Fedulova – Head of the Experimental Clinic of the Laboratory of Bioactive Substances of Animal Origin, V. M. Gorbатов Federal Research Center of Food Systems, Russian Academy of Sciences, Dr.Sci. (Engr.), ORCID: 0000-0003-3573-930X (Moscow, Russian Federation)

Yuriy B. Gerber – Head of the Chair of Technology and Equipment for Producing and Processing Livestock Products, V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Dr.Sci. (Engr.), Professor, ORCID: 0000-0003-3224-6833 (Simferopol, Russian Federation)

Leonid A. Igumnov – Principal Researcher of Research Institute of Mechanics, Lobachevsky Nizhniy Novgorod State University, Dr.Sci. (Phys.-Math.), Professor, ORCID: 0000-0003-3035-0119 (Nizhniy Novgorod, Russian Federation)

Natalia L. Istomina – Head of Physical Sciences Department, Russian Academy of Sciences, Deputy of Academic Secretary for Scientific and Organizational Work; Professor of the Innovation Management Chair, Moscow Aviation Institute (National Research University); Editor-in-Chief, Photonics Russia, Dr.Sci. (Phys.-Math.), ORCID: 0000-0001-6008-1226 (Moscow, Russian Federation)

Vladimir N. Kechemaykin – Director of the Ruzaevka Institute of Mechanical Engineering, National Research Mordovia State University, Cand.Sci. (Econ.), Associate Professor (Saransk, Russian Federation)

Alexander V. Kotin – Professor of the Chair of Mechanization of Agricultural Production Processing, National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Engr.), ORCID: 0000-0001-8235-0052 (Saransk, Russian Federation)

Oleg N. Kukharev – Rector of Penza State Agrarian University, Dr.Sci. (Engr.), Professor, ORCID: 0000-0002-3519-4066 (Penza, Russian Federation)

Fedor V. Kusmartsev – Head of the Physics Department, Loughborough University (Loughborough, Great Britain); Professor of the College of Arts and Sciences, Khalifa University, Ph.D. (Abu Dhabi, UAE)

- Yakov P. Lobachevskiy** – First Deputy Director, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Dr.Sci. (Engr.), Professor, Academician of RAS, ORCID: 0000-0001-7863-2962 (Moscow, Russian Federation)
- Svetlana A. Mikayeva** – Professor of the Chair of Electronics, MIREA – Russian Technological University, Dr.Sci. (Engr.), Associate Professor, ORCID: 0000-0001-6992-455X (Moscow, Russian Federation)
- Andrey Yu. Nesmiyan** – Deputy Director for Research and Innovation, Azov-Black Sea Engineering Institute of Don State Agrarian University, Dr.Sci. (Engr.), Associate Professor, ORCID: 0000-0002-5556-1767 (Zernograd, Russian Federation)
- Valeriy V. Ostrikov** – Head of the Laboratory for the Use of Lubricants and Processed Oil Products, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Dr.Sci. (Engr.), Professor, ORCID: 0000-0003-2927-768X (Tambov, Russian Federation)
- Sergey A. Plotnikov** – Professor of the Chair of Mechanical Engineering Technology, Vyatka State University, Dr.Sci. (Engr.), ORCID: 0000-0002-8887-4591 (Kirov, Russian Federation)
- Yuriy N. Prytkov** – Director of the Institute of Agriculture, National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Agric.), Professor (Saransk, Russian Federation)
- Feliks Ya. Rudik** – Professor of the Chair of Technologies of Food Products, Saratov State Agrarian University, Dr.Sci. (Engr.), ORCID: 0000-0001-8444-0115 (Saratov, Russian Federation)
- Polina A. Ryabochkina** – Chief Scientific Officer of the Laboratory of Optical Spectroscopy of Laser Materials, National Research Mordovia State University, Dr.Sci. (Phys.-Math.), Professor, ORCID: 0000-0001-8503-8486 (Saransk, Russian Federation)
- Abdel-Badeeh M. Salem** – Head of Artificial Intelligence and Knowledge Engineering Research Labs, Professor of the Faculty of Computer and Information Sciences, Ain Shams University, Dr.Sci. (CS), Professor Emeritus, ORCID: 0000-0003-0268-6539 (Cairo, Egypt)
- Tamara I. Shishelova** – Professor of the Chair of Physics, Irkutsk National Research Technical University, Dr.Sci. (Engr.) (Irkutsk, Russian Federation)
- Arkadii A. Simdiankin** – Professor of the Chair of Technical Operation of Transport, Ryazan State Agrotechnological University, Dr.Sci. (Engr.), ORCID: 0000-0001-9761-6183 (Ryazan, Russian Federation)
- Vladimir A. Skryabin** – Professor of the Chair of Technology and Equipment in Mechanical Engineering, Penza State University, Dr.Sci. (Engr.), ORCID: 0000-0001-7156-9198 (Penza, Russian Federation)
- Evgeniy M. Tarasov** – Head of the Chair of Automatics, Telemechanics and Communication on Railway Transport, Samara State Transport University, Dr.Sci. (Engr.), Professor, ORCID: 0000-0003-2717-7343 (Samara, Russian Federation)
- Sergey Yu. Zhachkin** – Professor of the Chair of Automated Equipment for Machine Building Production, Voronezh State Technical University, Dr.Sci. (Engr.), ORCID: 0000-0002-1844-5011 (Voronezh, Russian Federation)
- Olga Ye. Zheleznikova** – Director of the Institute of Electronics and Light Engineering, National Research Mordovia State University, Cand.Sci. (Engr.), Associate Professor (Saransk, Russian Federation)



СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Пальвинский В. В., Васильев Ф. А., Евтеев В. К. Методы обработки органосодержащего сырья перед анаэробным сбраживанием.....	10
Юрченко И. Ф. Безопасность автоматизированных технологий регулирования мелиоративного режима агроэкосистемы	28
Гербер Ю. Б., Гаврилов А. В. Обоснование параметров технологии производства йогурта с добавлением плодов зизифуса.....	41
Шалавина Е. В., Уваров Р. А., Васильев Э. В. Методика расчета распределения общего азота и общего фосфора между фракциями свиного навоза	54

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Уланов А. С., Купряшкин В. Ф., Наумкин Н. И., Тимохин С. В., Гусев А. Ю., Купряшкин В. В. Обоснование конструкции стенда для динамических испытаний ведущих колес транспортно-технологических машин АПК	71
Пахомов В. И., Камбулов С. И., Божко И. В., Пархоменко Г. Г. Результаты исследований агротехнических показателей селекционной сеялки «Деметра».....	90
Левцев А. П., Лысяков А. И. Энергонезависимая система отопления с улучшенной энергоэффективностью для сельскохозяйственных помещений	110
Зинцов А. Н., Ковалев М. М., Перов Г. А. Вероятностная модель кинематики устройства для уменьшения растянутости стеблей льна-долгунца в ленте.....	126
Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., Сазонов Н. В. Основы разработки автоматизированных машин для возделывания, уборки и послеуборочной обработки овощных культур и картофеля с цифровыми системами управления.....	145
<i>Информация для авторов и читателей (на рус. яз.)</i>	174
<i>Информация для авторов и читателей (на англ. яз.)</i>	176

CONTENTS

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

Palvinskiy V. V., Vasilev F. A., Evteev V. K. Methods of Pretreating Raw Materials Containing Organic Compounds before Anaerobic Digestion.....	10
Yurchenko I. F. Safety of Automated Technologies for Regulating the Reclamation Regime of Agroecosystem	28
Gerber Yu. B., Gavrilov A. V. Substantiation of the Parameters of the Production Technology for Yoghurt with the Addition of Ziziphus Fruits.....	41
Shalavina E. V., Uvarov R. A., Vasilev E. V. Calculation Methods of Total Nitrogen and Total Phosphorus Distribution in Pig Manure Fractions.....	54

TECHNOLOGIES AND MEANS OF AGRICULTURAL MECHANIZATION

Ulanov A. S., Kupryashkin V. F., Naumkin N. I., Timokhin S. V., Gusev A. Yu., Kupryashkin V. V. Rationale for the Design of the Stand for Dynamic Testing of Drive Wheels of Agricultural Transport and Technological Machines	71
Pakhomov V. I., Kambulov S. I., Bozhko I. V., Parkhomenko G. G. The Results of Studying Agronomic Indicators of the Demetra Selection Seeder	90
Levtsev A. P., Lysyakov A. I. Energy-Independent Heating System with Improved Energy Efficiency for Agricultural Premises.....	110
Zintsov A. N., Kovalev M. M., Perov G. A. Probabilistic Model of the Kinematics of the Device for Reducing Elongation of Flax Fiber Stems in the Tape	126
Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Aksenov A. G., Mosyakov M. A., Sazonov N. V. Basis of Developing Automated Machines with Digital Control Systems for Cultivating, Harvesting and Postharvest Processing of Vegetable Crops and Potatoes.....	145
<i>Information for Authors and Readers of the Journal (in Russian)</i>	174
<i>Information for Authors and Readers of the Journal (in English)</i>	176

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ / PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

УДК 628.336.3

doi: 10.15507/2658-4123.032.202201.010-027

Научная статья



Методы обработки органосодержащего сырья перед анаэробным сбраживанием

В. В. Пальвинский*, **Ф. А. Васильев**, **В. К. Евтеев**
Иркутский ГАУ (пос. Молодежный, Российская Федерация)
* palvinskiy@igsha.ru

Аннотация

Введение. Накопленные объемы органосодержащих переработанных отходов в России увеличиваются. Существующие технологии позволяют перерабатывать такие отходы путем анаэробного сбраживания с получением биогаза и удобрений. Органическая часть отходов, в большинстве своем, состоит из трудноразалагаемых лигнина, целлюлозы и внеклеточных полимеров, затрудняющих анаэробную переработку. Для обеспечения биодоступности сырья для микроорганизмов и более глубокого разложения необходимо проводить предварительную обработку. Существует множество вариантов различных видов обработки, имеющих свои особенности воздействия на сырье. Для более ясного понимания процессов предварительной подготовки органического сырья перед анаэробным сбраживанием и повышения качества принимаемых решений необходимо выявить и систематизировать методы предварительной обработки.

Материалы и методы. Предметом исследования является воздействие методов, способов и частных приемов предобработки на анаэробное сбраживание. Основной метод исследования – анализ данных по применению различных методов для повышения биодоступности и степени разложения органических веществ отходов при анаэробном сбраживании.

Результаты исследований. Разработана схема подготовительных операций и методов предобработки органических отходов перед анаэробным сбраживанием. Выявлено, что каждый метод (механический, термический, электромагнитный, химический, биологический и комбинированный) содержит множество способов, которые подразделяются на частные приемы. Описаны механизмы воздействия, улучшающие дальнейшую переработку.

Обсуждение и заключение. Выбор того или иного метода и способа предобработки зависит от цели и выполняемых задач, физического и химического состава сырья, доступа к энергетическим, биологическим и химическим ресурсам. Преимущества и недостатки различных методов необходимо более подробно изучать и ранжировать на частные способы по энергетическим затратам и эффекту, который они дают. В ходе сопоставления результатов исследований выявлены недостатки и трудности.

© Пальвинский В. В., Васильев Ф. А., Евтеев В. К., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Ключевые слова: органосодержащие отходы, предварительная обработка, биогаз, анаэробное сбраживание, биоразлагаемость, гидролиз, ацидогенез, ацетогенез, метаногенез

Благодарности: авторы благодарят анонимных рецензентов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пальвинский В. В., Васильев Ф. А., Евтеев В. К. Методы обработки органосодержащего сырья перед анаэробным сбраживанием // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 10–27. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.010-027>

Original article

Methods of Pretreating Raw Materials Containing Organic Compounds before Anaerobic Digestion

V. V. Palvinskiy*, F. A. Vasilev, V. K. Evteev

Irkutsk State Agricultural University (Molodezhnyy, Russian Federation)

* palvinskiy@igsha.ru

Abstract

Introduction. The volume of accumulated organ-containing non-recyclable waste products in Russia is increasing. Existing technologies make it possible to recycle these waste products through using anaerobic digestion to produce biogas and fertilizers. The organic portions of waste consist mostly of hard-to-degrade lignin, cellulose, and extracellular polymers, which make anaerobic digestion difficult. Pretreating is necessary to make the raw materials available to microorganisms for bioavailability and deeper degradation. There are many different types of pretreating with their own specific effects on the raw materials. To improve understanding the process of pretreating organic raw materials prior to anaerobic digestion, and to improve the quality of the decisions made, pretreatment methods need to be identified and systematized.

Materials and Methods. The subject of the study is the relationship between the effects of methods, techniques and specific operations of pretreatment for anaerobic digestion. The main method of this study is the analysis of data on the application of different methods to increase the bioavailability and degree of decomposition of organic matter of waste products during anaerobic digestion.

Results. The scheme of preparatory operations and methods for pre-treatment of organic waste products before anaerobic digestion is developed. It is revealed that each method (mechanical, thermal, electromagnetic, chemical, biological and combined) contains many practices, which are divided into particular techniques. The mechanisms of influence that improve further processing are described.

Discussion and Conclusion. The choice methods of pretreatment depends on the purpose and tasks performed, the physical and chemical composition of raw materials, access to energy, biological and chemical resources. Advantages and disadvantages of various methods should be studied in more detail and ranked into private methods according to energy costs and the effect they produce. The comparison of the research results reveals disadvantages and difficulties.

Keywords: organ-containing waste products, pre-treatment, biogas, anaerobic fermentation, biodegradability, hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis, methanogenesis

Acknowledgments: The authors would like to thank the anonymous reviewers.

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Palvinskiy V.V., Vasilev F.A., Evteev V.K. Methods of Pretreating Raw Materials Containing Organic Compounds before Anaerobic Digestion. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2022; 32(1):10-27. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.010-027>

Введение

Ежегодно на территории Российской Федерации производится колоссальный объем органосодержащих отходов. К ним относятся отходы агропромышленного комплекса, осадки сточных вод и твердые бытовые отходы. В количественном выражении предприятия АПК, включающие отрасли животноводства, растениеводства и другие, ежегодно производят 772,6 млн т отходов с содержанием 228 млн т сухого вещества (СВ); города РФ – более 80 млн м³ осадков сточных вод (ОСВ) с 3-процентным содержанием сухого вещества и около 30 млн т твердых бытовых отходов с содержанием 40–65 % СВ, из которых 68–80 % являются органическими [1]. Привлекательным способом переработки органосодержащего сырья является анаэробное сбраживание с получением биогаза и органических удобрений (в зависимости от исходного сырья).

Анаэробное сбраживание представляет собой сложный биологический процесс, состоящий из четырех этапов: гидролиз, ацидо-, ацето- и метаногенез¹. Повлиять на процесс сбраживания возможно различными способами: управляя дозой загрузки, режимом сбраживания и др. [2–4].

Органические отходы содержат трудноразлагаемые соединения, поэтому высокий потенциал имеет предварительная подготовка субстрата, состоящая из сложного комплекса мероприятий, на всех этапах: от момента

образования отхода, доставки, обработки и до загрузки в реактор². В этом комплексе особое место занимает операция, направленная на повышение биодоступности органического вещества (ОВ) субстрата, которая называется предварительной обработкой (предобработкой) [5; 6].

Цель исследования – систематизировать существующие методы предварительной обработки органосодержащего сырья для анаэробного сбраживания и определить особенности их использования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выявить существующие методы;
- описать механизм воздействия того или иного метода на органическое сырье;
- систематизировать данные методы в зависимости от рода преобладающих сил, участвующих в процессе деградации сырья.

Обзор литературы

В мировой научной литературе наблюдается высокий интерес к методам предварительной обработки органических отходов. Данному вопросу посвящена обзорная работа, в которой рассматриваются методы и способы предобработки органических отходов, содержащих лигноцеллюлозу [5]. Рассмотрено действие некоторых способов на составляющие лигноцеллюлозы: целлюлозу, гемицеллюлозу и лигнин. Особое внимание авторы акцентируют на применении термических методов

¹ Биотехнология и микробиология анаэробной переработки органических коммунальных отходов : коллективная монография / под общ. ред. А. Н. Ножевниковой. М. : Университетская книга, 2016. 320 с.

² Подготовка органосодержащего сырья к анаэробному сбраживанию / В. К. Евтеев [и др.] // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Мат. науч.-практ. конф. Иркутск : Иркутский ГАУ, 2019. С. 109–116.

(steam and liquid hot water pretreatments) и химических методов (lime and ammonia based pretreatments). Продолжением данного исследования является публикация, в которой представлен масштабный обзор методов предобработки (проанализировано более 260 источников) избыточного (отработанного) активного ила [6]. Авторы указывают на противоречивость результатов некоторых публикаций, сложность в сопоставлении результатов. Одним из основных подходов сопоставления стал энергетический баланс. Сделан вывод об эффективности термических методов и их комбинации с биологическими. При этом указываются недостатки: высокая энергоемкость и необходимость серьезных капитальных затрат в случае применения. Авторы также отмечают перспективность и других менее эффективных, но имеющих более низкие затраты методов.

Рассматривалось влияние предварительной обработки биомассы с преобладающим содержанием лигнина и целлюлозы на эффективность гидролиза. В результате авторы пришли к выводу, что для ускорения данной стадии имеет смысл обрабатывать только травянистое сырье [4]. Глубокая обработка древесной массы становится энергетически нецелесообразной, так как для получения значимого эффекта требует в 10–20 раз больше затрат энергии в сравнении с травянистым сырьем. Эффективность предварительной обработки травянистой биомассы была подтверждена другой группой исследователей [7]. Получен дополнительный энергетический эффект от увеличения выхода биогаза после вычета затрат на предобработку.

Эффект механической обработки подтвержден в работе Б. Ламзала и коллег. Однако авторы отмечают, что сочетание экструзии с добавлением органических растворителей не привело к значимым результатам. Только их

удаление позволило добиться повышения эффективности [8].

Ряд работ посвящен изучению влияния ультразвука при обработке осадка сточных вод. З. Якои с соавторами дополнительно рассматривают влияние микроволнового излучения на осадок. Они полагают, что существенным плюсом ультразвуковой и микроволновой обработки является энергетическая эффективность, а также возможность комбинирования с другими методами [9]. Исследователи под руководством Н. Т. Ле считают ультразвук передовой технологией в обработке осадков сточных вод. В своей работе авторы приводят обзор оценочных подходов эффективности предварительной обработки [10].

Авторы другого исследования считают, что для лигноцеллюлозного сырья лимитирующим этапом в процессе анаэробного сбраживания является гидролиз, а наиболее перспективный способ – ферментативная предобработка. При этом в сравнении с микробиологическими процессами она начинается немедленно, протекает с высокой скоростью, что существенно ускоряет и улучшает общий процесс переработки [11].

К. Земинский и коллеги добились хороших результатов при ферментативной обработке промышленных отходов целлюлозы сахарной свеклы на этапе гидролиза, существенно увеличив выход биогаза при последующем анаэробном сбраживании [12].

Изучено влияние озонирования и ферментативной обработки пшеничной соломы на стадию гидролиза. Получены оптимальные значения влажности и дозы внесения озона, позволившие значительно увеличить степень конверсии полисахаридов [13].

Термический гидролиз подробно рассматривается в работе под руководством Э. Каррер. Авторы отмечают, что данный способ обработки

обеспечивает значительное повышение производительности, улучшает скорость и степень деградации, но при этом необходимы существенные энергетические затраты [14].

Дана оценка влиянию кислотной предварительной обработки на осадок активного ила сточных вод. Ученые добились значительного ускорения процесса сбраживания и умеренного повышения выхода биогаза. Однако экономическая оценка показала неэффективность такого вида обработки, несмотря на положительные результаты [15].

Рассмотрено влияние термохимической предварительной обработки жома сахарного тростника на выход биогаза. Исследователи добились кратного увеличения выхода биогаза с высокой степенью делигнификации [16].

Выбор метода предварительной обработки является сложным этапом при проектировании технологического процесса анаэробного сбраживания. Т. Каруппях и соавторы проанализировали 87 источников и утверждают, что данный выбор должен производиться не только на основе энергетического баланса, но и с учетом различных факторов окружающей среды, удаления патогенов, применения химикатов при сохранении возможности дальнейшего использования продуктов переработки в качестве удобрения, воздействия на здоровье человека и окружающую среду. Биологические методы лишены недостатков механических, термических и химических методов, но имеют свой существенный минус: увеличение времени обработки. Это делает его малоприменимым для крупномасштабных заводов, имеющих земельные ограничения для расширения занимаемой площади [17].

Материалы и методы

В данной работе рассмотрены методы предварительной обработки органосодержащего сырья для анаэробного сбраживания. Предметом исследования

являются взаимосвязи воздействия методов, способов и частных приемов предобработки на анаэробное сбраживание. В ходе работы изучены имеющиеся в мировой научной литературе данные по применению различных методов для повышения биодоступности, степени разложения органических веществ отходов при анаэробном сбраживании. В качестве исходных данных для анализа использовалась научная информация из периодических изданий, монографий и диссертаций, отображающих результаты испытаний различных способов обработки в разных масштабах. На основе анализа отдельных литературных источников произведена попытка систематизировать методы предварительной обработки. При описании методов предобработки авторы использовали абстрагирование, а при рассмотрении отдельных способов и частных приемов – конкретизацию.

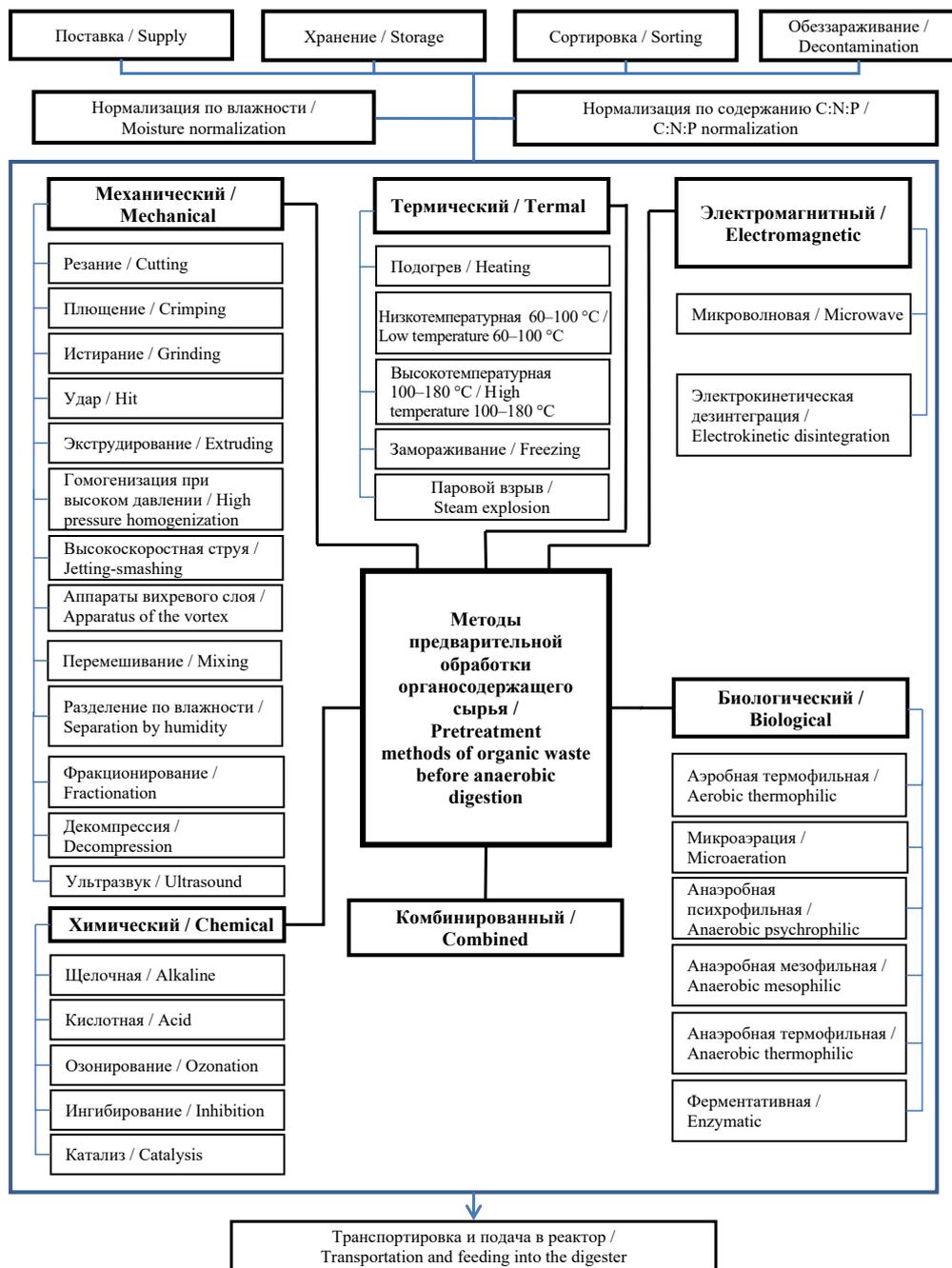
Результаты исследования

Независимо от вида субстрата все методы предварительной обработки можно группировать по роду энергии, затрачиваемой на технологический процесс, на механический, термический, электромагнитный, химический, биологический и комбинированный (рис.).

Механический метод

В основе механического метода обработки лежит процесс разделения частиц путем приложения внешних сил, превосходящих силы межмолекулярного сцепления. Сюда относятся резание, плющение, истирание, удар, экструдирование, гомогенизация и др.

Резание реализуется в ножевых измельчителях. Процесс резания состоит из двух этапов: уплотнения и разрушения. В зависимости от способа воздействия на материал существует три способа: пуансоном (штамп), резцом (клин) и лезвием (нож). Практика показывает, что резанием хорошо измельчаются растительные остатки кормов,



Р и с. Подготовительные операции и методы предварительной обработки органических отходов перед анаэробным сбраживанием

F i g. Preparatory operations and pretreatment methods of organic waste before anaerobic digestion

имеющие относительно невысокую влажность до 30 %. В зарубежной литературе упоминается оптимальный размер лигниноцеллюлозного сырья 1–2 мм, оптимальный размер 40 меш (размер соответствует сетке, получаемой 40 нитями на 1 дюйм) [5; 18].

При плющении материал раздавливается гладкими поверхностями под действием сжимающей силы и увлекается вращательными вальцами. Истирание реализуется похожим на плющение способом, но здесь имеет место разная скорость вращения вальцов и поэтому, помимо сжимающей силы, добавляется продольная разрывающая сила.

Ударом материал разрушается в молотковых дробилках и подобных машинах. Данный способ практически не используется при измельчении высоковлажных субстратов. В сравнении с резанием потребляется в 2–5 раз больше энергии, но зато данный способ менее восприимчив к наличию в сырье камней или металлических включений.

Следует отметить, что при измельчении истиранием и ударом частицы имеют вытянутую (нитевидную) форму в связи с преобладающим разрушением вдоль волокон. При измельчении ножом частицы имеют неправильную форму с небольшой разностью между наименьшим и наибольшим габаритным размером.

При экструдировании материал обрабатывается под давлением до 300 кгс/см², при этом температура возрастает до 300 °С. Такой способ повышает скорость биоразложения и позволяет увеличить дозу загрузки³. В работе М. Хьорт и соавторов представлены результаты

исследований по влиянию экструдирования при обработке соломы, свежескошенной травы, разделенного на фракции навоза крупного рогатого скота и глубокой подстилки [7]. Оценочными параметрами служили выход биогаза и затраты энергии на предобработку. Установлено, что при обработке температура повышалась от 5 до 35 °С. Ускорила процесс деградации труднорастворимых органических соединений. Выход метана увеличился через 28 дней на 18–70 %, через 90 дней – на 9–28 %. Дополнительно полученная энергия составила 6–68 %. К 90-му дню образцы были ранжированы по отзывчивости на предобработку следующим образом: трава = солома = осадок жидкого навоза < твердая фракция сепарированного навоза < глубокая подстилка.

В другой работе при предобработке экструдированием пшеничных отрубей влажностью 12,8 % оценочным параметром эффективности являлось содержание сахара после этапа гидролиза [8]. Контролируемыми параметрами выступали затраты энергии и температура, зависящие от частоты вращения шнека. При разных режимах работы экструдера установлено, что при затратах энергии на экструдирование в районе 1 500 кДж/кг повышение выхода сахаров достигает 30 %. Этому соответствовали частота вращения шнека и температура сырья на выходе 3,7 с⁻¹ / 110 °С и 7 с⁻¹ / 150 °С соответственно.

В настоящее время активно исследуется предварительная обработка субстрата в аппаратах вихревого слоя⁴ [19]. Суть работы данных аппаратов состоит в том, что в качестве рабочих органов

³ Montgomery L., Bochmann G. Pretreatment of Feedstock for Enhanced Biogas Production. IEA Bioenergy, 2014. 20 p.

⁴ Собченко Ю. А., Ковалев Д. А., Ковалев А. А. Предварительная обработка жидких органических отходов в аппарате вихревого слоя для анаэробного сбраживания // Молодая наука аграрного Дона: традиции, опыт, инновации : сб. науч. трудов студентов и молодых исследователей. 2018. Т. 2. № 2. С. 198–200.

используются ферромагнитные частицы, например стальные иглы, которые вместе с обрабатываемым продуктом размещаются в магнитном поле, создаваемом индуктором. В качестве индуктора может быть использован статор электрического асинхронного двигателя. Под действием данного поля ферромагнитные частицы вращаются, одновременно измельчая и смешивая подаваемый субстрат. В процессе работы ферромагнитные частицы изнашиваются и попадают в сбраживаемый субстрат. Данное явление имеет положительные стороны, например: сокращение периода запуска биореактора, интенсификация процесса сбраживания, более глубокое разложение органического сухого вещества и увеличение конечного выхода метана. При обработке в аппарате вихревого слоя производится не только простое механическое измельчение и гомогенизация, но и катализ, наблюдаются электромагнитные и другие процессы активации.

Гомогенизация. Гомогенизация направлена на снижение степени неоднородности химического и фазового состава гетерофазного субстрата. Она может протекать за счет кавитации, возбуждаемой в среде при помощи высокоскоростного механического перемешивания или ультразвука, а также за счет механического перемешивания с высокими значениями градиента сдвига.

Известно, что при давлении 0,5 МПа и пятикратной обработке на гомогенизаторе высокого давления глубина разложения ОСВ при анаэробном сбраживании на 15 % больше, чем со сбраживанием без обработки⁵.

При наличии в субстрате большого количества жира гомогенизация

может значительно стабилизировать процессы сбраживания. В гомогенизаторах высокого давления из-за разности давлений жировой шарик вытягивается в нить и дробится на более мелкие. В процессе гомогенизации число жировых шариков увеличивается в 125–1 000 раз, а площадь возрастает до десяти раз. При гомогенизации иловые хлопья и клетки также разрушаются за счет сдвига. Гомогенизаторы отличаются простотой конструкции и эксплуатации [11; 17].

Высокоскоростная струя. Известны иные гидродинамические способы предобработки. Так, для разрушения хлопьев осадок под высоким давлением в виде струи выходит из сопла со скоростью 30–100 м/с и ударяется о пластину. При ударе в зоне контакта пластины и струи происходит резкое повышение давления, которое и вызывает разрушение⁶.

Декомпрессия. Существует способ, при котором осуществляется ввод газа (CO_2) в поток субстрата под избыточным давлением 3–6 кгс/см², а затем давление резко сбрасывают, и газ разрывает клетки, увеличиваясь в объеме до 18 раз⁷. Разложение органического вещества улучшается до 50 %. К особенностям данного способа можно отнести то, что высвободившиеся внутриклеточные вещества не переизмельчаются, но при этом становятся доступными для микроорганизмов. Также такой способ можно использовать, когда есть необходимость охладить субстрат, одновременно повысив его биодоступность. Охлаждение достигается за счет адиабатического расширения газа. Реализация данного способа в промышленном масштабе не осуществлялась.

⁵ Lu J. Optimization of Anaerobic Digestion of Sewage Sludge Using Thermophilic Anaerobic Pre-Treatment. PhD Thesis. Technical University of Denmark, 2007. 59 p.

⁶ Biogas Production: Pretreatment Methods in Anaerobic Digestion / ed. by A. Mudhoo. John Wiley & Sons, 2012. 322 p.

⁷ Там же.

Ультразвук. Воздействие акустических волн на субстрат при частоте более 20 кГц вызывает локальные колебания скорости в среде. В результате при резком локальном ускорении жидкости возникают точки с низким давлением, где мгновенно образуются пузырьки, а при снижении скорости резко схлопываются [10]. В зоне схлопывания возникают высокие давления (до 200 МПа) и температура, разрушающие структуру контактирующего вещества.

Под воздействием ультразвукового поля до 100 Вт/см² разрушаются стенки клеток, обеспечивается легкий доступ к содержимому клеток. Нерастворимая форма органического вещества переходит в растворимую форму и становится доступной для микроорганизмов⁸. Однако в случае переизмельчения ультразвуком ОСВ высвободившиеся внутриклеточные полимеры образуют хлопья, препятствующие процессу. Для их частичного разрушения дополнительно необходимо затратить энергию в количестве 1 000 кДж/кг TS. Для полного разрушения потребуется 5 000 кДж/кг TS⁹. При очистке сточных вод использование ультразвука способствует повышению выхода биогаза до 50 %¹⁰.

Данные особенности делают ультразвук эффективным средством для диспергирования, деагломерации, дробления, тонкого измельчения и дезинтеграции частиц микронного и субмикронного размера. Следует отметить, что ультразвук является хорошо контролируемым средством разрушения клетки, позволяющим избегать беспрепят-

ственного извлечения нежелательных внутриклеточных продуктов.

Полномасштабные исследования с применением ультразвуковой обработки для ОСВ в США, Великобритании, Австралии, Германии, Австрии, Швейцарии, Италии, Японии показали, что реально достичь повышения производства биогаза до 50 %. Выход товарной энергии был увеличен в 2,5 раза, при том, что 2,2 кВт·ч, используемые для реализации технологии, были генерированы за счет полученного биогаза¹¹.

В результате обзора З. Якоби и коллеги пришли к выводу, что ультразвуковая обработка особенно эффективна при сочетании с химическими методами (обработка NaOH, H₂O₂). Также авторы убеждены в необходимости продолжения исследований, в особенности устройств для обработки в непрерывном режиме [9].

Электромагнитный метод

Электрогидравлический удар для предварительной обработки позволяет ускорить процесс гидролиза на 30–52 %. Это приводит к сокращению сроков анаэробной обработки в два раза (с 20 до 10 суток)¹² [20]. Электродезинтеграция сточных вод обеспечивает прирост биогаза до 20 %¹³.

Микроволновое облучение достаточно хорошо изучено при обработке осадков городских сточных вод. Известно, что микроволновая обработка ОСВ обеспечивает ускорение процесса анаэробного сбраживания, улучшает степень разложения органического вещества, позволяет получать более

⁸ Повышение эффективности обработки субстрата с помощью устройства Wisesoil / М. А. Терпелец [и др.] // Труды II научно-технической конференции молодых ученых Уральского энергетического института. Екатеринбург : УрФУ, 2017. С. 220–223.

⁹ Biogas Production: Pretreatment Methods...

¹⁰ Терпелец М. А., Арбузова Е. В., Смотрицкий А. В. Увеличение выхода биогаза за счет предварительной обработки субстрата // Статья в сборнике «Перспективные энергетические технологии. Экология, экономика, безопасность и подготовка кадров». Екатеринбург : УрФУ, 2016. С. 150–153.

¹¹ Biogas Production: Pretreatment Methods...

¹² Lu J. Optimization of Anaerobic Digestion...

¹³ Повышение эффективности обработки субстрата...

обезвоженный осадок и инактивирует патогенные микроорганизмы [11]. Исследователи нагревали активный ил до температуры 91 °С с помощью микроволновой обработки частотой 2 450 МГц. Благодаря этому удалось добиться увеличения выхода биогаза на 79 % по сравнению с контрольным образцом. В результате солиобитизация была повышена на 64 % [21].

При обработке сырья микроволнами действуют два механизма: тепловой – быстро меняющееся электромагнитное поле приводит к колебанию ионов и поляризованных молекул в субстрате, за счет чего происходит нагрев массы; нетепловой – под воздействием электромагнитного поля поляризованные молекулы стремятся занять положение, соответствующее силовым линиям, что приводит к нарушению части водородных связей [11].

Следует учитывать, что микроволновая обработка используется в большей степени для быстрого равномерного нагрева высоковлажного сырья, а сопутствующая дезинтеграция материала является дополнительным бонусом такой обработки. Однако при больших объемах переработки отходов такой способ будет экономически нецелесообразен, так как для получения дополнительного дезинтеграционного эффекта необходимо будет затрачивать 100 % энергии в виде микроволн на всю массу вновь поступающего на обработку субстрата, что в свою очередь практически исключит использование рекуперационных теплообменников.

Термическая обработка

При тепловом воздействии на субстрат увеличивается скорость гидролиза, уменьшается время гидравлического пребывания (HRT), повышается выход биогаза благодаря более полному преобразованию органических соединений

в летучие жирные кислоты [11]. Помимо этого, обеспечивается дезинфекция и снижение вязкости. К недостаткам можно отнести ингибирование аммиаком, увеличение его растворимой фракции, ухудшение центрифугирования.

Выделяют низко- и высокотемпературную предварительную термическую обработку. Низкотемпературной считается обработка, протекающая в диапазоне 60–100 °С. Высокотемпературная – от 100 до 180 °С. Данный вид воздействия часто используется при обработке активного ила сточных вод. Под влиянием высоких температур происходит разрушение клеточных стенок, обеспечивая микроорганизмам более легкий доступ. Белки, содержащиеся в субстрате, также становятся более доступными для биоконверсии. При времени обработки активного ила HRT = 30–60 мин. и температуре $t_{opt} = 160–180$ °С можно достичь увеличения выхода биогаза до 100 %¹⁴ [14].

Помимо высоких температур, на выход биогаза оказывает влияние низкотемпературная обработка. Так, замораживание и размораживание активного ила с последующим анаэробным сбраживанием дает увеличение выхода биогаза на 7 %. Это происходит из-за разрыва клеточных стенок при фазовом переходе жидкости во время кристаллизации.

Биологический метод

Основу данного метода предобработки составляет использование различных микроорганизмов, грибков и ферментов, которые позволяют улучшить разложение лигноцеллюлозы.

Указывается, что предразрушение лигноцеллюлозы возможно производить специальными сообществами микроорганизмов за счет выделения ими веществ белковой природы – ферментов. При этом действие данных

¹⁴ Lu J. Optimization of Anaerobic Digestion...

ферментов возможно с синергетическим эффектом¹⁵.

Одним из самых простых и эффективных биологических способов является микроаэрация. В зависимости от температуры она может быть мезофильной и термофильной. В литературе представлены положительные эффекты от обработки при температуре 70 °С с выдержкой 5 ч, что позволило увеличить выход биогаза на 150 %. Мезофильная микроаэрация первичного ила (37 °С, экспозиция – 4 сут.) позволила ускорить фазу гидролиза до 60 % [22].

Анаэробная предварительная обработка избыточного и первичного ила в психро-, мезо- и термофильном режиме ускорила фазу гидролиза на 13, 17 и 20 % соответственно, а также способствовала увеличению жирных кислот на 54, 64 и 80 % [23]. К положительным сторонам данной обработки можно отнести тот факт, что одновременно с биоразложением может происходить пастеризация обрабатываемого субстрата с инактивированием до безопасного уровня большинства патогенных микроорганизмов. Для этого необходимо соблюдать время выдержки в зависимости от температурного режима: 7 мин. при 70 °С, 30 мин. при 65 °С, 2 ч при 60 °С, 15 ч при 55 °С и 3 дня при 50 °С¹⁶.

Ферментная обработка направлена главным образом на удаление лигнинового уплотнения из лигноцеллюлозы (процесс делигнификации). В одном из проанализированных исследований представлены результаты по ферментативной обработке жома сахарной свеклы и отработанного хмеля как отходов с высоким содержанием клетчатки (85,1 и 57,7 % СВ соответственно) [12]. В результате наиболее эффективной оказалась предобработка (фаза гидролиза) в течение суток смесью ферментных

препаратов Celustar XL и Agroprest romase (3:1, об./об.). Выход биогаза увеличился для первого субстрата на 19 %, для второго на 13 % в сравнении с неферментированными субстратами. При этом качество биогаза улучшилось в обоих случаях.

Аэробное предварительное компостирование. Для выполнения данной операции необходимо обеспечить доступ кислорода к органическому веществу. Это достигается естественным аэрированием или целенаправленным вентилированием массы. Кислород, содержащийся в воздухе, вступает в реакцию с органическим веществом и вызывает разогрев массы до 60 °С и более. С повышением влажности массы более 60 % скорость разогрева уменьшается. При влажности менее 25 % разогрев практически прекращается [24]. Компостирование проводят в течение 2–4 дней.

Положительными сторонами биологической предобработки являются предварительное раскрытие клеток, саморазогрев массы, нарушение структуры твердых веществ, входящих в субстрат. Саморазогрев массы впоследствии позволит сэкономить на тепловых затратах при подаче на сбраживание. Нарушение структуры обеспечивает более низкие энергетические затраты при последующем измельчении субстрата, так как создадутся будущие точки напряженности, через которые будут проходить линии разрыва при разрушении материала.

К недостаткам данного способа можно отнести следующие особенности:

- тепло вырабатывается из органического вещества, входящего в субстрат, и из него уже не получится извлечь биогаз;
- при активном вентилировании массы вместе с воздухом теряется

¹⁵ Biogas Production: Pretreatment Methods...

¹⁶ Lu J. Optimization of Anaerobic Digestion...

часть полезных минеральных веществ, загрязняя атмосферу и снижая будущие удобриельные свойства переработанного сырья.

Обобщая, можно отметить, что биологическая предобработка считается перспективным экологически чистым подходом с потенциальными преимуществами перед физико-химическими технологиями, такими как более высокие энергетические и материальные затраты, упрощенные процессы и менее сложное оборудование [25].

Паровой взрыв. При такой обработке сырье подвергается термическому и физическому воздействию в течение заданного промежутка времени, после чего давление резко уменьшается. Частички разрываются за счет внутреннего давления, возникающего при резко фазовом переходе жидкости в газообразное состояние. Установлено, что взрыв пара, как правило, возникает при температуре от 160 до 260 °C и давлении от 6,9 до 48,3 кгс/см². Здесь степень гидролиза определяют такие факторы, как продолжительность, температура, влажность и размер лигноцеллюлозной биомассы¹⁷.

Химическая обработка

Суть химической обработки в разрушении сложных органических соединений на более простые под действием химических веществ. При химической обработке применяют щелочи, кислоты, органические растворители, озонирование, добавление ингибиторов и катализаторов [15]. Использование NaOH в дозировке 40 мэкв/л в течение 24 ч позволяет ускорить процесс метангенерации и повышает количество вырабатываемого биогаза в среднем на 43,4 % [26]. Предварительная обработка осадка сточных вод озонированием в дозировке 0,015–0,05 г/г

СВ улучшает гидролиз на 19–37 % [27]. Внесение в субстрат сульфата железа в дозе 0,25–1,0 % от массы обрабатываемого субстрата ускоряет процесс метангенерации и повышает количество вырабатываемого биогаза в среднем на 43,4 % [26].

Представлены результаты комбинированной обработки жома сахарного тростника пероксидом водорода с последующей гидротермической обработкой. Предварительная обработка окислителем позволила увеличить выход метана на 118,64 % по сравнению с необработанным жомом [16]. К недостаткам окислительных способов можно отнести дороговизну и специальные условия обработки.

При щелочной обработке происходит набухание органических частиц, что делает их более восприимчивыми к ферментации. Добавлением щелочи можно нейтрализовать избыточные органические кислоты на начальном этапе, ослабляя их ингибирующее воздействие. Щелочная обработка (NaOH) пшеничной соломы при комнатной температуре привела к повышению выхода биогаза до 100 %, обработка активного ОСВ ила позволила повысить растворимость органических веществ на 46 %¹⁸.

Главными недостатками химической обработки являются дороговизна реагентов, необходимость проведения дополнительных операций по удалению реактивов. На данном фоне предпочтительнее выглядит способ озонирования. Озонирование в дозе 0,05–0,50 г O₃ на 1 г твердого вещества достаточно. Корреляция наблюдается до дозы 0,15 г O₃/1 г TS. Затем резко снижается [28]. В другой работе при озонировании пшеничной соломы определен оптимальный расход озона. При этом наблюдается максимальный выход сахаров, который

¹⁷ Biogas Production: Pretreatment Methods...

¹⁸ Там же.

составил 3 ммоль/г. Авторами также отмечается, что аналогичный оптимум достигнут при обработке опилок осины [13]. Несмотря на плюсы, озонирование имеет ряд значимых недостатков: существенная стоимость установки, потребность в высокой квалификации обслуживающего персонала, особые условия по охране труда.

Следует отметить, что одним из возможных направлений повышения эффективности предварительной обработки является поиск оптимальных комбинированных вариантов. Совмещением различных методов и способов возможно добиться синергетического эффекта. Например, применение при обработке активного ила ультразвука с обработкой NaOH улучшает фазу гидролиза [9].

Обсуждение и заключение

Анализ литературных источников позволяет выделить следующие методы предварительной обработки органических отходов: механический, термический, электромагнитный, химический, биологический и комбинированный. Из вышеизложенного следует, что практически все представленные методы ведут к повышению биодоступности обрабатываемого субстрата и улучшают анаэробное сбраживание. Каждый метод содержит способы, которые подразделяются на частные приемы. Выбор зависит от задач, сырья (химический состав, размеры частиц, влажность, биологическая активность), возможности переработки. Преимущества и недостатки необходимо более подробно изучать. Важно ранжировать частные способы по энергетическим затратам и эффекту, который они дают. Также имеют место эксплуатационные затраты, на которые влияют материалоемкость, стоимость реагентов, бактерий, ферментов, уровень квалификации персонала, требования к безопасности.

Необходимо тщательно взвешивать все за и против. Стоит обращать внимание на вероятность сбоев. Эти риски необходимо учитывать.

В результате проведенного исследования авторы пришли к следующим выводам:

1. В основном все опыты произведены в лабораторных условиях и экономическая эффективность их применения в производственных масштабах подлежит дальнейшему изучению.

2. Сопоставление результатов исследований является сложным, так как применяются различные оценочные параметры (выход биогаза в день (сутки) [29]; выход биогаза с 1 г ХПК [12]; выход метана с загруженного абсолютно сухого органического вещества [16]; степень разложения абсолютно сухого органического вещества и др.). В исследованиях применяются различные виды субстратов для загрузки в метантенк (по химическому составу, влажности, степени измельчения твердой фракции, соотношению C:N:P и др.). При проведении большинства исследований не учитывается состав сообщества микроорганизмов, участвующих в разложении (в одной из работ указано, что состав микроорганизмов меняется при применении разных субстратов [29]), а в некоторых публикациях отсутствует четкая оптимизационная структура проведения исследований.

3. Важно также учитывать цель переработки органических отходов, поэтому выбор предобработки необходимо сопоставлять с желаемым результатом;

4. Выполнение исследований на современном уровне требует широкой лабораторной базы, наличия высококвалифицированного исследовательского штата (микробиолог, биохимик, биотехнолог, инженер и др.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Калужный С. В. Энергетический потенциал анаэробного сбраживания отходов с получением биогаза и использованием микробных топливных элементов в условиях России // Биотехнология. 2008. № 3. С. 3–12. URL: <http://www.biotech-jr.ru/?view=content&vol=24&year=2008&numb=3> (дата обращения: 05.05.2021).
2. Vasilev F., Palvinskiy V., Takhanov M. Increasing the Efficiency of Biogas Production from Organic Waste // Baikal Letter DAAD. 2019. Vol. 1. P. 49–51. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41108434> (дата обращения: 05.05.2021).
3. Васильева А. С., Евтеев В. К., Васильев Ф. А. Анаэробный фильтр с циклическим возмущением // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 4. С. 24–28. URL: <http://bibl-stgau.ru/images/Files/number22.pdf> (дата обращения: 05.05.2021).
4. Zhang J., Hou W., Bao J. Reactors for High Solid Loading Pretreatment of Lignocellulosic Biomass [Электронный ресурс] // Bioreactor Engineering Research and Industrial Applications II. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology ; J. Bao, Q. Ye, J. J. Zhong (eds.). Vol 152. Heidelberg : Springer, 2015. doi: https://doi.org/10.1007/10_2015_307
5. Hendriks A. T. W. M., Zeeman G. Pretreatments to Enhance the Digestibility of Lignocellulosic Biomass // Bioresource Technology. 2009. Vol. 100, Issue 1. P. 10–18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.027>
6. Pre-Treatments to Enhance the Biodegradability of Waste Activated Sludge: Elucidating the Rate Limiting Step / A. Gonzalez [et al.] // Biotechnology Advances. 2018. Vol. 36, Issue 5. P. 1434–1469. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.06.001>
7. Extrusion as a Pretreatment to Increase Biogas Production / M. Hjorth [et al.] // Bioresource Technology. 2011. Vol. 102, Issue 8. P. 4989–4994. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.128>
8. Extrusion as a Thermo-Mechanical Pre-Treatment for Lignocellulosic Ethanol / B. Lamsal [et al.] // Biomass and Bioenergy. 2010. Vol. 34, Issue 12. P. 1703–1710. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.06.009>
9. Microwave and Ultrasound Based Methods in Sludge Treatment: A Review [Электронный ресурс] / Z. Jákó [et al.] // Applied Sciences. 2021. Vol. 11, Issue 157. doi: <https://doi.org/10.3390/app11157067>
10. Le N. T., Julcour-Lebigue C., Delmas H. An Executive Review of Sludge Pretreatment by Sonication // Journal of Environmental Sciences. 2015. Vol. 37. P. 139–153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.05.031>
11. Salihi A., Alam M. Z. Pretreatment Methods of Organic Wastes for Biogas Production // Journal of Applied Sciences. 2016. Vol. 16, Issue 3. P. 124–137. doi: <https://doi.org/10.3923/jas.2016.124.137>
12. Ziemiński K., Romanowska I., Kowalska M. Enzymatic Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Biogas Production // Waste Manag. 2012. Vol. 32, Issue 6. P. 1131–1137. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.016>
13. Бенько Е. М., Чухчин Д. Г., Лунин В. В. Предобработка озоном и ферментативный гидролиз пшеничной соломы // Журнал физической химии. 2017. Т. 91, № 11. С. 1851–1857. doi: <https://doi.org/10.7868/S0044453717110036>
14. Pretreatment Methods to Improve Sludge Anaerobic Degradability: a Review [Электронный ресурс] / H. Carrère [et al.] // Journal of Hazardous Materials. 2010. Vol. 183, Issue 1–3. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.129>
15. The Effect of Acid Pretreatment on the Anaerobic Digestion and Dewatering of Waste Activated Sludge / D. C. Devlin [et al.] // Bioresource Technology. 2011. Vol. 102, Issue 5. P. 4076–4082. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.12.043>
16. Methane Production from Hydrogen Peroxide Assisted Hydrothermal Pretreatment of Solid Fraction Sugarcane Bagasse / F. Ahmad [et al.] // Waste and Biomass Valorization. 2020. Vol. 11. P. 31–50. doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0452-1>
17. Karupiah T., Azariah V. E. Biomass Pretreatment for Enhancement of Biogas Production [Электронный ресурс] // Anaerobic Digestion ; Ed. by J. R. Banu. IntechOpen, 2019. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.82088>

18. Schell D. J., Harwood C. Milling of Lignocellulosic Biomass // Applied Biochemistry and Biotechnology. 1994. Vol. 45. P. 159–168. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02941795>
19. Ковалев А. А., Ковалев Д. А., Григорьев В. С. Энергетическая эффективность предварительной обработки синтетического субстрата метантенка в аппарате вихревого слоя // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30, № 1. С. 92–110. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202001.092-110>
20. Shin K. S., Kang H. Electron Beam Pretreatment of Sewage Sludge before Anaerobic Digestion // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2003. Vol. 109. P. 227–239. doi: <https://doi.org/10.1385/abab:109:1-3:227>
21. Use of Microwave Pretreatment for Enhanced Anaerobiosis of Secondary Sludge / B. Park [et al.] // Water Science and Technology. 2004. Vol. 50, Issue 9. P. 17–23. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0523>
22. Wang M. J. Land Application of Sewage Sludge in China // The Science of the Total Environment. 1997. Vol. 197, Issues 1–3. P. 149–160. doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)05426-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)05426-0)
23. The Role of Sludge Retention Time in the Hydrolysis and Acidification of Lipids, Carbohydrates and Proteins during Digestion of Primary Sludge in CSTR Systems / Y. Miron [et al.] // Water Research. 2000. Vol. 34, Issue 5. P. 1705–1713. doi: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00280-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00280-8)
24. Афанасьев А. В. Определение оптимальной влажности подстилочного помета при экзотермической переработке его в биологически активные удобрения // АгроЭкоИнженерия. 1999. № 70. С. 142–147. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22961580> (дата обращения: 05.05.2021).
25. Keller F. A., Hamilton J. E., Nguyen Q. A. Microbial Pretreatment of Biomass [Электронный ресурс] // Biotechnology for Fuels and Chemicals. Applied Biochemistry and Biotechnology ; B. H. Davison, J. W. Lee, M. Finkelstein, J. D. McMillan (eds.). Totowa : Humana Press, 2003. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0057-4_3
26. Курбанова М. Г., Позднякова О. Г. Биотехнологические факторы анаэробной переработки отходов животноводческих хозяйств // Вестник КрасГАУ. 2015. № 5. С. 173–178. URL: <https://elck.ru/augwp> (дата обращения: 05.05.2021).
27. Goel R., Tokutomi T., Yasui H. Anaerobic Digestion of Excess Activated Sludge with Ozone Pretreatment // Water Science and Technology. 2003. Vol. 47, Issue 12. P. 207–214. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2003.0648>
28. Effect of Ultrasonic, Thermal and Ozone Pre-Treatments on Waste Activated Sludge Solubilisation and Anaerobic Biodegradability / C. Bougrier [et al.] // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. 2006. Vol. 45, Issue 8. P. 711–718. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.02.005>
29. Forage Types and Origin of Manure in Codigestion Affect Methane Yield and Microbial Community Structure / K. Ahlberg-Eliasson [et al.] // Grass and Forage Science. 2018. Vol. 73, Issue 3. P. 740–757. doi: <https://doi.org/10.1111/gfs.12358>

Поступила 04.10.2021; одобрена после рецензирования 10.11.2021; принята к публикации 03.12.2021

Об авторах:

Пальвинский Виктор Викторович, доцент кафедры технического обеспечения АПК Иркутского ГАУ (664038, Российская Федерация, Иркутская обл., пос. Молодежный), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0795-5304>, Researcher ID: ABA-1083-2021, kvenbox@mail.ru

Васильев Филипп Александрович, заведующий кафедрой технического обеспечения АПК Иркутского ГАУ (664038, Российская Федерация, Иркутская обл., пос. Молодежный), кандидат технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2875-1573>, Researcher ID: ABA-1219-2021, fvasiljiev@yandex.ru

Евтеев Виктор Константинович, профессор-консультант кафедры технического обеспечения АПК Иркутского ГАУ (664038, Российская Федерация, Иркутская обл., пос. Молодежный), кандидат технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3781-9963>, Researcher ID: ABA-1363-2021

Заявленный вклад авторов:

В. В. Пальвинский – анализ литературных данных, описание методов и способа предварительной обработки, редактирование текста.

Ф. А. Васильев – формирование структуры статьи, доработка начального текста, составление выводов и заключения.

В. К. Евтеев – научное руководство, анализ и доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Kalyuzhnyi S.V. Energy Potential of Anaerobic Digestion of Wastes Produced in Russia via Biogas and Microbial Fuel Cell Technologies. *Biotehnologiya = Biotechnology*. 2008; (3):3-12. Available at: <http://www.biotech-jr.ru/?view=tcontent&vol=24&vyear=2008&numb=3> (accessed 05.05.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
2. Vasilev F., Palvinskiy V., Takhanov M. Increasing the Efficiency of Biogas Production from Organic Waste. *Baikal Letter DAAD*. 2019; 1:49-51. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41108434> (accessed 05.05.2021). (In Eng.)
3. Vasilyeva A.S., Evteev V.K., Vasiliev F.A. Anaerobic Filter with Cyclic Perturbation. *Vestnik APK Stavropolya = Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2015; (4):24-28. Available at: <http://bibl-stgau.ru/images/Files/number22.pdf> (accessed 05.05.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
4. Zhang J., Hou W., Bao J. Reactors for High Solid Loading Pretreatment of Lignocellulosic Biomass. In: Bao J., Ye Q., Zhong J.J. (eds.). *Bioreactor Engineering Research and Industrial Applications II. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. Vol 152. Heidelberg: Springer; 2015. (In Eng.) doi: https://doi.org/10.1007/10_2015_307
5. Hendriks A.T.W.M., Zeeman G. Pretreatments to Enhance the Digestibility of Lignocellulosic Biomass. *Bioresource Technology*. 2009; 100(1):10-18. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.027>
6. Gonzalez A., Hendriks A.T.W.M., van Lier J.B., de Kreuk M. Pre-Treatments to Enhance the Biodegradability of Waste Activated Sludge: Elucidating the Rate Limiting Step. *Biotechnology Advances*. 2018; 36(5):1434-1469. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.06.001>
7. Hjørth M., Gränitz K., Adamsen A.P.S., Møller H.B. Extrusion as a Pretreatment to Increase Biogas Production. *Bioresource Technology*. 2011; 102(8):4989-4994. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.128>
8. Lamsal B., Yoo J., Brijwani K., Alavi S. Extrusion as a Thermo-Mechanical Pre-Treatment for Lignocellulosic Ethanol. *Biomass and Bioenergy*. 2010; 34(12):1703-1710. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.06.009>
9. Jákó Z., Lemmer B., Hodúr C., Beszédes S. Microwave and Ultrasound Based Methods in Sludge Treatment: A Review. *Applied Sciences*. 2021; 11(157). (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.3390/app11157067>
10. Le N.T., Julcour-Lebigue C., Delmas H. An Executive Review of Sludge Pretreatment by Sonication. *Journal of Environmental Sciences*. 2015; 37:139-153. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.05.031>
11. Salihu A., Alam M.Z. Pretreatment Methods of Organic Wastes for Biogas Production. *Journal of Applied Sciences*. 2016; 16(3):124-137. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.3923/jas.2016.124.137>
12. Ziemiński K., Romanowska I., Kowalska M. Enzymatic Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Biogas Production. *Waste Manag.* 2012; 32(6):1131-1137. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.016>

13. Ben'ko E.M., Chukhchin D.G., Lunin V.V. Ozone Pretreatment and Fermentative Hydrolysis of Wheat Straw. *Zhurnal fizicheskoy khimii* = Russian Journal of Physical Chemistry A. 2017; 91(11):1851-1857. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.7868/S0044453717110036>
14. Carrère H., Dumas C., Battimelli A., et al. Pretreatment Methods to Improve Sludge Anaerobic Degradability: a Review. *Journal of Hazardous Materials*. 2010; 183(1-3). (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.129>
15. Devlin D.C., Esteves S.R.R., Dinsdale R.M., Guwy A.J. The Effect of Acid Pretreatment on the Anaerobic Digestion and Dewatering of Waste Activated Sludge. *Bioresource Technology*. 2011; 102(5):4076-4082. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.12.043>
16. Ahmad F., Sakamoto I.K., Adorno M.A.T., et al. Methane Production from Hydrogen Peroxide Assisted Hydrothermal Pretreatment of Solid Fraction Sugarcane Bagasse. *Waste and Biomass Valorization*. 2020; 11:31-50. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0452-1>
17. Karuppiyah T., Azariah V.E. Biomass Pretreatment for Enhancement of Biogas Production. In: Ban J.R. (eds.). *Anaerobic Digestion*. IntechOpen; 2019. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.82088>
18. Schell D.J., Harwood C. Milling of Lignocellulosic Biomass. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 1994; 45:159-168. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1007/BF02941795>
19. Kovalev A.A., Kovalev D.A., Grigoriev V.S. Energy Efficiency of Pretreatment of Digester Synthetic Substrate in a Vortex Layer Apparatus. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2020; 30(1):92-110. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202001.092-110>
20. Shin K.S., Kang H. Electron Beam Pretreatment of Sewage Sludge before Anaerobic Digestion. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2003; 109:227-239. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1385/abab:109:1-3:227>
21. Park B., Ahn J.-H., Kim J., Hwang S. Use of Microwave Pretreatment for Enhanced Anaerobiosis of Secondary Sludge. *Water Science and Technology*. 2004; 50(9):17-23. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0523>
22. Wang M.J. Land Application of Sewage Sludge in China. *The Science of the Total Environment*. 1997; 197(1-3):149-160. (In Eng.) doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(97\)05426-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(97)05426-0)
23. Miron Y., Zeeman G., van Lier J.B., Lettinga G. The Role of Sludge Retention Time in the Hydrolysis and Acidification of Lipids, Carbohydrates and Proteins during Digestion of Primary Sludge in CSTR Systems. *Water Research*. 2000; 34(5):1705-1713. (In Eng.) doi: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00280-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00280-8)
24. Afanasev A.V. [Determination of Optimal Moisture Content of Litter for Its Exothermic Processing into Biologically Active Fertilizers]. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 1999; (70):142-147. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22961580> (accessed 05.05.2021). (In Russ.)
25. Keller F.A., Hamilton J.E., Nguyen Q.A. Microbial Pretreatment of Biomass. In: Davison B.H., Lee J.W., Finkelstein M., McMillan J.D. (eds.). *Biotechnology for Fuels and Chemicals*. Applied Biochemistry and Biotechnology. Totowa: Humana Press; 2003. (In Eng.) doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0057-4_3
26. Kurbanova M.G., Pozdnyakova O.G. Biotechnological Factors of Anaerobic Processing of the Livestock Farm Wastes. *Vestnik KrasGAU* = Bulletin of KrasGAU. 2015; (5):173-178. Available at: <https://clck.ru/augwp> (accessed 05.05.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
27. Goel R., Tokutomi T., Yasui H. Anaerobic Digestion of Excess Activated Sludge with Ozone Pretreatment. *Water Science and Technology*. 2003; 47(12):207-214. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2003.0648>
28. Bougrier C., Albasi C., Delgenès J.P., Carrère H. Effect of Ultrasonic, Thermal and Ozone Pretreatments on Waste Activated Sludge Solubilisation and Anaerobic Biodegradability. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2006; 45(8):711-718. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.ccep.2006.02.005>

29. Ahlberg-Eliasson K., Liu T., Nadeau E., Schnürer A. Forage Types and Origin of Manure in Codigestion Affect Methane Yield and Microbial Community Structure. *Grass and Forage Science*. 2018; 73(3):740-757. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1111/gfs.12358>

Submitted 04.10.2021; approved after reviewing 10.11.2021; accepted for publication 03.12.2021

About the authors:

Viktor V. Palvinskiy, Associate Professor of the Department of Technical Support of the Agroindustrial Complex, Irkutsk State Agricultural University (Molodezhnyy, Irkutsk Oblast 664038, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0795-5304>, Researcher ID: ABA-1083-2021, kvenbox@mail.ru

Filipp A. Vasilev, Head of the Chair of Technical Support of the Agroindustrial Complex, Irkutsk State Agricultural University (Molodezhnyy, Irkutsk Oblast 664038, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2875-1573>, Researcher ID: ABA-1219-2021, fvasiljiev@yandex.ru

Victor K. Evteev, Professor-Advisor of the Department of Technical Support of the Agroindustrial Complex, Irkutsk State Agricultural University (Molodezhnyy, Irkutsk Oblast 664038, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3781-9963>, Researcher ID: ABA-1363-2021

Contribution of the authors:

V. V. Palvinskiy – analysis of literary data, describing methods of pretreatment, text editing.

F. A. Vasilev – forming the structure of the article, finalizing the initial text, drawing finding and conclusions.

V. K. Evteev – scientific guidance, analysis and revision of the text.

All authors have read and approved the final manuscript.



Безопасность автоматизированных технологий регулирования мелиоративного режима агроэкосистемы

И. Ф. Юрченко

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова
(г. Москва, Российская Федерация)
irina.507@mail.ru*

Аннотация

Введение. Для организации системы безопасности автоматизированных технологий агропроизводства необходимо изучить проблему защиты средств автоматизации. Цель работы – обоснование нормативно-методических положений безопасной эксплуатации автоматизированной технологии регулирования мелиоративного режима агроэкосистемы на уровне хозяйствующего субъекта.

Материалы и методы. Исследование базируется на ключевых положениях информационно-аналитического подхода. В ходе работы собраны и проанализированы нормативно-методические документы, систематизирован опыт хозяйствующих субъектов в сфере информационной защиты автоматизированных технологий. Были обобщены требования законодательных актов к промышленной безопасности объектов производства.

Результаты исследований. Сформулированы задачи информационной и физической защиты систем автоматизированного управления мелиоративным агропроизводством. Систематизированы и охарактеризованы факторы информационной защиты: обновление программного обеспечения, управление доступом и внедрение паролей, регулирование инцидентов, контроль над сетевыми решениями, обучение персонала. Представлены требования к физической защите автоматизированных систем агропроизводства, соответствующие законодательным актам промышленной безопасности. Определена функциональная структура системы физической защиты автоматизированной системы управления технологическими процессами мелиоративного комплекса.

Обсуждение и заключение. Применение сформулированных в работе рекомендаций поможет сохранить интеллектуальную собственность и коммерческую тайну, обезопасить персональные данные, обеспечить защиту информационных ресурсов, решить проблему безопасности информационных систем.

Ключевые слова: безопасность, автоматизированные технологии, регулирование, мелиоративный режим, агроэкосистема

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Юрченко И. Ф. Безопасность автоматизированных технологий регулирования мелиоративного режима агроэкосистемы // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 28–40. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.028-040>



Safety of Automated Technologies for Regulating the Reclamation Regime of Agroecosystem

I. F. Yurchenko

Kostyakov All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Moscow, Russian Federation)

irina.507@mail.ru

Abstract

Introduction. To create the safety system for automated technologies of agricultural production, it is necessary to study the problem of protecting automation means. The aim of the work is to substantiate the normative and methodological provisions on safe operation of automated technology for regulating the agroecosystem reclamation regime at the level of the economic entity.

Materials and Methods. The study is based on the key provisions of the information-analytical approach. In the course of the work, regulatory and methodological documents have been collected and analyzed, the experience of economic entities in the field of information protection of automated technologies has been systematized. The requirements of legislative acts for industrial safety of production facilities were summarized.

Results. The tasks for information and physical protection of automated control systems of reclamation agricultural production are formulated. There are systematized and characterized information protection factors, such as software updates, access control and password implementation, incident management, control over network solutions, and personnel training. Requirements for physical protection of automated agricultural production systems in accordance with the legislative acts of industrial safety are presented. The functional structure of the physical protection system for controlling the automated processes of the reclamation complex is determined.

Discussion and Conclusion. The application of the recommendations formulated in this work will help protect intellectual property, trade secrets, personal data and information resources, and solve the problem of information system security.

Keywords: safety, automated technologies, regulation, reclamation regime, agroecosystem

The author declares no conflict of interest.

For citation: Yurchenko I.F. Safety of Automated Technologies for Regulating the Reclamation Regime of Agroecosystem. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2022; 32(1):28-40. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.028-040>

Введение

Масштабное внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами растениеводства (АСУ ТП) становится приоритетным направлением отечественного агропромышленного комплекса (АПК), способного конкурировать с ведущими мировыми производителями продуктов питания. [1–3]. Использование АСУ ТП в мелиоративном секторе АПК

позволяет решать широкий спектр практических задач, повышающих производительность, эффективность и экономическую целесообразность деятельности специалистов в холдингах, на предприятиях и фермерских хозяйствах [4–7].

Актуально изучение технологий регулирования мелиоративного режима агроэкосистем, интегрированных в систему точного земледелия [8–10]. Это позволяет практиковать дифференцированные

методы трансформации состояния мелиоративного режима с учетом изменчивости фактических значений контролируемых показателей по площади и во времени вегетации сельскохозяйственных культур. Вместе с тем для действенности внедряемых инноваций важно неукоснительно выполнять правила эксплуатации, предписанные разработчиками и/или обусловленные свойствами используемых автоматизированных систем управления (АСУ), требующих обеспечения безопасности¹ [11; 12]. Под безопасностью следует понимать информационную и физическую защиту функционирующих автоматизированных технологий регулирования мелиоративного режима агроэкосистемы. В последние годы число негативных воздействий на средства автоматизации технологических процессов агропроизводства растет. Это влечет крупные финансовые и материальные потери в отрасли. Защита информационных технологий (ИТ) на уровне хозяйствующего субъекта осложняется из-за отсутствия знаний и опыта у сотрудников [13–15]. В связи с этим вопросам безопасности функционирования автоматизированной технологии регулирования мелиоративного режима необходимо уделять пристальное внимание.

Цель настоящей работы – обоснование концептуальных положений по обеспечению безопасности автоматизированной технологии регулирования мелиоративного режима агроэкосистемы. Рекомендации могут способствовать цифровизации отечественной системы растениеводства на уровне агропредприятия.

Обзор литературы

Система мелиоративного сельскохозяйственного производства включает следующие основополагающие структурные элементы: распределение ресурсов; управление производственными процессами, кадровым потенциалом, расходной и доходной составляющими производства, ликвидностью; реализация работ, товаров, услуг. Эти элементы должны равномерно, систематизированно и комплексно автоматизироваться.

Затронутая проблема довольно широко представлена в научной литературе. Однако эти исследования не в полной мере адаптированы как к современным реалиям, так и к специфике агропроизводства. К примеру, в действующих рекомендациях защиты АСУ ТП не учитывается повсеместное распространение дистанционных и удаленных форм управления технологическим процессом мелиоративного земледелия, резкий рост и модернизация приемов промышленного шпионажа и другие процессы. Настоящее исследование систематизирует уже имеющийся опыт и знания, а также предлагает новые методические и методологические решения.

Выполнен анализ работ, посвященных информационным ресурсам и технологиям в мелиорации [8; 12; 15]. Технические средства и оборудование, объединенные с инновационными алгоритмами технологических воздействий на агрофитоценозы, обеспечивают высокую оперативность реагирования управленцев на трансформацию среды обитания сельскохозяйственных культур, а также прогнозируют возможные

¹ Chakravorti B., Chaturvedi R. Sh. Digital Planet 2017: How Competitiveness and Trust in Digital Economies Vary Across the World. Medford : The Fletcher school, Tufts university, 2017. 70 p. URL: https://sites.tufts.edu/digitalplanet/files/2020/03/Digital_Planet_2017_FINAL.pdf (дата обращения: 20.03.2021.).

проблемы развития производства. Они могут стать неотъемлемым и приоритетным фактором успеха цифровой экономики отечественного агропромышленного комплекса [7].

Вместе с тем со всей очевидностью проявляется проблема практического использования средств автоматизации производственных процессов в повседневной деятельности специалистов [5; 9]. Сложившаяся традиционная система позадачной реализации программного обеспечения (ПО) для каждой локально разрабатываемой информационной технологии осложняет успешное решение проблемы. В такой ситуации появляется риск повторного сбора данных, возникают сложности в организации интерфейса при работе с информацией. В результате предприятие может отказаться от применения инноваций.

Создание ресурса, содержащего релевантную, достоверную, обновляемую и доступную информацию о системах автоматизации агропроизводства, требует квалифицированной и слаженной работы профессионалов из различных областей производства, науки и образования. Без этой информации товаропроизводители не смогут внедрять и эксплуатировать высокотехнологичные ИТ [13]. В настоящее время эффективность внедрения в практику агропроизводства высокотехнологичных АСУ ТП существенно отстает даже от малочисленных разработок в указанном секторе отечественной экономики [16].

В одной из наших работ была рассмотрена проблема формирования системы наполнения локальных баз данных сельхозтоваропроизводителей из

единого отраслевого информационного ресурса. Такая система может передавать на федеральный (региональный) уровень информацию о текущем состоянии агротехнологий. Она должна существенно повысить действенность цифровизации агропроизводства².

Решение этой проблемы позволит товаропроизводителю получать достоверную информацию, необходимую для автоматизации системы управления режимами агроэкосистемы. Информационный ресурс поможет участникам агробизнеса при внедрении и распространении инноваций.

В данной работе уделено особое внимание проблеме защиты информации АСУ ТП. Указанная проблема изучалась и ранее, но, на наш взгляд, недостаточно глубоко. В практике сельхозтоваропроизводителя защита информации отодвинута на второй план. Несколько лет назад случаи несанкционированного доступа, непреднамеренного ущерба и промышленного шпионажа были эпизодическими и казались экзотическими. Сегодня проблема более актуальна. Ранее существовавшие методы защиты информации в АСУ ТП устарели. Они не учитывают современные вызовы, связанные с методами удаленного взлома систем. Требуются новые подходы к аппаратному и программному обеспечению защиты данных от удаленных проникновений.

Обзор литературы показал, что задача совершенствования нормативно-методической базы, регулирующей вопросы физической безопасности и информационной защиты систем автоматизации управления технологическими процессами мелиоративного агропроизводства, требует решения.

² Юрченко И. Ф. Автоматизация, электронизация, информатизация, как предшественники цифровизации мелиорации // Материалы Междунар. юбилейной науч.-практич. конф. «Проблемы развития сельскохозяйственных мелиораций и водохозяйственного комплекса на базе цифровых технологий» (23–24 октября 2019). Москва : ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2019. С. 76–84. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41275700> (дата обращения: 31.08.2021).

Материалы и методы

В качестве объекта исследований представленной научной работы рассматривались АСУ ТП в системе растениеводства, предметом служили автоматизированные технологии регулирования мелиоративного режима агроэкосистем. Задача заключается в актуализации информационных документов по обеспечению безопасности автоматизированных технологий управления продуктивностью мелиорируемых агроэкосистем.

К автоматизированным системам управления мелиоративным режимом агропроизводства предъявляются следующие требования:

1. Оптимизация использования посевами фотосинтетического активного излучения солнца с целью повышения производительности агрофитоценозов.

2. Возможность регенерации энергетических и материальных потоков в экосистемах, прилегающих к мелиорируемому, до их естественного уровня, обеспечивающего экологическую безопасность агроландшафта.

3. Непосредственное управление эффективными параметрами, определяющими мелиоративный режим агроэкосистем.

4. Обеспечение необходимого диапазона регулирования параметров, характеризующих различные аспекты развития агрофитоценозов, для каждой фазы роста растений.

5. Формирование устойчивого мелиорируемого агроценоза, приоритетным направлением которого может стать увеличение биологического разнообразия возделываемой территории путем создания лесных полос вокруг мелиорируемых полей.

6. Сохранение и воспроизводство плодородия мелиорированных земель согласно природно-хозяйственным условиям сельскохозяйственного производства.

7. Оптимизация мелиоративного режима для всех растений каждого севооборота.

8. Создание приоритетных возможностей по регулированию параметров управления.

9. Реализация диапазона саморегулирования ведущих параметров агроэкосистем, обеспечивающих заданную точность автоматизированного регулирования мелиоративного режима.

10. Оптимизация и автоматизация производственных процессов агропроизводства в критические временные интервалы (активный рост сельскохозяйственных культур, природные и производственные аномалии и другие процессы).

11. Мониторинг восстановительных процессов в почвах.

12. Соблюдение норм экологической безопасности.

13. Идентификация стохастических свойств почв и распределения элементов питания растений.

Определение функциональной возможности и производственной эффективности нормативно-методических документов по обеспечению безопасности агроэкосистем потребовало решения следующих задач:

– собрать и проанализировать нормативно-методические документы по регулированию безопасности эксплуатируемых агропроизводством АСУ;

– систематизировать факторы информационной защиты автоматизированных технологий;

– разработать требования к информационной и физической защите АСУ ТП предприятия, соответствующие законодательным актам к промышленной безопасности объектов производства;

– сформировать функциональную структуру системы защиты технологий автоматизации управления предприятием мелиоративного комплекса.

В процессе решения поставленных задач применялись информационно-аналитические методы исследования, включающие сбор, обобщение, структуризацию, анализ и синтез следующих видов источников: опубликованные законодательные, нормативно-справочные материалы и результаты научно-исследовательских работ; материалы на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт); данные баз «Гарант» и «Консультант +»; фондовые материалы сферы эксплуатации водохозяйственного комплекса.

Было проанализировано свыше 150 источников за последние 50 лет. В данном случае речь идет о кросс-секционном дизайне исследования, подразумевающем работу с большим объемом материала с применением выборки для формирования генеральной совокупности. Важно отметить, что исследование носит гипотетический характер, но в рамках поставленных целей кросс-секционный дизайн достаточен.

Результаты исследования

Для защиты автоматизированных систем управления производственными процессами, оперирующими конфиденциальными данными организации, необходимо снизить риск несанкционированного доступа к важным сведениям и целенаправленных повреждений технологического оборудования и техники. Основные виды угроз АСУ ТП можно разделить на информационные и физические³ [17; 18].

Система защиты информации включает комплекс средств, методов и реализованных мер, обеспечивающих не-

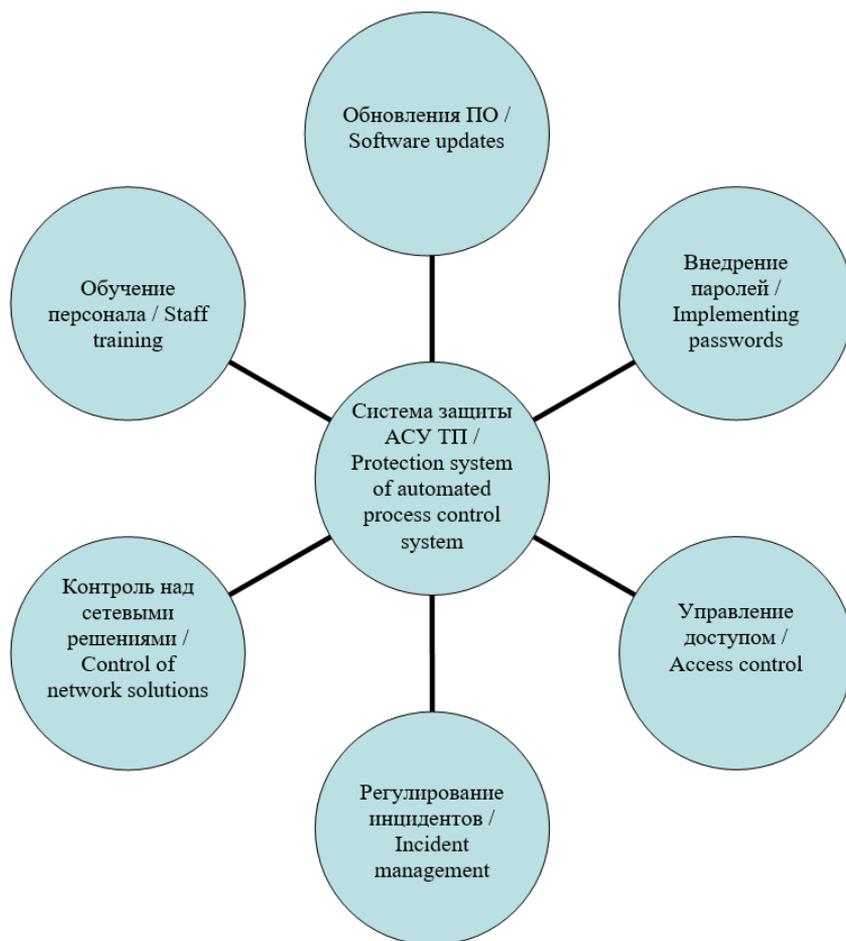
обходимую надежность информации, хранимой и обрабатываемой с использованием АСУ ТП. К факторам информационной защиты относят обновление ПО, управление доступом и внедрение паролей, регулирование инцидентов, контроль над сетевыми решениями, обучение персонала (рис. 1). Рисунок 1 составлен автором по материалам работы Э. Ю. Т. Адесты, Д. Агусмана, А. Авиценны [18].

Система физической защиты АСУ ТП интегрирована в систему общей защиты предприятия и включает следующие направления: систему защиты от аварий; противопожарную и противозрывную систему; распределенную систему контроля технического состояния функциональных блоков для средств автоматизации технологических процессов производства⁴ [19].

К сожалению, на практике обновление ПО АСУ ТП агропроизводства выполняется крайне редко по ряду причин. Во-первых, предлагаемые производителем ПО обновления требуют дополнительного тестирования в реальных условиях, так как каждая автоматизированная система управления для сельского хозяйства в целом и мелиорации в частности уникальна и адаптирована под конкретные условия эксплуатации. Сложно организовать универсальные обновления. В результате требуется немало времени на внедрение обновлений в области информационной безопасности. Во-вторых, любое обновление системы автоматизации управления, в том числе и в сфере безопасности, подразумевает остановку функционирующей системы.

³ Clancy H. Why Smart Irrigation Startups are Bubbling Up [Электронный ресурс]. URL: <https://www.greenbiz.com/article/why-smart-irrigation-startups-are-bubbling> (дата обращения: 31.08.2021).

⁴ Напрасников А. Т., Киселева Н. Д. Современная мелиорация земель в России и за рубежом // Материалы Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию высшего биологического образования в Восточной Сибири «Современные проблемы биологии, экологии и почвоведения» (19–20 сентября 2019). Иркутск : Иркутский государственный университет, 2019. С. 307–309. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44289552> (дата обращения: 31.08.2021).



Р и с. 1. Факторы информационной защиты
F i g. 1. Information security factors

В этом случае нарушается непрерывность технологического процесса. В отличие от многих направлений производства процесс регулирования мелиоративного режима агроэкосистем носит дискретный характер и его можно остановить на некоторое время. Вместе с тем необходимо грамотно планировать мероприятия эксплуатации АСУ ТП, предусматривая этап обновления ПО системы в связи с технологическим процессом агропроизводства.

Проведенные исследования показывают, что эффективное практическое решение по защите информации обеспечивают мероприятия управления доступом и внедрение паролей. Каждый пользователь, оператор и специалист, работающий с АСУ ТП, должен иметь доступ только к той информации, которая соотносится с его профессиональной деятельностью.

При этом пользователи зачастую задают простые пароли, подобрать

которые программными методами или вручную не составляет особого труда. Ниже приведена таблица, составленная автором по рекомендациям «Лаборатории Касперского»⁵. Она помогает задавать сложные пароли. Эту информацию рекомендуется использовать на этапе обучения персонала.

Управление доступом должно реализовываться еще на стадии проектирования самой автоматизированной системы управления. Вносить изменения в процессе эксплуатации бывает крайне непросто. Безусловно, существуют определенные технологии, среди которых выделяются обновления. Но часто сложности изменения уровней и степени доступа имеют критический характер и заложены в базовом стандарте реализуемого

комплекса автоматизированного управления. В этом случае затраты на внесение изменений могут быть неоправданно высоки.

Пользователи сами должны устанавливать пароль. Но важно, чтобы руководство имело к ним доступ. К примеру, можно предоставить ограниченному кругу лиц возможность изменять пароли в режиме администрирования.

Мероприятия управления инцидентными ситуациями информационной безопасности в стандартном исполнении не подлежат процессу документации и не выполняются в фиксированном формате. Базовые системы мониторинга мероприятий информационной безопасности и ответа на вызовы не обеспечивают оперативное

Т а б л и ц а
T a b l e

Простые и сложные пароли для АСУ ТП
Simple and complex passwords for automated process control systems

Простые / Simple	Сложные / Complicated
Короткие слова / Short words	Длинные, более 12 символов / Long, more than 12 characters
Содержит символы из одной группы: строчные, прописные буквы, специальные символы, цифры / Contains characters from the same group: lowercase, uppercase letters, special characters, numbers	Комбинации, включающие как минимум три из четырех групп / Combinations involving at least three of the four groups
Существующее слово из языка / Existing word of the language	Придуманное слово, не встречающееся в словарях / Invented word not found in dictionaries
Наличие прямой связи с владельцем (дата рождения, имя ребенка) / The presence of a direct link to the owner (date of birth, child's name)	Явная связь отсутствует / There is no explicit connection
У всех пользователей АСУ ТП единый пароль (частое явление) / All users of automated process control systems have a single password (a frequent occurrence)	Разные комбинации / Different combinations
Пароль не меняется при смене сотрудника, увольнении / Password does not change when an employee is changed or dismissed	Обязательная замена пароля новым пользователем / Mandatory replacement of the password by a new user

⁵ Советы по созданию уникальных надежных паролей [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/threats/how-to-create-a-strong-password> (дата обращения: 31.08.2021).

реагирование на возникающие критические события и непропорциональные действия, чтобы своевременно принять необходимые и адекватные меры противодействия. В связи с этим хозяйствующие субъекты должны формировать перечень отслеживаемых инцидентов и соответствующих им элементов АСУ ТП, а также параметры мониторинговых и аналитических мероприятий (кто, когда, как часто осуществляет и т. д.). Организация системы централизованного сбора и анализа событий информационной безопасности не относится к дорогостоящим мероприятиям, так как не требует приобретения программных и аппаратных комплексов, которые могут обходиться достаточно дорого, что позволяет включить указанное мероприятие в перечень необходимых.

К оптимальным мероприятиям отслеживания сетевых атак и предотвращения хищения информации относится контроль сетевых решений, принадлежащий к классу так называемых пассивных систем контроля, которые не требуют остановки технологических процессов и не нарушают непрерывности работы. Используемое в таких ситуациях ПО не должно создавать дополнительных сложностей эксплуатации АСУ ТП и увеличивать время передачи данных.

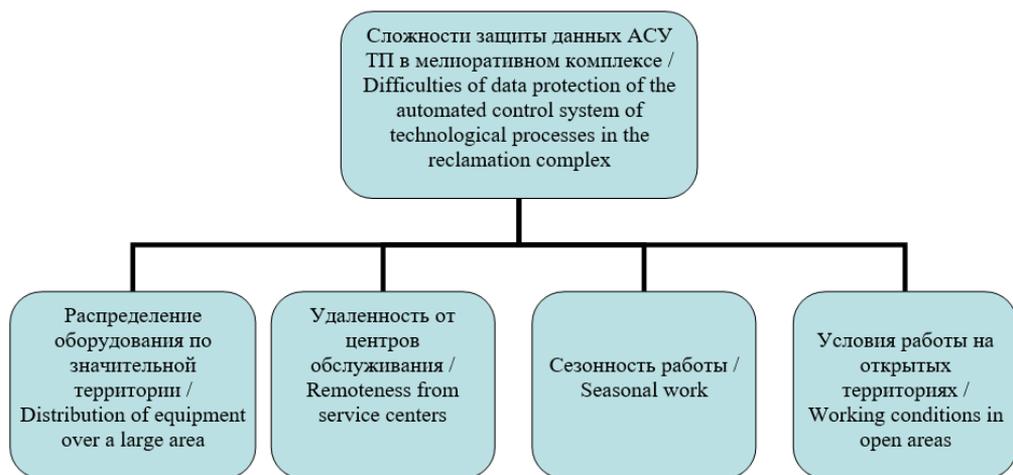
Необходимо отметить, что знания и умения специалистов службы эксплуатации в области информационной безопасности помогут избежать негативных последствий непреднамеренных действий сотрудников предприятия. Привлечение разработчиков системы автоматизации производственных процессов решит проблему. Эти специалисты понимают особенности работы всех систем и уровней защиты, а также способны в доступной форме передать знания работникам предприятия-заказчика.

Система физической защиты АСУ ТП предприятия агропроизводства создается в соответствии с требованиями к промышленной безопасности, которые формируются согласно законодательным актам, регулирующим указанную сферу правового обеспечения. Промышленные объекты I или II класса опасности эксплуатируются согласно положениям системы управления промышленной безопасностью (СУПБ), разрабатываемой эксплуатирующей организацией. В составе СУПБ освещаются во взаимной связи организационные, технологические и технические мероприятия для предупреждения, локализации и ликвидации аварий и инцидентов на объекте, снижаются негативные последствия. При этом СУПБ должны обеспечивать идентификацию, анализ и прогнозирование риска аварий на агропромышленных объектах и связанных с такими авариями угроз, планирование и реализацию мер по снижению риска аварий на опасных объектах агропроизводства.

В современных реалиях автоматизация защиты не отделяется от остальных процессов мелиоративного агропроизводства, но тем не менее имеет свои особенности (рис. 2).

Система физической защиты средств автоматизации технологических процессов производства на предприятиях мелиоративного комплекса должна гарантировать реализацию следующих функций:

- непрерывное наблюдение за параметрическими показателями технологического процесса;
- управление режимами функционирования противоотказными и противоаварийными системами;
- фиксация срабатываний и отслеживание работоспособности средств противоаварийной защиты;
- изучение параметров и их изменений, формирование прогнозов возможных аварий и незаконных действий;



Р и с. 2. Факторы, усложняющие защиту данных АСУ мелиоративного агропроизводства
F i g. 2. Factors that complicate the data protection of ACS of meliorative agricultural production

– запуск сигналов на устройства оповещения несанкционированного проникновения на территорию либо отдельные модули АСУ;

– определение несанкционированного отключения периферийных устройств, например: датчиков, контроллеров, электродвигателей, слаботочных кабелей с жилами из цветных металлов;

– управление средствами противаварийной и защитной системы;

– формирование и предоставление отчетов о работе комплексов физической защиты.

Таким образом, в ходе проведенного исследования установлено, что автоматизированные системы регулирования мелиоративного режима решают ряд важных задач, в том числе противаварийные мероприятия, и полностью соответствуют требованиям Федерального закона № 22-ФЗ от 4 марта 2013 г.

Немаловажным является то, что автоматизированные системы управления технологическими процессами в мелиорации не просто упрощают работу сотрудникам аграрного предприятия, но

и способствуют обеспечению дополнительной безопасности.

Обсуждение и заключение

Для реализации концепции безопасности информационных систем регулирования мелиоративного режима агроэкосистем в условиях нарастающей степени рисков следует применять следующие уровни базовой защиты:

– административный, обеспечивающий наличие локальных нормативных актов, регулирующих общий подход к функциональным задачам службы эксплуатации АСУ ТП;

– организационный, включающий методические рекомендации для сотрудников при использовании АСУ ТП;

– технический, формирующий и исполняющий программные и аппаратные решения по безопасности средств автоматизации технологических процессов.

Применение указанных мер направлено на сохранение интеллектуальной собственности и коммерческой тайны предприятия, соблюдение положений законодательства о безопасности персональных данных, обеспечение

надежности защиты информационных ресурсов производства, достижение действенности привлечения ресурсов предприятия для решения задач безопасности информационных систем. Рекомендуется использовать уже готовые программные решения, представленные на отечественном рынке. Среди них стоит отметить Kaspersky Industrial CyberSecurity (KICS), PT Industrial Security Incident Manager (PT ISIM), DATAPK.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Савина Т. Н. Цифровая экономика как новая парадигма развития: вызовы, возможности и перспективы // Финансы и кредит. 2018. Т. 24, № 3. С. 579–590. doi: <https://doi.org/10.24891/fc.24.3.579>
2. Возможность оценки степени развития растений озимой пшеницы в период «всходы – кушение» по данным дистанционного зондирования Земли / И. Г. Сторчак [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31, № 1. С. 21–36. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202101.021-036>
3. Субботин И. А., Васильев Э. В. Модель прогнозирования комплексного негативного воздействия технологий сельхозпроизводства на водные объекты // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31, № 2. С. 227–240. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202102.227-240>
4. Lehmann R. J., Reiche R., Schiefer G. Future Internet and the Agri-Food Sector: State-of-the-Art in Literature and Research // Computers and Electronics in Agriculture. 2012. Vol. 89. P. 158–174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.09.005>
5. Юрченко И. Ф. Системы поддержки принятия решений как фактор повышения эффективности управления мелиорацией // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 2. С. 195–209. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=325> (дата обращения: 31.08.2021).
6. Повышение ответственности сельхозтоваропроизводителей за воспроизводство почвенного плодородия мелиорируемых земель / Г. Т. Балакай [и др.] // Агрохимический вестник. 2015. № 2. С. 29–33. URL: <https://clck.ru/amCPH> (дата обращения: 31.08.2021).
7. Кирейчева Л. В., Юрченко И. Ф., Яшин В. М. Модели и информационные технологии управления водопользованием на мелиоративных системах, обеспечивающие благоприятный мелиоративный режим // Мелиорация и водное хозяйство. 2014. № 5–6. С. 50–55. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22553333> (дата обращения: 31.08.2021).
8. Об общих научных подходах к созданию унифицированных прецизионных энергосберегающих АСУ ТП / Г. И. Канюк [и др.] // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2016. № 2. С. 20–32. URL: <https://clck.ru/amCh3> (дата обращения: 30.08.2021).
9. Юрченко И. Ф., Трунин В. В. Система поддержки принятия решений по водораспределению на базе веб-технологий // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 2. С. 87–97. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=716> (дата обращения: 30.08.2021).
10. Юрченко И. Ф. Водосберегающая технология планирования технической эксплуатации мелиоративных систем // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2016. № 5. С. 76–88. doi: <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2016-5-6>
11. Yang S.-H. Internet-Based Control System Architecture Design // Internet-Based Control Systems. Advances in Industrial Control ; ed. by S.-H. Yang. London : Springer, 2011. P. 17–27. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-84996-359-6_3
12. Цифровая экономика и перспективы ее роста на 2018–2020 годы / А. В. Захарян [и др.] // Экономика и предпринимательство. 2018. № 5. С. 169–173. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35001597> (дата обращения: 31.08.2021).
13. Priorities for Science to Overcome Hurdles Thwarting the Full Promise of the ‘Digital Agriculture’ Revolution / M. Shepherd [et al.] // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2018. Vol. 100, Issue 14. P. 5083–5092. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9346>
14. Luo Y. A General Framework of Digitization Risks in International Business [Электронный ресурс] // Journal of International Business Studies. 2021. doi: <https://doi.org/10.1057/s41267-021-00448-9>

15. Shibata S. Digitalization or Flexibilization? The Changing Role of Technology in the Political Economy of Japan [Электронный ресурс] // Review of International Political Economy. 2021. doi: <https://doi.org/10.1080/09692290.2021.1935294>

16. Огневцев С. Б. Цифровизация экономики и экономика цифровизации АПК // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 2. С. 77–80. doi: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2019-12034>

17. Kumari R., Devadas V. Input-Output Analysis for Rural Industrial Development of Patna Region // Journal of Regional Development and Planning. 2014. Vol. 3, Issue 2. P. 37–50. URL: <https://econpapers.repec.org/article/risjrdpin/0031.htm> (дата обращения: 31.08.2021).

18. Adesta E. Yu. T., Agusman D., Avicenna A. Internet of Things (IoT) in Agriculture Industries // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics. 2017. Vol. 5, Issue 4. P. 376–382. doi: <https://doi.org/10.52549/ijeei.v5i4.373>

19. The Efficiency of Impervious Protection of Hydraulic Structures of Irrigation Systems / M. A. Bandurin [et al.] // International Scientific and Practical Conference “AgroSMART – Smart Solutions for Agriculture” (AgroSMART 2018). Vol. 151. Tyumen : Atlantis Press, 2018. P. 56–61. doi: <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.11>

Поступила 01.07.2021; одобрена после рецензирования 10.09.2021; принята к публикации 20.09.2021

Об авторе:

Юрченко Ирина Федоровна, главный научный сотрудник отдела природоохранных и информационных технологий Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, корп. 2), доктор технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2390-1736>, irina.507@mail.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Savina T.N. Digital Economy as a New Paradigm of Development: Challenges, Opportunities, and Prospects. *Finansy i kredit* = Finance and Credit. 2018; 24(3):579-590. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.24891/fc.24.3.579>

2. Storchak I.G., Eroshenko F.V., Oganyan L.R., et al. Assessment of Winter Wheat Plant Development during the Seeding and Tillering Stages According to the Earth Remote Sensing Data. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2021; 31(1):21-36. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202101.021-036>

3. Subbotin I.A., Vasilev E.V. A Forecast Model of the Complex Negative Impact of Agricultural Production Technologies on Water Bodies. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2021; 31(2):227-240. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202102.227-240>

4. Lehmann R.J., Reiche R., Schiefer G. Future Internet and the Agri-Food Sector: State-of-the-Art in Literature and Research. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2012; 89:158-174. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.09.005>

5. Yurchenko I.F. Decision Support System as a Factor for Improving Reclamation Management Efficiency. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* = Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2017; (2):195-209. Available at: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=325> (accessed 31.08.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

6. Bakalay G.T., Yurchenko I.F., Lentyaeva E.A., Yalalova G.Kh. Increase of Agriculturists Responsibility for the Reproduction of Soil Fertility Reclaimed Lands. *Agrokhimicheskii vestnik* = Agrochemical Herald. 2015; (2):29-33. Available at: <https://clck.ru/amCPH> (accessed 31.08.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

7. Kireycheva L.V., Yurchenko I.F., Yashin V.M. Models and Information Technologies for Water Management on the Reclamation System, Which Provides Favorable Reclamation Mode. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2014; (5-6):50-55. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22553333> (accessed 31.08.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

8. Kaniuk G.I., Babenko I.A., Kozlova M.L., et al. Experimental Study to Efficiency Automated Energysave Management Circulation Pump of Power Station. *Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit* = Energy Saving. Power Engineering. Energy Audit. 2016; (2):20-32. Available at: <https://clck.ru/amCh3> (accessed 30.08.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

9. Yurchenko I.F., Trunin V.V. Decision Support System for Water Allocation Based on Web Technologies. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* = Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2014; (2):87-97. Available at: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=716> (accessed 30.08.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

10. Yurchenko I.F. [Water-Saving Technology for Planning Technical Operation of Land Reclamation Systems]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* = Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2016; (5):76-88. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2016-5-6>

11. Yang S.-H. Internet-Based Control System Architecture Design. In: Yang S.-H. (ed.). *Internet-Based Control Systems. Advances in Industrial Control*. London: Springer; 2011. p. 17-27. (In Eng.) doi: https://doi.org/10.1007/978-1-84996-359-6_3

12. Zakharyan A.V., Pomerko E.S., Negodova A.V., et al. Digital Economy and Prospects of Its Growth for 2018-2020. *Ekonomika i predprinimatelstvo* = Journal of Economy and Entrepreneurship. 2018; (5):169-173. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35001597> (accessed 31.08.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

13. Shepherd M., Turner J.A., Small B., Wheeler D. Priorities for Science to Overcome Hurdles Thwarting the Full Promise of the ‘Digital Agriculture’ Revolution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018; 100(14):5083-5092. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9346>

14. Luo Y. A General Framework of Digitization Risks in International Business. *Journal of International Business Studies*. 2021. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1057/s41267-021-00448-9>

15. Shibata S. Digitalization or Flexibilization? The Changing Role of Technology in the Political Economy of Japan. *Review of International Political Economy*. 2021. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1080/09692290.2021.1935294>

16. Ognivtsev S.B. The Digitalization of the Economy and the Economy of Digitalization in Agriculture. *Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2019; (2):77-80. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2019-12034>

17. Kumari R., Devadas V. Input-Output Analysis for Rural Industrial Development of Patna Region. *Journal of Regional Development and Planning*. 2014; 3(2):37-50. Available at: <https://econpapers.repec.org/article/risjrdpin/0031.htm> (accessed 31.08.2021). (In Eng.)

18. Adesta E.Yu.T., Agusman D., Avicenna A. Internet of Things (IoT) in Agriculture Industries. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics*. 2017; 5(4):376-382. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.52549/ijeei.v5i4.373>

19. Bandurin M.A., Yurchenko I.F., Volosukhin V.A., et al. The Efficiency of Impervious Protection of Hydraulic Structures of Irrigation Systems. In: *International Scientific and Practical Conference “AgroSMART – Smart Solutions for Agriculture” (AgroSMART 2018)*. Vol. 151. Tyumen: Atlantis Press; 2018. p. 56-61. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.11>

Submitted 01.07.2021; approved after reviewing 10.09.2021; accepted for publication 20.09.2021

About the author:

Irina F. Yurchenko, Chief Scientist of the Department of Environmental Protection and Information Technology, Kostyakov All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation (44, Bldg 2 Bolshaya Akademicheskaya St., Moscow 27550, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2390-1736>, irina.507@mail.ru

The author has read and approved the final manuscript.



Обоснование параметров технологии производства йогурта с добавлением плодов зизифуса

Ю. Б. Гербер*, А. В. Гаврилов

*Агротехнологическая академия КФУ имени В. И. Вернадского
(г. Симферополь, Российская Федерация)*

* gerber_1961@mail.ru

Аннотация

Введение. В настоящее время актуален вопрос производства оздоровительных молочных продуктов. Цель исследования – разработать технологию производства молочного продукта с заданной консистенцией, сбалансированным витаминным составом, обогащенным микроэлементами и антиоксидантами, и оптимизировать параметры процессов пастеризации и дробления косточек без попадания частиц скорлупы в продукт.

Материалы и методы. Объектом исследования являются технология производства лечебно-оздоровительного продукта на молочной основе, процессы пастеризации молока и дробления компонента зизифуса без повреждения косточек. Для этого важно выбрать оптимальные конструктивно-режимные параметры дробилки. Методика проведения эксперимента на роторной дробилке заключалась в контроле скорости вращения ротора и зазора между подвижными и неподвижными ребрами дробилки. Предложена конструктивная схема, позволяющая производить измельчение плодов без повреждения косточки.

Результаты исследования. Полученные данные позволили сформулировать рекомендации по оптимизации температуры пастеризации исходного молочного сырья с точки зрения формирования заданных реологических свойств. Предложено использовать пектинсодержащие плоды зизифуса для формирования необходимой консистенции йогурта (кефира). Определены кинематические показатели работы устройства для дробления плодов зизифуса без повреждения косточек.

Обсуждение и заключение. Анализ зависимости вязкости продукта от температуры пастеризации показывает, что максимальная вязкость продукта получается при температуре пастеризации 81–85 °С. Чтобы предотвратить разрушение скорлупы косточек при отделении мякоти, скорость ребер дробилки не должна превосходить характерной скорости косточек, то есть находиться в диапазоне от 4,5 до 10,5 м/с.

Ключевые слова: йогурт, реология, пастеризация, плоды, зизифус, роторная дробилка, процесс измельчения, энергосбережение, реологические свойства

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Гербер Ю. Б., Гаврилов А. В. Обоснование параметров технологии производства йогурта с добавлением плодов зизифуса // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 41–53. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.041-053>



Substantiation of the Parameters of the Production Technology for Yoghurt with the Addition of Ziziphus Fruits

Yu. B. Gerber*, A. V. Gavriloв

Agrotechnological Academy of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University (Simferopol, Russian Federation)

* gerber_1961@mail.ru

Abstract

Introduction. At present, the issue of production of health-improving dairy products is topical. The aim of the research is to develop the technology of producing dairy with a desired consistency, balanced in vitamins, enriched with microelements and antioxidants and to optimize the parameters of pasteurizing and crushing pips to prevent the shell particles into the product.

Materials and Methods. The object of the study is the technology of producing therapeutic milk-based product, the processes of pasteurization of milk and crushing of the ziziphus component without damaging the stones. For this purpose, it is important to choose the optimal design-mode parameters of the crusher. The methodology of the experiment on the rotary crusher consisted of controlling the rotor speed and the gap between the movable and not movable ribs of the crusher. We proposed a design scheme allowing crushing fruits without damaging the stone.

Results. The obtained data allowed us to formulate recommendations for optimizing the temperature of pasteurization of raw milk materials in terms of forming the specified rheological properties. It is suggested to use pectin-containing ziziphus fruits to form necessary consistency of yogurt (kefir). The kinematic parameters of the device for crushing ziziphus fruits without damage to the stones have been determined.

Discussion and Conclusion. The analysis of the product viscosity dependence on pasteurization temperature shows that the maximum product viscosity is obtained at pasteurization temperature 81–85 °C. To prevent the destruction of the shells of the stones when separating the pulp, the speed of the crusher ribs should not exceed the characteristic speed of the stones, that is in the range from 4.5 to 10.5 m/s.

Keywords: yogurt, rheology, pasteurization, fruit, ziziphus fruits, rotary crusher, crushing process, energy conservation, rheological properties

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Gerber Yu.B., Gavriloв A.V. Substantiation of the Parameters of the Production Technology for Yoghurt with the Addition of Ziziphus Fruits. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2022; 32(1):41-53. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.041-053>

Введение

Кисломолочные продукты (кефир, простокваша) относят к вязким (псевдопластичным) жидкостям. До скоростей сдвига 300 с^{-1} они имеют ярко

выраженную аномалию вязкости, а при более высоких скоростях сдвига ведут себя, как ньютоновские жидкости¹. Консистенция молочного продукта (сметана, йогурт, кефир) – очень важный

¹ Меркулов М. Ю. Совершенствование и использование методов инженерной реологии для прогнозирования и контроля физико-химических характеристик молочных продуктов в процессе их разработки и производства : дис. ... канд. техн. наук. М., 2003. 226 с. URL: <https://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-i-ispolzovanie-metodov-inzhenernoi-reologii-dlya-prognozirovaniya-i-kontr> (дата обращения: 20.12.2021).

критерий, влияющий на спрос потребителя. Кроме того, все более актуален вопрос о лечебно-профилактическом, оздоровительном действии молочных продуктов.

Цель исследования – разработать технологию производства молочного продукта с заданной консистенцией, сбалансированным витаминным составом, необходимыми микроэлементами, антиоксидантами и оптимизировать параметры процессов пастеризации и дробления косточек без попадания частиц скорлупы в продукт.

Обзор литературы

Предшествующие исследователи определили, что на реологические свойства молочных продуктов (вязкость, пластичность) большое влияние оказывает тепловая обработка. Определена оптимальная температура пастеризации: не более 90 °С. Эксперименты показали, что при повышении температуры показатели реологических параметров снижаются. На текучесть и вязкость молочных продуктов существенное влияние оказывает продолжительность и механическое воздействие в период технологического цикла производства продукта. Было выявлено, что наибольшие разрушения структуры молочных продуктов происходят на начальном этапе деформирования структуры².

В качестве универсального контролируемого реологического параметра молочных продуктов принята величина эффективной вязкости. Для молочных продуктов, имеющих вязкопластичный характер течения, важно контролировать предельное напряжение сдвига и пластическую вязкость³.

Многолетними исследованиями подтверждено, что консистенция является важным элементом в общей органолептической оценке качества молочных продуктов. Регулировать консистенцию молочных продуктов можно структурообразователями, а также с помощью параметров основных технологических процессов переработки: пастеризация, гомогенизация, нагрев и перемешивание при внесении закваски в линиях производства молочных продуктов, в частности кефира и йогурта [1; 2]. При производстве кисломолочных продуктов получается жидкий неоднородный продукт с отстоем сыворотки [1].

На консистенцию кисломолочных продуктов также оказывают влияние механические воздействия на сырье и полуфабрикат и наличие структурообразователей. Пониженная плотность сырья, а также недостаточное содержание белка не позволяют получить вязкий продукт без отделения сыворотки. Огромное воздействие на консистенцию кисломолочных продуктов оказывают режимы работы технологического оборудования. Вязкость кисломолочных напитков зависит от напряжения и скорости сдвига, температуры, содержания жира и кислотности молочного напитка [1; 2].

Консистенция кисломолочных продуктов также зависит от технологических параметров гомогенизации молока. При увеличении дисперсности шариков жира и мицелл казеина получается готовый продукт с однородной консистенцией и устойчивой структурой. Для того чтобы готовый кисломолочный напиток имел заданную консистенцию и структуру, необходимо

² Там же.

³ Табакаева О. В., Мелькунов В. В. Обоснование использования биологически активного сырья в технологии производства йогурта // Материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф. «21 век: фундаментальная наука и технологии». 2019. С. 124–128. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41340218> (дата обращения: 20.12.2021).

правильно подбирать технологические параметры производства, такие как тепловые и механические [2].

Для достижения заданной консистенции и структуры готового продукта перспективным решением является добавление в кисломолочный продукт в качестве компонента измельченных плодов зизифуса, содержащих значительное количество пектина.

Основной проблемой производственной реализации такого способа является сложность отделения мякоти плодов от косточки. Поэтому использовать серийную установку для отделения косточек, например зизифуса, сливы, абрикоса, не представляется возможным. Поэтому необходимо проведение исследований для обоснования конструкции и параметров устройства для отделения косточки зизифуса от мякоти.

Попытка применить типовую технологию к переработке косточковых плодов сталкивается с проблемой выбора дробилки. Использование существующих дробилок, которые были разработаны для измельчения овощей и семечковых культур (валковой, ножевой, барабанной), приводит к повреждению косточек. В связи с этим нежелательные компоненты ядер косточек попадают в полуфабрикат и отрицательно влияют на качество пищевого продукта. Фрагменты косточек закупоривают отверстия перфорации протирачной машины и уменьшают ее производительность. Разрушение косточек не позволяет использовать их как вторичное сырье [3].

Если подвергать тепловой обработке целые фрукты, то приходится увеличивать продолжительность тепловой обработки. Опыты показывают, что при этом теряется до 70 % витамина С и других полезных веществ,

а пищевая ценность конечного продукта снижается.

Эффективным направлением решения этой проблемы является усовершенствование и использование в технологической линии переработки косточковых плодов роторной дробилки [3]. Для этого необходимо научно обосновать конструкцию, режимы работы и методы расчета такой дробилки.

Материалы и методы

Выявлено, что с изменением кислотности (рН) среды изменяется структурно-механическая характеристика (СМХ) кисломолочного продукта. При изменении рН от 3,8 до 5,5 вязкость H (Па·с), измеренная с помощью вискозиметра Гепплера, уменьшается по экспоненциальному закону:

$$H = 2000 \exp(-2,5 \text{ рН}). \quad (1)$$

При рН более 5,3 вязкость составляет $3,6 \cdot 10^{-3}$ Па·с. Для получения кисломолочного напитка с нужным вкусом и консистенцией его необходимо перемешивать при рН 4,3–4,6. Тогда готовый продукт будет иметь прочную структуру и сохранит положительные свойства при дальнейшем технологическом процессе, а именно при воздействии механического оборудования. В результате у продукта будет увеличен срок хранения. Вязкость кефира (йогурта) заданного качества составляет 2,8–3,3 Па·с при касательном напряжении 970 Па или 1,7–1,8 Па·с при касательном напряжении 1 980 Па. Таким образом, чтобы получить высококачественный кисломолочный продукт (например йогурт, кефир), необходимо в технологическом процессе контролировать показатель рН и вязкость⁴.

Также на структуру и консистенцию кисломолочных продуктов, наряду

⁴ Там же ; Меркулов М. Ю. Совершенствование и использование методов инженерной...

с режимами тепловой обработки, влияет закваска⁵. Во время пастеризации при пониженных температурах сгусток вялый, а при повышении температуры и увеличении времени нагрева сгусток становится плотным и прочным⁶ [1; 4; 5]. Это связано с повышением степени гидратации и дезагрегацией мицелл казеина и увеличением содержания денатурированных сывороточных белков, что в конечном итоге приводит к тому, что жесткость продукта и способность влагоудержания увеличивается [2; 6–8]. При тепловой обработке выше $t = 90$ °С не получается приготовить кисломолочный напиток с требуемой консистенцией. Он получается жидким⁷.

Этап, при котором закваска внесена в сырье, и влияние технологических параметров этого процесса на качество продукта изучены. В научной литературе существуют необходимые рекомендации⁸. Этап, при котором закваска не внесена в сырье, на данный момент не исследован⁹.

Чтобы подтвердить гипотезу о влиянии тепловой обработки (температуры пастеризации) исходного сырья на консистенцию готового продукта, был поставлен эксперимент. Его результаты

позволяют предложить производству оптимальные параметры работы пастеризационно-охладительной установки для производства кисломолочных напитков (йогурт, кефир) [2; 9–11].

При выборе конструктивно-режимных параметров дробилки для измельчения мякоти зизифуса без повреждения косточек в качестве компонента йогурта необходимо выполнить условие, при котором мякоть измельчается, а косточки остаются неповрежденными [3; 12–15].

Ставится задача изучить процесс измельчения плодов зизифуса и проанализировать влияние процессов на качество измельченной мякоти плода и целостность косточки [16–19].

Исследования проводились в условиях лаборатории переработки молока КФУ имени В. И. Вернадского. Для экспериментов использовали исходное сырье при производстве йогурта. Молоко подавалось на подогрев в пластинчатый пастеризатор (рис. 1).

Была поставлена задача найти оптимальную температуру процесса пастеризации. Диапазон значений температуры пастеризации, согласно техническим условиям, составляет от 74 до 90 °С. Технические данные установки «Альфа

⁵ Серазетдинова Ю. Р., Дышлок Л. С. Разработка технологии производства йогурта, обогащенного экстрактом мяты перечной // Сборник тезисов IX Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии» в рамках III Международного симпозиума «Инновации в пищевой биотехнологии». Кемерово, 2021. С. 243–245. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46598094&pff=1> (дата обращения: 20.12.2021).

⁶ Ермолаев В. А., Гриценко Д., Юрченко В. В. Анализ влияния способа подвода теплоты на процесс вакуумного обезвоживания молочных продуктов // Сборник трудов Международного симпозиума «Инновации в пищевой биотехнологии»; под общ. ред. А. Ю. Просекова. Кемерово, 2018. С. 290–296. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35042068> (дата обращения: 20.12.2021).

⁷ Gabor D., Colombo U., King A. S. Beyond the Age of Waste: A Report to the Club of Rome. 2nd ed. Pergamon, 1981. 258 p. URL: <https://www.elsevier.com/books/beyond-the-age-of-waste/gabor/978-0-08-027303-7> (дата обращения: 20.12.2021).

⁸ Кригер О. В., Сую В. Разработка поликомпонентного пробиотика на основе лактобактерий, выделенных из национальных кисломолочных продуктов // Сборник трудов Международного симпозиума «Инновации в пищевой биотехнологии»; под общ. ред. А. Ю. Просекова. Кемерово, 2018. С. 44–47. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35041989> (дата обращения: 20.12.2021).

⁹ Козлова О. В., Тултабаева Т. Ч. Совершенствование технологии получения молочно-белковых концентратов, оценка состава и технологических свойств // Сборник трудов Международного симпозиума «Инновации в пищевой биотехнологии»; под общ. ред. А. Ю. Просекова. Кемерово, 2018. С. 33–44.



Р и с. 1. Пастеризатор-охладитель «Альфа Лаваль» с измерительным блоком температуры ИТ-8ТП
F i g. 1. Alfa Laval pasteurizer-cooler with measuring unit temperature IT-8TP

Лаваль» позволили соблюсти указанный интервал. Температурный режим контролировался с помощью изменения количества включенных теплоэлектронагревательных элементов в пастеризационной установке. Температуру выставляли на щите управления, входящем в комплект пастеризационно-охладительной установки «Альфа Лаваль» (рис. 2). Точное значение температуры пастеризации фиксировали с помощью измерительного восьмиканального блока «Тэра».

Результаты исследования

Датчики температуры были установлены на различных секциях пастеризатора, в том числе в зоне секции нагрева, где фиксировалась рабочая температура пастеризации (табл.).

Для проведения экспериментов по режимам дробления косточковых плодов использовалась лабораторно-экспериментальная установка (рис. 3).

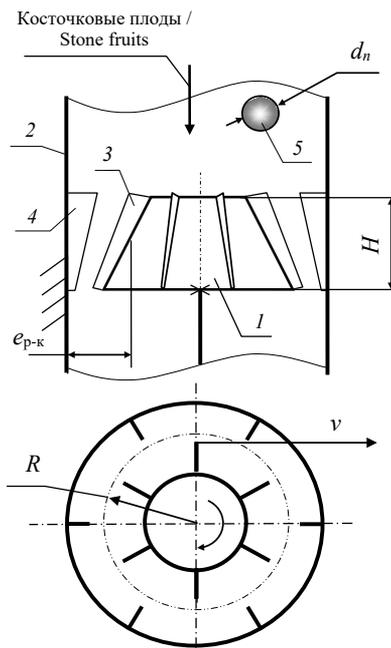
Таким образом, учитывая полученные данные, диапазон нагрева 82–85 °С является оптимальным при пастеризации для обеспечения требуемой структуры и оптимизированных энергетических затрат.

Ингредиентом для производства кисломолочного продукта выбран плод зизифус. Плоды зизифуса богаты витаминами С, А, В1, В2, В5, К, Р-активными соединениями, каротиноидами, калием, кальцием, фосфором, магнием, железом, содержат жирное масло. Благодаря витаминам и флавоноидам он обладает антиоксидантными свойствами.



Р и с. 2. Измерительный блок температуры ИТ-8ТП

F i g. 2. Measuring unit of temperature IT-8TP



Р и с. 3. Схема роторной дробилки: 1 – ротор; 2 – корпус; 3 – подвижное ребро; 4 – неподвижное ребро; 5 – плод

F i g. 3. Diagram of a rotary crusher: 1 – rotor; 2 – case; 3 – movable rib; 4 – fixed rib; 5 – fetus

Т а б л и ц а
T a b l e

Данные качественных показателей исследуемого продукта при различных значениях температуры пастеризации по показателю условной вязкости, с
Data of qualitative indicators of the investigated product at different values of pasteurization temperature in terms of conditional viscosity, s

Температура сквашивания йогурта, °С / Yogurt mixing temperature, °C	Вариант / Option				
	1	2	3	4	5
	Температура пастеризации йогурта, °С / Yogurt pasteurization temperature, °C				
	74,0	78,0	82,0	86,0	90,0
30,0	77,5	97,0	147,0	100,0	68,5
35,0	75,0	90,0	130,0	85,0	64,5
40,0	67,0	78,0	100,0	70,0	60,0

Также зизифус содержит сапонины, являющиеся натуральными противовоспалителями, пектиновые вещества (около 0,5–0,6 % по массе), аскорбиновую кислоту (65–70 мг на 1 000 г). Согласно Т. Ю. Брановицкой, степень этерификации пектина (СЭ) 44 % [9].

Processes and machines of agroengineering systems

Для измельчения плодов зизифуса предлагается применить дробилку с подвижными и неподвижными ребрами. Дробилка состоит из ротора 1, корпуса 2 с зазором между ребрами шириной e_{p-k} и высотой H (рис. 3). На роторе крепятся вращающиеся ребра 3,

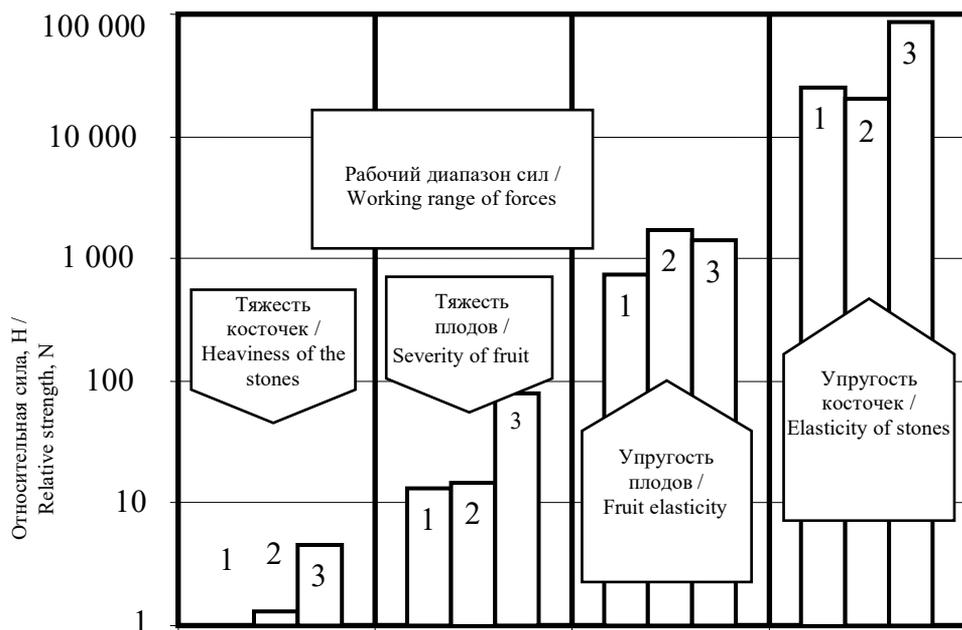
а на корпусе – неподвижные ребра 4. Ротор вращается с окружной скоростью v . Плоды 5 поступают в корпус 2 и попадают в зазор между ротором и корпусом, подвергаются ударным воздействиям. Также происходит их защемление между подвижными и неподвижными ребрами, вследствие чего происходит их измельчение. Под действием силы тяжести плоды и частицы измельчения проходят через рабочую зону машины и выгружаются.

После проведенного анализа механических свойств плодов и косточек зизифуса было определено, что из воздействующих сил в качестве единицы выбрана наименьшая из них, то есть сила тяжести косточки зизифуса, которая составляет 0,02 Н. На рисунке 4 в логарифмическом масштабе представлено, во сколько раз другие силы превосходят выбранную минимальную силу.

Установлено, что исследуемые величины сил отличаются друг от друга в 100 000 раз. Определен рабочий диапазон сил, который реализуется в дробилке. Он должен быть больше предела упругости плодов, чтобы измельчить мякоть, и меньше предела упругих деформаций косточек, чтобы сохранить косточки целыми. Из рисунка 4 видно, что при анализе процесса измельчения мякоти плодов зизифуса силами тяжести плодов и косточек можно пренебречь.

Определены силы, которые приводят к измельчению мякоти и повреждению косточек – это силы упругости плодов и косточек.

При столкновении плода (косточки) с подвижными и неподвижными ребрами дробилки примем, что плоды зизифуса и его косточки имеют свойства упругого тела, а ребро машины – абсолютно твердое тело, и его масса превосходит массу плода (косточки).



Р и с. 4. Диаграмма относительных сил, действующих на плоды и косточки в рабочей зоне дробилки при переработке плодов: 1 – зизифус; 2 – слива; 3 – абрикос
 Fig. 4. Diagram of the relative forces acting on fruits and seeds in the working area of the crusher during fruit processing: 1 – ziziphus fruits; 2 – plum; 3 – apricot

Рассмотрим следующие показатели:
– скорость плодов v_{En} , при которой кинетическая энергия плода $m_{п}$ равняется предельному значению его упругой деформации $E_{упр.п.}$:

$$v_{En} = \sqrt{\frac{2E_{упр.п.}}{m_{п}}}; \quad (2)$$

– скорость косточки v_{Ek} , при которой кинетическая энергия косточки $m_{к}$ равна предельному значению упругой деформации косточки $E_{упр.к.}$

$$v_{Ek} = \sqrt{\frac{2E_{упр.к.}}{m_{к}}}. \quad (3)$$

В итоге конструкцию дробилки можно выразить скоростью v_g , которую приобретает частица в результате свободного падения на высоту ротора H :

$$v_g = \sqrt{2gH}. \quad (4)$$

В результате проведенного эксперимента определено, что если нормальная

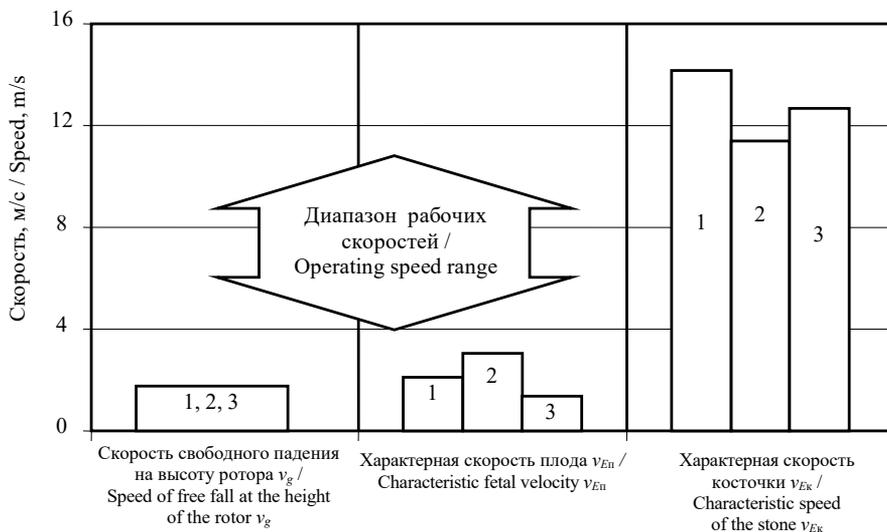
составляющая скорости плода меньше характерной скорости плода относительно ребер, то плод отскакивает от твердой поверхности, если наоборот, то кожица плода повреждается, отделяется частица мякоти, а если скорость больше, то мякоть измельчается, а косточка отделяется. Если относительная скорость косточки меньше характерной скорости косточки, то косточка отскакивает от ребра без повреждений скорлупы. В противном случае возможно разрушение косточки.

На рисунке 5 представлены уровни скоростей дробилки, высота ротора $H = 0,16$ м.

Для того чтобы измельчить мякоть плодов зизифуса и при этом сохранить косточку неповрежденной, скорость ротора дробилки должна составлять от 4,5 до 10,5 м/с (рис. 5).

Обсуждение и заключение

В результате проведенных экспериментов можно сделать заключение, что основными показателями готового кисломолочного напитка являются вязкость и консистенция. Вязкость готового продукта напрямую зависит от



Р и с. 5. Анализ скоростного режима измельчения косточковых плодов:
1 – зизифус; 2 – слива; 3 – абрикос

F i g. 5. Analysis of the speed regime of crushing stone fruits: 1 – ziziphus; 2 – plum; 3 – apricot

температурного режима пастеризации. Установлено, что максимальная вязкость готового продукта достигается при температуре пастеризации 82–85 °С. Если значения температуры превышают указанный диапазон, продукт будет жидкий и иметь структуру в виде крупинок.

Ингредиентом для кисломолочного продукта выбраны плоды зизифуса, которые содержат 8–10 % дубильных веществ, кумарины, флавоноиды, смолы, органические кислоты, среди которых преимущественно яблочная, винная и янтарная кислоты, фолиевая кислота, до 30 % сахаров.

Подготовка зизифуса к внесению в йогурт включает следующие основ-

ные операции: приемка, мойка, дробление без повреждения косточек, дозирование, перемешивание. Отделить мякоть плодов от косточек предлагается с помощью роторной дробилки оригинальной конструкции.

В предлагаемой дробилке для измельчения плодов зизифуса происходит разрушение мякоти вследствие ударного действия и сжатие между ребрами корпуса и ребрами вращающегося ротора дробилки. Для того чтобы измельчить мякоть плодов зизифуса и при этом сохранить косточку неповрежденной, скорость ротора дробилки должна составлять от 4,5 до 10,5 м/с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гербер Ю. Б., Гаврилов А. В., Киян Н. С. Моделирование процесса тепловой обработки жидких продуктов в пластинчатом теплообменнике с использованием комплексной энергозамещающей установки // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30, № 2. С. 200–218. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202002.200-218>
2. Гербер Ю. Б., Гаврилов А. В. Обоснование параметров механической обработки молока при производстве кисломолочных продуктов // Техника и технология пищевых производств. 2019. Вып. 3. С. 375–382. doi: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-375-382>
3. Гаврилов А. В. Процессы измельчения мякоти косточковых плодов и повреждения косточек в роторной дробилке // Холодильная техника и технология. 2006. № 4. С. 112–114.
4. Доровских В. И., Доровских Д. В., Альями С. Обоснование критериев оценки эффективности использования оборудования для первичной обработки молока // Наука в центральной России. 2016. № 5. С. 62–69. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27202673> (дата обращения: 20.12.2021).
5. Банникова А. В. Новые технологические решения по созданию йогуртов с пищевыми волокнами // Техника и технология пищевых производств. 2014. № 3. С. 5–10. URL: <https://www.fptt.ru/upload/journals/fptt/34.pdf> (дата обращения: 20.12.2021).
6. Долматова О. И., Красноженова А. В. Изучение реологических свойств кефирного продукта // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83. № 3. С. 73–77. URL: <https://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/article/view/2812/4216> (дата обращения: 20.12.2021).
7. Кригер О. В., Носкова С. Ю. Разработка приемов длительного сохранения свойств молочнокислых микроорганизмов // Техника и технология пищевых производств. 2018. № 4. С. 30–38. doi: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-4-30-38>
8. Бровин В. Н., Эрк А. Ф. Оптимизация параметров солнечной водонагревательной установки методом вычислительного эксперимента // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2013. Вып. 84. С. 112–125. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22677098> (дата обращения: 20.12.2021).
9. Брановицкая Т. Ю., Кожарский Г. Н. Изучение возможности использования плодов зизифуса в производстве кондитерских изделий желейной структуры // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. 2021. Т. 7, № 1. С. 243–248. URL: http://sn-biolchem.cfuv.ru/wp-content/uploads/2021/05/22_Branovitskaya.pdf (дата обращения: 20.12.2021).

10. Clapp J., Newell P., Brent Z. W. The Global Political Economy of Climate Change, Agriculture and Food Systems // The Journal of Peasant Studies. 2018. Vol. 45, Issue 1. P. 80–88. doi: <https://doi.org/10.1080/03066150.2017.1381602>
11. Govindan K. Sustainable Consumption and Production in the Food Supply Chain: A Conceptual Framework // International Journal of Production Economics. 2018. Vol. 195. P. 419–431. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.003>
12. Understanding and Managing the Food-Energy-Water Nexus – Opportunities for Water Resources Research / X. Cai [et al.] // Advances in Water Resources. 2018. Vol. 111. P. 259–273. doi: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.11.014>
13. Prosekov A. Y., Ivanova S. A. Food Security: the Challenge of the Present // Geoforum. 2018. Vol. 91. P. 73–77. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.02.030>
14. Thin Film Solar Cells Based on CdTe and Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS) Compounds [Электронный ресурс] / P. P. Gladyshev [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2006. Vol. 291. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/291/1/012049>
15. Determination of Basic Parameters of Solar Panels / K. Tepe [et al.] // Alternative Energy and Ecology. 2010. Issue 2. P. 22–27. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14671143>
16. Development of Wave Technologies to Intensify Heat and Mass Transfer Processes / O. Burdo [et al.] // Technology and Equipment of Food Production. 2017. Vol. 4, Issue 11. P. 34–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108843>
17. Burdo O. G., Bandura V. N., Levtrinskaya Yu. O. Electrotechnologies of Targeted Energy Delivery in the Processing of Food Raw Materials // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2018. Vol. 54, Issue 2. P. 210–218. doi: <https://doi.org/10.3103/S1068375518020047>
18. Sabarez H. T. Thermal Drying of Foods [Электронный ресурс] // Fruit Preservation. Food Engineering Series ; A. Rosenthal, R. Deliza, J. Welti-Chanes, G. Barbosa-Cánovas (eds.). New York : Springer, 2018. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3311-2_7
19. Kumar C., Karim M. A. Microwave-Convective Drying of Food Materials: A Critical Review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019. Vol. 59, Issue 3. P. 379–394. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1373269>

Поступила 28.12.2021; одобрена после рецензирования 15.01.2022; принята к публикации 01.02.2022

Об авторах:

Гербер Юрий Борисович, заместитель директора, заведующий кафедрой технологии и оборудования производства и переработки продукции животноводства Агротехнологической академии КФУ имени В. И. Вернадского (295492, Российская Федерация, г. Симферополь, пос. Аграрное), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3224-6833>, Researcher ID: B-6690-2019, gerber_1961@mail.ru

Гаврилов Александр Викторович, и. о. декана факультета механизации производства и технологии переработки сельскохозяйственной продукции, доцент кафедры технологии и оборудования производства и переработки продукции животноводства Агротехнологической академии КФУ имени В. И. Вернадского (295492, Российская Федерация, г. Симферополь, пос. Аграрное), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3382-0307>, Researcher ID: AАН-5137-2019, tehfac@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Ю. Б. Гербер – общая идея, обоснование цели и задач проведения эксперимента, руководство проведением исследований.

А. В. Гаврилов – техническое обеспечение проведения экспериментов, анализ технологии измельчения косточковых.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Gerber Yu.B., Gavrilov A.V., Kiyan N.S. Modeling the Process of Heat Treatment of Liquid Products in a Plate Heat Exchanger Using an Integrated Energy-Substituting Installation. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2020; 30(2):200-218. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202002.200-218>
2. Gerber Yu.B., Gavrilov A.V. Machine Processing of Milk in Dairy Production. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* = Food Processing: Techniques and Technology. 2019; 3:375-382. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-375-382>
3. Gavrilov A.V. [Crushing Processes of Stone Fruit Pulp and Stone Damage in a Rotary Crusher]. *Kholodilnaya tekhnika i tekhnologiya* = Refrigeration Engineering and Technology. 2006; (4):112-114. (In Russ.)
4. Dorovskih V.I., Dorovskih D.V., al-Lami S.F.H. Justification Criteria for Assessing the Effectiveness of Use Equipment for Primary Processing of Milk. *Nauka v tsentralnoy Rossii* = Science in the Central Russia. 2016; (5):62-69. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27202673> (accessed 20.12.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
5. Bannikova A.V. New Solutions for Creation of Yogurts Containing Dietary Fibers. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* = Food Processing: Techniques and Technology. 2014; (3):5-10. Available at: <https://www.fppt.ru/upload/journals/fppt/34.pdf> (accessed 20.12.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
6. Dolmatova O.I., Krasnozhenova A.V. Study of the Rheological Properties of a Kefir Product. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021; 83(3):73-77. Available at: <https://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/article/view/2812/4216> (accessed 20.12.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
7. Krieger O.V., Noskova S.Yu. Properties of Lactic Acid Microorganisms: Long-Term Preservation Methods. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* = Food Processing: Techniques and Technology. 2018; (4):30-38. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-4-30-38>
8. Brovtsin V.N., Erk A.F. Optimization of Parameters of a Solar Water Heating Installation through Computational Experiment. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva* = Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Products. 2013; 84:112-125. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22677098> (accessed 20.12.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
9. Branovitskaia T.Y., Kozharskiy G.N. Study of the Possibility of Using Ziziphus Fruits in the Production of Jelly Structure Confectionery Products. *Uchenye zapiski Krymskogo federalnogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya* = Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry. 2021; 7(1):243-248. Available at: http://sn-biolchem.cfuv.ru/wp-content/uploads/2021/05/22_Branovitskaya.pdf (accessed 20.12.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
10. Clapp J., Newell P., Brent Z.W. The Global Political Economy of Climate Change, Agriculture and Food Systems. *The Journal of Peasant Studies*. 2018; 45(1):80-88. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1080/03066150.2017.1381602>
11. Govindan K. Sustainable Consumption and Production in the Food Supply Chain: A Conceptual Framework. *International Journal of Production Economics*. 2018; 195:419-431. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.003>
12. Cai X., Wallington K., Shafiee-Jood M., Marston L. Understanding and Managing the Food-Energy-Water Nexus – Opportunities for Water Resources Research. *Advances in Water Resources*. 2018; 111:259-273. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.11.014>
13. Prosekov A.Y., Ivanova S.A. Food Security: the Challenge of the Present. *Geoforum*. 2018; 91:73-77. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.02.030>
14. Gladyshev P.P., Filin S.V., Puzynin A.I., et al. Thin Film Solar Cells Based on CdTe and Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS) Compounds. *Journal of Physics: Conference Series*. 2006; 291. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/291/1/012049>

15. Tepe K., Agbenotowossi K., Djeteli G., et al. Determination of Basic Parameters of Solar Panels. *Alternative Energy and Ecology*. 2010; (2):22-27. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14671143> (accessed 20.12.2021). (In Eng.)
16. Burdo O., Bandura V., Zykov A., et al. Development of Wave Technologies to Intensify Heat and Mass Transfer Processes. *Technology and Equipment of Food Production*. 2017; 4(11):34-42. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108843>
17. Burdo O.G., Bandura V.N., Levtrinskaya Yu.O. Electrotechnologies of Targeted Energy Delivery in the Processing of Food Raw Materials. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2018; 54(2):210-218. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.3103/S1068375518020047>
18. Sabarez H.T. Thermal Drying of Foods. In: Rosenthal A., Deliza R., Welti-Chanes J., Barbosa-Cánovas G. (eds.). *Fruit Preservation*. Food Engineering Series. New York: Springer; 2018. (In Eng.) doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3311-2_7
19. Kumar C., Karim M.A. Microwave-Convective Drying of Food Materials: A Critical Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019; 59(3):379-394. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1373269>

Submitted 28.12.2021; approved after reviewing 15.01.2022; accepted for publication 01.02.2022

About the authors:

Yuriy B. Gerber, Deputy Director, Head of the Chair of Technology and Equipment for Producing and Processing Livestock Products, Agrotechnological Academy of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University (Agraroye, Simferopol 295492, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3224-6833>, Researcher ID: B-6690-2019, gerber_1961@mail.ru

Aleksandr V. Gavrilov, Acting Dean of the Faculty of Mechanization of Production and Processing Technology of Agricultural Products, Associate Professor of the Chair of Technology and Equipment for Producing and Processing of Livestock Products, Agrotechnological Academy of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University (Agraroye, Simferopol 295492, Russian Federation), Cand.Sci (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3382-0307>, Researcher ID: AAH-5137-2019, tehfac@mail.ru

Contribution of the authors:

Yu. B. Gerber – the general idea, justification of the purpose and objectives of the experiment, the management of the research.

A. V. Gavrilov – technical support for the experiments, analysis of stone fruit grinding technology.

All authors have read and approved the final manuscript.



Методика расчета распределения общего азота и общего фосфора между фракциями свиного навоза

Е. В. Шалавина, Р. А. Уваров, Э. В. Васильев*

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

* sznii6@yandex.ru

Аннотация

Введение. Цель исследования – разработка комплексной методики расчета и ее апробация на материале пилотных свинокомплексов для подтверждения достоверности расчетов. Методика необходима для объективного учета движения питательных веществ на уровне хозяйства и корректировки доз внесения полученного твердого и жидкого органического удобрения на основе применяемых севооборотов, агрохимического анализа почв и конкретных культур для получения запланированного урожая.

Материалы и методы. Расчеты содержания общего азота и общего фосфора в свином навозе до сепарации и в полученных твердой и жидкой фракциях осуществляли по разработанной методике. При этом использовали коэффициенты из соответствующих нормативных документов и результатов предыдущих исследований. Отбор исходного материала проводили в трех повторах на двух свинокомплексах замкнутого цикла, расположенных в Ленинградской области. Экспериментальные данные были статистически обработаны в программе StatGraphics Centurion v.16.

Результаты исследования. Рассчитанные значения содержания питательных элементов в навозе до сепарации и в его твердой и жидкой фракциях сравнили с результатами лабораторных исследований физико-химического состава навоза и его фракций, полученных на выбранных свиноводческих комплексах. Разница между расчетными и средними фактическими значениями по всем рассмотренным показателям не превышала 10 %, причем различия по азоту оказались намного больше (до 10 %), чем различия по фосфору (до 5,7 %) в твердой и жидкой фракциях свиного навоза.

Обсуждение и заключение. Выявленные различия можно объяснить допустимой погрешностью приборов и неоднородностью исходного сырья – смеси экскрементов с технологической водой. Результаты исследования подтвердили, что разработанный метод достоверен и его можно использовать для учета питательных веществ в получаемых твердых и жидких органических удобрениях при расчете и корректировке доз их внесения под определенные культуры для получения заданного урожая и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: свиноводческий комплекс, навоз, сепарация, общий азот, общий фосфор, твердая фракция, жидкая фракция

Благодарности: авторы выражают благодарность редакции и рецензентам за внимательное отношение к статье и указанные замечания, которые позволили повысить ее качество.

© Шалавина Е. В., Уваров Р. А., Васильев Э. В., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шалавина Е. В., Уваров Р. А., Васильев Э. В. Методика расчета распределения общего азота и общего фосфора между фракциями свиного навоза // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 54–70. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.054-070>

Original article

Calculation Methods of Total Nitrogen and Total Phosphorus Distribution in Pig Manure Fractions

E. V. Shalavina, R. A. Uvarov, E. V. Vasilev*

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

* sznii6@yandex.ru

Abstract

Introduction. The study aims to develop and test a comprehensive calculation methodology in a case study of pilot pig complexes to verify reliability of estimates. The methods are required for reliable tracking of the nutrients flow at the farm level and for adjusting the application doses of resulting solid and liquid organic fertilizers with due account for the crop rotation in place, agrochemical analysis of soils, and specific crops to obtain the target yields.

Materials and Methods. Calculations of the content of total nitrogen and total phosphorus in pig manure before separation and in resulting solid and liquid fractions were carried out by the developed method. At that, coefficients from corresponding normative documents and results of previous research were used. Samples of initial material were collected in three replications at two closed-cycle pig rearing complexes located in the Leningrad Region. The experimental data were statistically processed with StatGraphics Centurion v.16 software.

Results. The calculated nutrient content of the manure before separation and the separated solid and liquid fractions was compared with the results of laboratory analysis of the physicochemical composition of the manure and its fractions from the selected pig rearing complexes. The difference between the calculated and average actual values of all considered indicators did not exceed 10%, with the differences in nitrogen content turning out to be much bigger (up to 10%) than the differences in phosphorus content (up to 5.7%) in the solid and liquid fractions of pig manure.

Discussion and Conclusion. The identified differences can be explained by the instrumental uncertainty and heterogeneity of the analyzed initial material – a mixture of excrement and process water. The results of the study confirmed that the developed method is reliable, and it can be used to account for the nutrients in the solid and liquid organic fertilizers in calculating and adjusting doses for certain crops to produce expected yield and reduce the negative impact on the environment.

Keywords: pig-rearing complex, manure, separation, total nitrogen, total phosphorus, solid fraction, liquid fraction

Acknowledgments: The authors are grateful to the editors and reviewers for their attentive attitude to the article and for the indicated remarks, which improved its quality.

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Shalavina E.V., Uvarov R.A., Vasilev E.V. Calculation Methods of Total Nitrogen and Total Phosphorus Distribution in Pig Manure Fractions. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2022; 32(1):54-70. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.054-070>

Введение

Изменения, происходящие в свиноводстве, вносят существенные коррективы в отрасль животноводства и сельское хозяйство в целом. За последнее десятилетие общее поголовье свиней в России выросло на 49 %: с 17 251,4 тыс. голов в 2010 году до 25 850,1 тыс. голов в 2020 году¹. Увеличение поголовья свиней ведет и к росту образуемых отходов, в частности навоза. С учетом уменьшения числа производителей и размещения основных мощностей производства на крупных свиноводческих комплексах многие предприятия активно внедряют технологии интенсивной переработки навоза, позволяющие повысить рациональный радиус транспортировки полученного органического удобрения и вторичных продуктов [1–3].

Свиной навоз, в силу применяемых технологий содержания животных и навозоудаления, а также особенностей своего физико-химического состава, характеризуется низким содержанием сухого вещества: не более 8–10 %. Поэтому одной из основных технологий первичной переработки свиного навоза является разделение его на фракции [4–6]. Данная технология позволяет сократить объемы навозохранилищ и сроки последующей переработки твердой и жидкой фракций по отдельности. При этом появляется возможность применять более эффективные и экологически безопасные технологии переработки навоза и получения на его основе вторичных продуктов [7; 8].

Существующие на сегодняшний день методики расчета распределения биогенных элементов при разделении навоза на фракции ориентируются

на технологии содержания животных и технические средства, выходящие из обращения [9–11], или акцентируют внимание на конкретном элементе и распределяют остальные в порядке снижения приоритета [12–14]. Поэтому при расчете рекомендуемых доз внесения получаемого органического удобрения применяются усредненные значения содержания питательных веществ (азота, фосфора и калия)².

Для объективного учета движения питательных веществ на уровне хозяйства необходима методика расчета распределения биогенных веществ при разделении навоза на твердую и жидкую фракции. Это важно для корректировки доз внесения полученного твердого и жидкого органического удобрения с учетом применяемых севооборотов, агрохимического анализа почв и конкретных культур для получения запланированного урожая.

Цель работы – разработка комплексной методики расчета распределения общего азота и фосфора между фракциями свиного навоза и ее апробация на материале пилотных свинокомплексов для подтверждения достоверности расчетов.

Обзор литературы

В рамках комплексных исследований международными авторскими коллективами установлено, что в 1 т исходного свиного навоза влажностью 92 % в среднем содержится 6,4 кг азота, 4 кг фосфора и 3 кг калия [15; 16]. При этом на долю неорганических соединений приходится в среднем 75 % от общего содержания азота и до 87 % от общего содержания фосфора [17; 18]. Использование свиного навоза в качестве

¹ Федеральная служба государственной статистики : сайт. URL: <https://www.gks.ru/> (дата обращения: 21.01.2021).

² Разработка регламентов по обращению с навозом в рамках проекта «ЛУГА-БАЛТ» / А. Ю. Брюханов [и др.] // Экологически безопасное развитие сельских территорий и сохранение водных объектов: сборник научных трудов международных семинаров, проведенных в рамках Российско-Финляндского проекта «Чистые реки – в здоровое Балтийское море» SE 717 в 2013–2015 гг. ; под общ. ред. В. Б. Минина. СПб. : ИАЭП, 2016. С. 60–66.

органического удобрения положительно влияет на структуру и микробиологическое состояние почвы, а также на содержание в ней гумусовых веществ, что в конечном счете сказывается на ее плодородии [19; 20].

В наиболее развитых агропромышленных странах, традиционно специализирующихся на производстве свиноводческой продукции, все большее число предприятий внедряет технологии разделения навоза на фракции. Одним из лидеров в развитии свиноводства является Дания: при населении страны в 5,78 млн человек поголовье свиней насчитывает 12,64 млн голов³. Поэтому датские ученые занимают лидирующие позиции в разработке технологических решений переработки и учета свиного навоза. В своей работе М. Хьорт и коллеги рассматривают существующие технологии разделения навоза: седиментацию, применение ситовых или ленточных фильтров, механическое разделение при помощи декантерных центрифуг и шнековых сепараторов. Установлено, что в условиях интенсификации сельского хозяйства применение шнековых сепараторов позволяет, с учетом сравнительно невысоких капитальных вложений и эксплуатационных затрат, получить продукт с наибольшим содержанием сухого вещества (до 35 %) [21].

К похожему выводу пришли А. Макара и З. Ковальский. На базе 5 свиноводческих предприятий, расположенных в Польше, они смоделировали применение 3 вариантов технологии переработки образуемого навоза: хранение, длительное выдерживание и разделение на фракции с последующим производством специализированного органического удобрения. Для оценки эффективности рас-

смотренных вариантов был применен метод ВАННЕЕС, по которому 3-й вариант продемонстрировал существенно более высокую эффективность (89 %), чем хранение (22 %) и длительное выдерживание (39 %) [22].

Исследования Б. М. Али и коллег подтвердили, что более эффективное применение биогенных элементов, достигаемое за счет разделения исходного навоза на фракции, позволяет повысить коэффициент использования пахотных площадей под кормовые культуры и получить больше растениеводческой продукции с той же площади [23].

В целом европейские фермеры называют разделение свиного навоза на фракции одной из важных и применимых технологий при утилизации свиного навоза, так как она существенно расширяет возможность его переработки [24].

Китайские ученые уделяют значительное внимание вопросам экологической безопасности производства продукции свиноводства. Для оценки перспектив воздействия различных технологий переработки свиного навоза на окружающую среду созданы их модели для условий интенсивного сельского хозяйства Китая. Установлено, что технология разделения навоза на фракции и использование полученного органического удобрения оказывают существенно меньшую экологическую нагрузку, чем другие варианты, в частности технология длительного выдерживания [25].

Тенденция к разделению навоза на фракции, последующая раздельная переработка фракций и их применение в качестве органического удобрения более эффективно влияют на жизненный цикл локальной агробиосистемы, чем внесение неразделенного навоза

³ Eurostat. Population. Total (persons). 2018 : сайт. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/RCI/#?vis=nuts1.population&lang=en> (дата обращения: 21.01.2021) ; Eurostat. Agriculture. Livestock farming, Live swine, domestic species. 2018 : сайт. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/RCI/#?vis=nuts2.agriculture&lang=en> (дата обращения: 21.01.2021).

или производство органоминеральных удобрений [26].

В России данная технология используется так же активно [27]. За последние годы доля свиноводческих предприятий, внедривших технологию разделения навоза на фракции, существенно выросла. В отдельных субъектах она превышает 85 % от общего числа свиноводческих комплексов [28–30].

В ходе многолетних исследований свиноводческих предприятий, расположенных в Европейской части России, установлено, что наибольшее распространение получила технология разделения навоза шнековыми сепараторами [31]. При этом более 90 % приходится на сепараторы фирм FAN, CRIMAN и Stallkamp (Германия и Литва) производительностью до 50 м³/ч, которые обеспечивают влажность твердой фракции до 68 и до 70 % перехода абсолютно сухого вещества из всей массы навоза в твердую фракцию [32–34].

При определении доз внесения твердого и жидкого органического удобрения расчет осуществляется в соответствии с заявленными характеристиками сепараторов. Однако применяемые рационы кормления животных и технологии навозоудаления влияют на распределение массы навоза и питательных элементов (общего азота и фосфора) между твердой и жидкой фракциями. Разработанная методика расчета распределения биогенных элементов при разделении навоза используется при подготовке технологических регламентов по обращению с навозом/пометом и помогает определять дозы внесения того или иного вида органических удобрений на поля с учетом содержания биогенных элементов в каждом виде органического удобрения. Более точное определение

вносимых доз позволяет снизить деградацию почв и обеспечить стабильность разнообразия биоценоза и повышение уровня экологической устойчивости локальной агробиосистемы [35].

Материалы и методы

В рамках исследований были рассчитаны значения содержания питательных элементов в навозе, его твердой и жидкой фракциях на примере конкретных свиноводческих предприятий. Полученные данные сравнили с результатами лабораторных исследований физико-химического состава навоза и его фракций на рассматриваемых предприятиях.

В расчетах использовались следующие показатели:

- масса навоза M_M , его твердой M_{SF} и жидкой M_{LF} фракций;
- масса абсолютно сухого вещества в навозе M_{DM_M} , его твердой $M_{DM_{SF}}$ и жидкой $M_{DM_{LF}}$ фракциях;
- влажность навоза W_M и его твердой W_{SF} фракции;
- масса общего азота в твердой $M_{N_{SF}}$ и жидкой $M_{N_{LF}}$ фракциях;
- содержание общего азота в навозе N_M , его твердой N_{SF} и жидкой N_{LF} фракциях;
- масса общего фосфора в навозе, его твердой и жидкой фракциях;
- содержание общего фосфора в навозе, его твердой и жидкой фракциях.

Методика расчетов учитывает коэффициенты (K_2, K_4) содержания питательных элементов в сухом веществе экскрементов свиней, взятые из нормативных документов, и коэффициенты (K_1, K_3, K_5), полученные экспериментальным путем исследователями Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП)⁴.

⁴ РД-АПК 1.10.15.02-17. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. М. : Росинформагротех, 2020. 187 с. ; РД-АПК 3.10.15.01-17. Методические рекомендации по проектированию систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета. М. : Росинформагротех, 2017. 154 с.

Масса абсолютно сухого вещества в экскрементах животных (т/сут) определена по формуле (1):

$$M_{DM_E} = M_E \cdot \frac{100 - W_E}{100}, \quad (1)$$

где M_E – масса экскрементов животных, т/сут; W_E – влажность экскрементов животных, %.

Масса абсолютно сухого вещества в подаваемом на сепаратор навозе (т/сут) определена по формуле (2):

$$M_{DM_M} = M_M \cdot \frac{100 - W_M}{100}, \quad (2)$$

где M_M – масса навоза животных, т/сут; W_M – влажность навоза животных, %.

Масса абсолютно сухого вещества, переходящего из навоза в твердую фракцию после сепарации (т/сут), определена по формуле (3):

$$M_{DM_SF} = K_1 \cdot M_{DM_M}. \quad (3)$$

где K_1 – доля абсолютно сухого вещества, переходящего из всей массы навоза в твердую фракцию.

Масса абсолютно сухого вещества, переходящего из навоза в жидкую фракцию после сепарации (т/сут), определена по формуле (4):

$$M_{DM_LF} = M_{DM_M} - M_{DM_SF}. \quad (4)$$

Масса твердой фракции навоза после сепарации (т/сут) определена по формуле (5):

$$M_{SF} = \frac{M_{DM_SF} \cdot 100}{100 - W_{SF}}, \quad (5)$$

где W_{SF} – влажность твердой фракции навоза, %.

Масса жидкой фракции навоза (т/сут) определена по формуле (6):

$$M_{LF} = M_M - M_{SF}. \quad (6)$$

Масса общего азота в экскрементах животных (т/сут) определена по формуле (7):

$$M_{N_E} = M_{DM_E} \cdot \frac{K_2}{100}, \quad (7)$$

где K_2 – процентное содержание общего азота в экскрементах животных (в пересчете на абсолютно сухое вещество).

Содержание общего азота в навозе (мг/кг) определено по формуле (8):

$$N_M = \frac{M_{N_E} \cdot 1\,000\,000}{M_M}. \quad (8)$$

Масса общего азота в твердой фракции навоза (т/сут) определена по формуле (9):

$$M_{N_SF} = M_{SF} \cdot \frac{K_3}{100}, \quad (9)$$

где K_3 – процентное содержание общего азота в твердой фракции навоза⁵.

Содержание общего азота в твердой фракции навоза (мг/кг) определено по формуле (10):

$$N_{SF} = \frac{M_{N_SF} \cdot 1\,000\,000}{M_{SF}}. \quad (10)$$

Масса общего азота в жидкой фракции навоза (т/сут) определена по формуле (11):

$$M_{N_LF} = M_{N_M} - M_{N_SF}. \quad (11)$$

⁵ Шалавина Е. В. Повышение эффективности переработки свиного навоза путем оптимизации технологических процессов и формирования адаптивных технологий : дис. ... канд. тех. наук. СПб., 2015. 152 с.

Содержание общего азота в жидкой фракции навоза (мг/кг) определено по формуле (12):

$$N_{LF} = \frac{M_{N-LF} \cdot 1\,000\,000}{M_{LF}}. \quad (12)$$

Для расчета массы общего фосфора в навозе, твердой фракции навоза, жидкой фракции навоза, а также содержания общего фосфора в навозе, в твердой и жидкой фракциях использованы формулы (7)–(12), но уже с соответствующими коэффициентами по фосфору: K_4 – процентное содержание общего фосфора в экскрементах животных (в пересчете на абсолютно сухое вещество); K_5 – процентное содержание общего фосфора в твердой фракции навоза.

Масса общего фосфора в экскрементах животных (т/сут) определена по формуле (13):

$$M_{P-E} = M_{DM-E} \cdot \frac{K_4}{100}. \quad (13)$$

Содержание общего фосфора в навозе (мг/кг) определено по формуле (14):

$$P_M = \frac{M_{P-E} \cdot 1\,000\,000}{M_M}. \quad (14)$$

Масса общего фосфора в твердой фракции навоза (т/сут) определена по формуле (15)⁶:

$$M_{P-SF} = M_{SF} \cdot \frac{K_5}{100}. \quad (15)$$

Содержание общего фосфора в твердой фракции навоза (мг/кг) определено по формуле (16):

$$P_{SF} = \frac{M_{P-SF} \cdot 1\,000\,000}{M_{SF}}. \quad (16)$$

Масса общего фосфора в жидкой фракции навоза (т/сут) определена по формуле (17):

$$M_{P-LF} = M_{P-M} - M_{P-SF}. \quad (17)$$

Содержание общего фосфора в жидкой фракции навоза (мг/кг) определено по формуле (18):

$$P_{LF} = \frac{M_{P-LF} \cdot 1\,000\,000}{M_{LF}}. \quad (18)$$

Экспериментальные исследования выполнены в лаборатории биоконверсии органических отходов, анализы проб – в аналитической лаборатории ИАЭП в 2020 году. В качестве исходного материала был выбран свиной навоз, а также его жидкая и твердая фракции, отобранные на двух свиноводческих комплексах, расположенных в Ленинградской области. Пробы отбирались с трехкратной повторностью.

Первый из рассматриваемых пилотных свиноводческих комплексов – это предприятие замкнутого цикла со среднегодовым поголовьем 108 тыс. голов, в том числе поросят-сосунов. Весь период откорма животные содержатся в групповых станках. Подстилочный материал (опилки) используется только в отделениях для опороса и содержания поросят до двухмесячного возраста. Удаление навоза и транспортирование его за пределы животноводческих помещений осуществляется гидравлическим способом (гидросмыв). Участок разделения навоза оснащен шнековым сепаратором.

Второй пилотный комплекс – это предприятие замкнутого цикла со среднегодовым поголовьем 20 тыс. голов. Технология содержания – групповые станки. Навоз удаляется при помощи самосплавной системы периодического

⁶ Там же.

действия. Участок разделения навоза оснащен шнековым сепаратором (SM 260/0,75).

Определение физико-химических свойств перерабатываемого материала выполнялось при соблюдении соответствующих ГОСТов⁷. Отбор проб осуществлялся с соблюдением ГОСТа 58487-2019⁸. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась в программе StatGraphics Centurion v.16.

Для проверки действенности разработанной методики по материалам зарубежных исследований был выбран свиноводческий комплекс в Дании со схожей системой содержания животных и обращения с навозом. Исходные данные по химическому составу навоза на комплексе были взяты из литературного источника, расчеты проведены по разработанной методике, результаты расчетов сопоставлены с данными из литературного источника.

Результаты исследования

Количественные и качественные характеристики свиного навоза, а также его фракций, полученные расчетным методом в соответствии с разработанной методикой, представлены в таблице 1.

Разница в количестве образуемого навоза и его фракций пропорциональна количеству одновременно содержащихся животных.

На двух пилотных свинокомплексах проводился отбор и анализ проб исходного свиного навоза, твердой фракции навоза и жидкой фракции навоза. Пробы отбирались с трехкратной повторностью. Сравнение расчетных и средних фактических значений содержания

биогенных элементов в свином навозе и его фракциях представлено в таблице 2.

Результаты сравнения расчетных и средних фактических (из протоколов лабораторных анализов) значений продемонстрировали, что по всем показателям различия не превышают 10 %.

Апробация методики показала, что

– различия между расчетными и средними фактическими значениями по содержанию общего азота в свином навозе составляют от 2,9 до 9,1 %; по содержанию общего фосфора – от 4,6 до 9,0 %;

– различия между расчетными и средними фактическими значениями по содержанию общего азота в твердой фракции свиного навоза составляют от 1,9 до 9,8 %, по содержанию общего фосфора – от 4,8 до 5,2 %;

– различия между расчетными и средними фактическими значениями по содержанию общего азота в жидкой фракции навоза составляют от 9,1 до 10,0 %; по содержанию общего фосфора – от 5,7 до 6,7 %.

По разработанной методике выполнен расчет для иностранного свиноводческого комплекса. В качестве исследуемого предприятия выбран датский откормочный свиноводческий комплекс (откорм поросят от 31 до 108 кг), технология навозоудаления самосплавная (решетчатый пол). Весь образуемый свиной навоз на предприятии подается в цех разделения на твердую и жидкую фракции с помощью сепаратора винтового типа. Характеристики свиного навоза (на основании данных из статьи) представлены в таблице 3 [6].

⁷ ГОСТ 26713-85. Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка. М. : Издательство стандартов, 1986 ; ГОСТ 26715-85. Удобрения органические. Методы определения общего азота. М. : Издательство стандартов, 1986 ; ГОСТ 26717-85. Удобрения органические. Метод определения общего фосфора. М. : Издательство стандартов, 1986.

⁸ ГОСТ Р 58487-2019. Удобрения органические. Методы отбора проб. М. : Стандартинформ, 2019.

Т а б л и ц а 1
T a b l e 1

**Количественные и качественные характеристики свиного навоза и его фракций,
полученные расчетным методом**
Calculated quantity and quality of pig manure and its fractions

Показатель / Indicator	Пилотное предприятие 1 / Pilot pig complex 1	Пилотное предприятие 2 / Pilot pig complex 2
Свиной навоз / Pig manure		
Масса навоза, т/сут / Mass of manure, t/day	424,70	150,00
Масса абсолютно сухого вещества, т/сут / Mass of oven-dry substance, t/day	14,90	8,50
Влажность навоза, % / Manure moisture content, %	96,50	91,50
Масса общего азота, т/сут / Mass of total nitrogen, t/day	0,94	0,51
Масса общего фосфора, т/сут / Mass of total phosphorus, t/day	0,21	0,15
Содержание общего азота в навозе, % / Manure total nitrogen content, %	0,22	0,34
Содержание общего фосфора в навозе, % / Manure total phosphorus content, %	0,05	0,10
Твердая фракция навоза / Solid fraction of pig manure		
Масса твердой фракции, т/сут / Mass of solid fraction, t/day	24,31	21,00
Масса абсолютно сухого вещества, т/сут / Mass of oven-dry substance, t/day	10,43	5,95
Влажность, % / Moisture content, %	57,10	71,60
Масса общего азота, т/сут / Mass of total nitrogen, t/day	0,11	0,11
Масса общего фосфора, т/сут / Mass of total phosphorus, t/day	0,05	0,06
Содержание общего азота в твердой фракции, % / Total nitrogen content in solid fraction, %	0,45	0,52
Содержание общего фосфора в твердой фракции, % / Total phosphorus content in solid fraction, %	0,21	0,29
Жидкая фракция навоза / Liquid fraction of pig manure		
Масса жидкой фракции, т/сут / Mass of liquid fraction, t/day	400,39	129,00
Масса абсолютно сухого вещества, т/сут / Mass of oven-dry substance, t/day	4,47	2,55
Влажность, % / Moisture content, %	99,00	98,00
Масса общего азота, т/сут / Mass of total nitrogen, t/day	0,82	0,28
Масса общего фосфора, т/сут / Mass of total phosphorus, t/day	0,14	0,09
Содержание общего азота в жидкой фракции, % / Total nitrogen content in liquid fraction, %	0,20	0,22
Содержание общего фосфора в жидкой фракции, % / Total phosphorus content in liquid fraction	0,03	0,07

Таблица 2
Table 2

**Расчетные и средние фактические значения содержания биогенных элементов в свином навозе и его фракциях
Calculated and average actual values of nutrients content in pig manure and its fractions**

Показатель / Indicator	Пилотное предприятие 1 / Pilot pig complex 1		Пилотное предприятие 2 / Pilot pig complex 2		Различие, % / Difference, %
	Расчетные, мг/кг / Calculated values, mg/kg	Фактические, мг/кг / Actual values, mg/kg	Расчетные, мг/кг / Calculated values, mg/kg	Фактические, мг/кг / Actual values, mg/kg	
Содержание общего азота в навозе / Total nitrogen content in pig manure	2 200	2 400 $\bar{x} + \sigma = 2 416;$ $\bar{x} - \sigma = 2 384$ 477	3 400	3 500 $\bar{x} + \sigma = 3 524;$ $\bar{x} - \sigma = 3 476$ 1 090	2,9
	500	$\bar{x} + \sigma = 486;$ $\bar{x} - \sigma = 468$	1 000	$\bar{x} + \sigma = 1 111;$ $\bar{x} - \sigma = 1 069$	9,0
Содержание общего фосфора в навозе / Total phosphorus content in pig manure	4 500	4 060 $\bar{x} + \sigma = 4 087;$ $\bar{x} - \sigma = 4 033$	5 200	5 300 $\bar{x} + \sigma = 5 331;$ $\bar{x} - \sigma = 5 269$	1,9
	2 100	2 000 $\bar{x} + \sigma = 2 044;$ $\bar{x} - \sigma = 1 956$	2 900	2 750 $\bar{x} + \sigma = 2 801;$ $\bar{x} - \sigma = 2 699$	5,2
Содержание общего азота в жидкой фракции / Total nitrogen content in liquid fraction	2 000	2 200 $\bar{x} + \sigma = 2 243;$ $\bar{x} - \sigma = 2 157$	2 200	2 400 $\bar{x} + \sigma = 2 439;$ $\bar{x} - \sigma = 2 361$	9,1
	235,8	220 $\bar{x} + \sigma = 229;$ $\bar{x} - \sigma = 211$	700	740 $\bar{x} + \sigma = 752;$ $\bar{x} - \sigma = 728$	5,7

Примечание / Note. \bar{x} – среднее значение; σ – диапазон вариации, стандартное отклонение / \bar{x} – the mean value; σ – the square from variance, standart deviation

Фактические характеристики свиного навоза датского свиноводческого комплекса
Actual characteristics of pig manure from a Danish pig rearing complex

Показатель / Indicator	Значение / Value
Влажность навоза, % / Manure moisture content, %	90,90
Содержание общего азота в навозе, % / Total nitrogen content in manure, %	0,65
Содержание общего фосфора в навозе, % / Total phosphorus content in manure, %	0,19

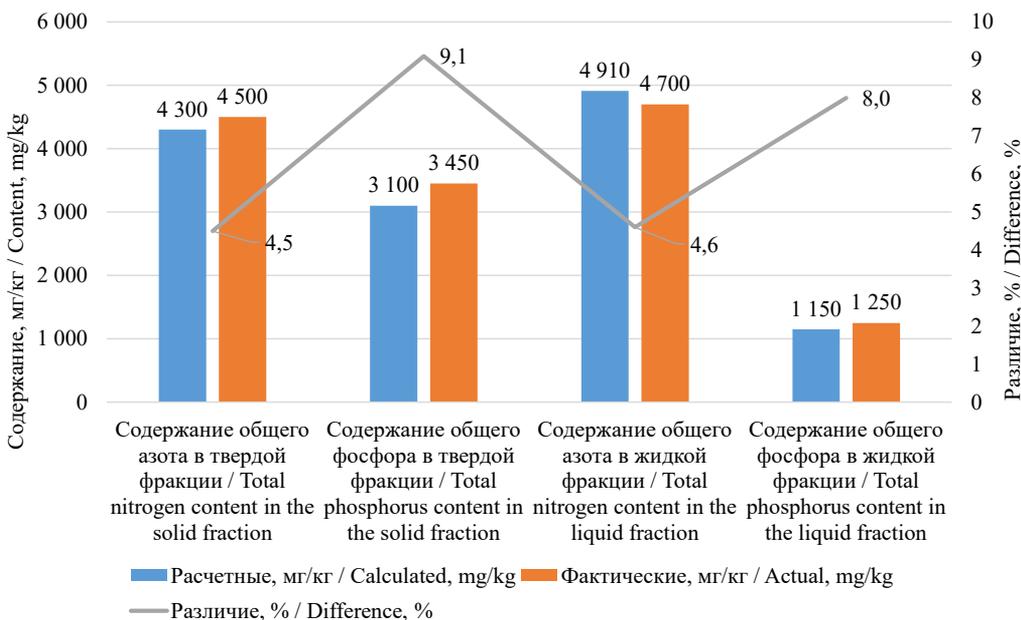
Сравнение расчетных (в соответствии с представленной выше методикой) и фактических значений (на основании данных из статьи) содержания биогенных элементов во фракциях представлено на рисунке. Исходный навоз содержит общего азота 6 500 мг/кг и общего фосфора 1 900 мг/кг.

Как видно из таблицы 2 и рисунка, отличия между расчетными и средними фактическими данными составляют

не более 10 %. Данные отличия можно объяснить допустимой погрешностью приборов и неравномерностью исходного сырья (смесь экскрементов с технологической водой).

Обсуждение и заключение

На основании проведенного обзора технологий обращения со свиным навозом в России и за рубежом определены наиболее релевантные способы расчета содержания питательных веществ



Р и с. Расчетные и фактические значения содержания общего азота и фосфора в твердой и жидкой фракциях навоза (датский свиноводческий комплекс)

F i g. Calculated and actual values of total nitrogen and total phosphorus content in solid and liquid fractions of pig manure (Danish pig rearing complex)

в нативном навозе и его фракциях. Предложенный метод определения физических и химических показателей свиного навоза до и после сепарации совмещает преимущества рассмотренных способов, обеспечивая при этом более высокое схождение расчетных и фактических значений.

По разработанной методике рассчитано содержание общего азота и общего фосфора в твердой и жидкой фракциях свиного навоза на материале двух типовых свиноводческих комплексов законченного цикла, расположенных в Ленинградской области. Для подтверждения корректности методики проведены экспериментальные исследования на этих же комплексах.

Апробация методики показала, что различия между расчетными и средними фактическими значениями по содержанию общего азота в свином навозе составляют от 2,9 до 9,1 %, по содержанию общего фосфора – от 4,6 до 9,0 %. Различия по содержанию общего азота в твердой фракции свиного навоза составляют от 1,9 до 9,8 %, по содержанию общего фосфора – от 4,8 до 5,2 %. Различия по содержанию общего азота в жидкой фракции навоза составляют от 9,1 до 10,0 %, по содержанию общего фосфора – от 5,7 до 6,7 %. Полученные различия можно объяснить допустимой погрешностью приборов и неоднородностью исходного сырья – смеси экскрементов с технологической водой.

Кроме того, был выполнен расчет по исходным данным зарубежного свиноводческого комплекса (Дания), взятым из открытого литературного источника. Полученные результаты были сопоставимы с указанными в источнике значениями.

Результаты исследования подтвердили достоверность разработанного метода для учета питательных веществ в получаемых твердых и жидких органических удобрениях при расчете и корректировке доз их внесения под определенные культуры для получения заданного урожая и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Полученная методика расчета распределения азота и фосфора между фракциями свиного навоза может применяться при проектировании систем переработки и использования навоза в качестве органического удобрения при производстве растениеводческой продукции. Возможность прогнозирования содержания питательных элементов в твердой и жидкой фракциях навоза позволяет выбирать наиболее подходящие технологии переработки, обеспечивающие минимальную эмиссию биогенных элементов в окружающую среду, а также более точно рассчитывать дозы внесения полученных органических удобрений, тем самым качественно повышая характеристики почв.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трифанов А. В., Калюга В. В., Базыкин В. И. Состояние и тенденции развития производства свинины в Российской Федерации // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. Вып. 90. С. 5–14. URL: <https://clck.ru/bNGaV> (дата обращения: 21.01.2021).
2. Uvarov R., Briukhanov A., Shalavina E. Logistic Transport Model of Region-Scale Distribution of Organic Fertilizers // Proceedings of International Scientific Conference “Engineering for Rural Development” (23–25 May 2018). Jelgava, 2018. P. 270–277. doi: <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N301>
3. Velthof G. L., Rietra R. P. J. J. Nitrogen Use Efficiency and Gaseous Nitrogen Losses from the Concentrated Liquid Fraction of Pig Slurries [Электронный ресурс] // International Journal of Agronomy. 2019. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/9283106>

4. Трифанов А. В., Базыкин В. И. Обоснование оптимальной относительной влажности свиного навоза при применении самотечной системы удаления навоза периодического действия // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. Вып. 96. С. 250–257. doi: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10080>
5. Kariyama I. D., Zhai X., Wu B. Physical and Rheological Properties of Animal Manure: A Review // Transactions of the ASABE. 2018. Vol. 61, Issue 3. P. 1113–1120. doi: <https://doi.org/10.13031/trans.12768>
6. Effect of Acidification on Solid–Liquid Separation of Pig Slurry / G. Coccolo [et al.] // Biosystems Engineering. 2016. Vol. 143. P. 20–27. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.11.004>
7. Environmental Impacts of Combining Pig Slurry Acidification and Separation under Different Regulatory Regimes – A Life Cycle Assessment / M. ten Hoeve [et al.] // Journal of Environmental Management. 2016. Vol. 181. P. 710–720. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.028>
8. Уваров Р. А. Анализ технологий переработки твердого навоза и помета, адаптированных к условиям Северо-Западного Федерального округа // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2017. Вып. 93. С. 133–146. URL: <https://clck.ru/bNGqh> (дата обращения: 13.02.2021).
9. Zhang R. H., Westerman P. W. Solid-Liquid Separation of Annual Manure for Odor Control and Nutrient Management // Applied Engineering in Agriculture. 1997. Vol. 13. Issue 3. P. 385–393. doi: <https://doi.org/10.13031/2013.21614>
10. Effect of the Pig Slurry Separation Techniques on the Characteristics and Potential Availability of N to Plants in the Resulting Liquid and Solid Fractions / D. Fangueiro [et al.] // Biosystems Engineering. 2012. Vol. 113, Issue 2. P. 187–194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.07.006>
11. Bachmann S., Uptmoor R., Eichler-Löbermann B. Phosphorus Distribution and Availability in Untreated and Mechanically Separated Biogas Digestates // Scientia Agricola. 2016. Vol. 73, Issue 1. P. 9–17. doi: <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0069>
12. Gomez-Munoz B., Case S. D. C., Jensen L. S. Pig Slurry Acidification and Separation Techniques Affect Soil N and C Turnover and N₂O Emissions from Solid, Liquid and Biochar Fractions // Journal of Environmental Management. 2016. Vol. 168. P. 236–244. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.018>
13. Revision of the Simplified Balance Method to Evaluate Phosphorus Excretion by Growing-Finishing Pigs / M. P. L. Montminy [et al.] // Journal of Animal Science. 2017. Vol. 95, Issue 2. P. 130–131. doi: <https://doi.org/10.2527/asasmw.2017.271>
14. Nutrient Variations from Swine Manure to Agricultural Land / S. Won [et al.] // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2018. Vol. 31, Issue 5. P. 763–772. doi: <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0634>
15. Characterization of Compost Produced from Separated Pig Manure and a Variety of Bulking Agents at Low Initial C/N Ratios / T. Nolan [et al.] // Bioresource Technology. 2011. Vol. 102, Issue 14. P. 7131–7138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.066>
16. Effect of Sawdust Addition on Composting of Separated Raw and Anaerobically Digested Pig Manure / S. M. Troy [et al.] // Journal of Environmental Management. 2012. Vol. 111. P. 70–77. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.06.035>
17. Comparative Study of Different Organic Manures and NPK Fertilizer for Improvement of Soil Chemical Properties and Dry Matter Yield of Maize in Two Different Soils / O. N. Adeniyani [et al.] // Journal of Soil Science and Environmental Management. 2011. Vol. 2, Issue 1. P. 9–13. URL: <https://academicjournals.org/journal/JSEM/article-full-text-pdf/0573C6210248.pdf> (дата обращения: 10.03.2021).
18. Kowalski Z., Makara A., Fijorek K. Changes in the Properties of Pig Manure Slurry // Acta Biochimica Polonica. 2013. Vol. 60, Issue 4. P. 845–850. doi: https://doi.org/10.18388/abp.2013_2070
19. On-Farm Evaluation of Liquid Swine Manure as a Nitrogen Source for Corn Production / K. P. Woli [et al.] // Agronomy Journal. 2013. Vol. 105, Issue 1. P. 248–262. doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0292>
20. Pig Slurry and Mineral Fertilization Strategies' Effects on Soil Quality: Macroaggregate Stability and Organic Matter Fractions / M. R. Yagüe [et al.] // Science of the Total Environment. 2012. Vol. 438. P. 218–224. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.063>
21. Solid-Liquid Separation of Animal Slurry in Theory and Practice. A Review / M. Hjorth [et al.] // Agronomy for Sustainable Development. 2010. Vol. 30, Issue 1. P. 153–180. doi: <https://doi.org/10.1051/agro/2009010>
22. Makara A., Kowalski Z. Selection of Pig Manure Management Strategies: Case Study of Polish Farms // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 172. P. 187–195. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.095>

23. Environmental and Economic Impacts of Using Co-Products in the Diets of Finishing Pigs in Brazil / B. M. Ali [et al.] // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 162. P. 247–259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.041>
24. Stakeholder Perceptions of Manure Treatment Technologies in Denmark, Italy, the Netherlands and Spain / Y. Hou [et al.] // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 172. P. 1620–1630. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.162>
25. Evaluating Environmental Impacts of Pig Slurry Treatment Technologies with a Life-Cycle Perspective / Z. Yuan [et al.] // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 188. P. 840–850. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.021>
26. Comparative Analyses of Pig Farming Management Systems Using the Life Cycle Assessment Method [Электронный ресурс] / A. Makara [et al.] // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118305>
27. Михайлова О. А. Тенденции развития мирового свиноводства // Вестник аграрной науки. 2018. № 1. С. 36–45. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-mirovogo-svinovodstva> (дата обращения: 26.03.2021).
28. Чистяков Г. В., Жиликов Д. И. Анализ отрасли свиноводства в рамках реализации государственных программ развития // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 5. С. 73–77. URL: <https://clck.ru/bNHTM> (дата обращения: 27.03.2021).
29. Методы решения экологических проблем в животноводстве и птицеводстве / А. Ю. Брюханов [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. Т. 13, № 4. С. 32–37. doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-4-32-37>
30. Койнова А. Н. Инновационные решения для свиноккомплексов // Эффективное животноводство. 2019. № 8. С. 68–77. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-resheniya-dlya-svinokompleksov> (дата обращения: 28.03.2021).
31. Ковалев Н. Г., Гриднев П. И., Гриднева Т. Т. Научное обеспечение развития экологически безопасных систем утилизации навоза // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. № 1. С. 62–69. URL: <https://clck.ru/bNHUt> (дата обращения: 31.03.2021).
32. Базыкин В. И., Трифанов А. В. Алгоритм управления системой удаления навоза на свиноводческих предприятиях // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 4. С. 34–40. URL: <https://clck.ru/bNHVR> (дата обращения: 01.04.2021).
33. Forming of Environmentally Friendly Technologies of Pig Manure Utilization / E. Shalavina [et al.] // Proceedings of International Scientific Conference “Engineering for Rural Development” (24–26 May 2017). Jelgava, 2017. P. 333–341. doi: <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N065>
34. Гриднев П. И., Гриднева Т. Т. Потери азота при различных технологиях хранения и подготовки навоза к использованию // Вестник ВНИИМЖ. 2018. № 4. С. 111–120. URL: <https://clck.ru/bNHZ8> (дата обращения: 03.04.2021).
35. Показатели негативного воздействия на окружающую среду при производстве сельскохозяйственной продукции / А. Ю. Брюханов [и др.] // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 2. С. 250–260. URL: <https://clck.ru/bNHZm> (дата обращения: 05.04.2021).

Поступила 20.10.2021; одобрена после рецензирования 19.11.2021; принята к публикации 15.12.2021

Об авторах:

Шалавина Екатерина Викторовна, старший научный сотрудник отдела инженерной экологии сельскохозяйственного производства Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (196625, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Филътровское ш., д. 3), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7345-1510>, Researcher ID: C-1980-2018, shalavinaev@mail.ru

Уваров Роман Алексеевич, научный сотрудник отдела инженерной экологии сельскохозяйственного производства Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (196625, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Филътровское ш., д. 3), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2792-0136>, Researcher ID: L-3047-2016, rauvarov@yandex.ru

Васильев Эдуард Вадимович, ведущий научный сотрудник отдела инженерной экологии сельскохозяйственного производства Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (196625, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Филътровское ш., д. 3), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5910-5793>, Researcher ID: C-1304-2018, sznii6@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Е. В. Шалавина – разработка методики, проведение расчетов, отбор проб, сравнение результатов, проведение лабораторных анализов.

Р. А. Уваров – формирование структуры статьи, литературный обзор.

Э. В. Васильев – постановка задачи, разработка методики.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Trifanov A.V., Kalyuga V.V., Bazykin V.I. Current State and Trends of Pork Production in the Russian Federation. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva* = Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Products. 2016; 90:5-14. Available at: <https://clck.ru/bNGaV> (accessed 21.01.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
2. Uvarov R., Briukhanov A., Shalavina E. Logistic Transport Model of Region-Scale Distribution of Organic Fertilizers. In: Proceedings of International Scientific Conference “Engineering for Rural Development” (23-25 May 2018). Jelgava; 2018. p. 270-277. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N301>
3. Velthof G.L., Rietra R.P.J.J. Nitrogen Use Efficiency and Gaseous Nitrogen Losses from the Concentrated Liquid Fraction of Pig Slurries. *International Journal of Agronomy*. 2019. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1155/2019/9283106>
4. Trifanov A.V., Bazykin V.I. Substantiation of Optimum Relative Moisture Content of Slurry When Applying the Batch-Type Gravity Flow System for Its Removal. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva* = Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Products. 2018; 96:250-257. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10080>
5. Kariyama I.D., Zhai X., Wu B. Physical and Rheological Properties of Animal Manure: A Review. *Transactions of the ASABE*. 2018; 61(3):1113-1120. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.13031/trans.12768>
6. Cocolo G., Hjorth M., Zarebska A., Provolo G. Effect of Acidification on Solid-Liquid Separation of Pig Slurry. *Biosystems Engineering*. 2016; 143:20-27. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.11.004>
7. Ten Hoeve M., Gómez-Muñoz B., Jensen L.S., Bruun S. Environmental Impacts of Combining Pig Slurry Acidification and Separation under Different Regulatory Regimes – A Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*. 2016; 181:710-720. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.028>
8. Uvarov R.A. Survey of Solid Animal and Poultry Manure Processing Technologies Adapted to the North-West Federal District Conditions. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva* = Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Products. 2017; 93:133-146. Available at: <https://clck.ru/bNGqH> (accessed 13.02.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
9. Zhang R.H., Westerman P.W. Solid-Liquid Separation of Annual Manure for Odor Control and Nutrient Management. *Applied Engineering in Agriculture*. 1997; 13(3):385-393. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.13031/2013.21614>
10. Fangueiro D., Lopes C., Surgu S., Vasconcelos E. Effect of the Pig Slurry Separation Techniques on the Characteristics and Potential Availability of N to Plants in the Resulting Liquid and Solid Fractions. *Biosystems Engineering*. 2012; 113(2):187-194. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.07.006>
11. Bachmann S., Uptmoor R., Eichler-Löbermann B. Phosphorus Distribution and Availability in Untreated and Mechanically Separated Biogas Digestates. *Scientia Agricola*. 2016; 73(1):9-17. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0069>

12. Gomez-Munoz B., Case S.D.C., Jensen L.S. Pig Slurry Acidification and Separation Techniques Affect Soil N and C Turnover and N₂O Emissions from Solid, Liquid and Biochar Fractions. *Journal of Environmental Management*. 2016; 168:236-244. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.018>
13. Montminy M.P.L., Cloutier L., Couture C., et al. Revision of the Simplified Balance Method to Evaluate Phosphorus Excretion by Growing-Finishing Pigs. *Journal of Animal Science*. 2017; 95(2):130-131. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.2527/asasmw.2017.271>
14. Won S., You B.-G., Shim S., et al. Nutrient Variations from Swine Manure to Agricultural Land. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2018; 31(5):763-772. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0634>
15. Nolan T., Troy S.M., Healy M.G., et al. Characterization of Compost Produced from Separated Pig Manure and a Variety of Bulking Agents at Low Initial C/N Ratios. *Bioresource Technology*. 2011; 102(14):7131-7138. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.066>
16. Troy S.M., Nolan T., Kwapinski W., et al. Effect of Sawdust Addition on Composting of Separated Raw and Anaerobically Digested Pig Manure. *Journal of Environmental Management*. 2012; 111:70-77. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.06.035>
17. Adeniyani O.N., Ojo A.O., Akinbode O.A., Adediran J.A. Comparative Study of Different Organic Manures and NPK Fertilizer for Improvement of Soil Chemical Properties and Dry Matter Yield of Maize in Two Different Soils. *Journal of Soil Science and Environmental Management*. 2011; 2(1):9-13. Available at: <https://academicjournals.org/journal/JSSEM/article-full-text-pdf/0573C6210248.pdf> (accessed 10.03.2021). (In Eng.)
18. Kowalski Z., Makara A., Fijorek K. Changes in the Properties of Pig Manure Slurry. *Acta Biochimica Polonica*. 2013; 60(4):845-850. (In Eng.) doi: https://doi.org/10.18388/abp.2013_2070
19. Woli K.P., Rakshit S., Lundvall J.P., et al. On-Farm Evaluation of Liquid Swine Manure as a Nitrogen Source for Corn Production. *Agronomy Journal*. 2013; 105(1):248-262. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0292>
20. Yagüe M.R., Bosch-Serra A.D., Antúnez M., Boixadera J. Pig Slurry and Mineral Fertilization Strategies' Effects on Soil Quality: Macroaggregate Stability and Organic Matter Fractions. *Science of the Total Environment*. 2012; 438:218-224. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.063>
21. Hjørth M., Christensen K.V., Christensen M.L., Sommer S.G. Solid-Liquid Separation of Animal Slurry in Theory and Practice. A Review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2010; 30(1):153-180. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1051/agro/2009010>
22. Makara A., Kowalski Z. Selection of Pig Manure Management Strategies: Case Study of Polish Farms. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 172:187-195. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.095>
23. Ali B.M., van Zanten H.H.E., Berentsen P., et al. Environmental and Economic Impacts of Using Co-Products in the Diets of Finishing Pigs in Brazil. *Journal of Cleaner Production*. 2017; 162:247-259. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.041>
24. Hou Y., Velthof G.L., Case S.D.C., et al. Stakeholder Perceptions of Manure Treatment Technologies in Denmark, Italy, the Netherlands and Spain. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 172:1620-1630. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.162>
25. Yuan Z., Pan X., Chen T., et al. Evaluating Environmental Impacts of Pig Slurry Treatment Technologies with a Life-Cycle Perspective. *Journal of Cleaner Production*. 2018; 188:840-850. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.021>
26. Makara A., Kowalski Z., Lelek L., Kulczycka J. Comparative Analyses of Pig Farming Management Systems Using the Life Cycle Assessment Method. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 241. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.11.8305>
27. Mikhailova O.A. Tendencies of the World Swine Breeding Development. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of Agrarian Science. 2018; (1):36-45. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendent-sii-razvitiya-mirovogo-svinovodstva> (accessed 26.03.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
28. Chistyakov G.V., Zhilyakov D.I. Analysis of the Pig Industry in the Framework of the State Programs of Development. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2017; (5):73-77. Available at: <https://clck.ru/bNHTM> (accessed 27.03.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
29. Bryukhanov A.Yu., Vasilev E.V., Shalavina E.V., Uvarov R.A. Methods for Solving Environmental Problems in Livestock and Poultry Farming. *Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Processes and machines of agroengineering systems

Agricultural Machinery and Technologies. 2019; 13(4):32-37. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-4-32-37>

30. Koynova A.N. [Innovative Solutions for Pig Farms]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo* = Effective Livestock Production. 2019; (8):68-77. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-resheniya-dlya-svinokompleksov> (accessed 28.03.2021). (In Russ.)

31. Kovalev N.G., Gridnev P.I., Gridneva T.T. Scientific Support for the Development of Environmentally Safed Systems of Manure Utilization. *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2016; (1):62-69. Available at: <https://clck.ru/bNHUt> (accessed 31.03.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

32. Bazykin V.I., Trifanov A.V. [Manure Removal System Management Algorithm for Pig Farms]. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Proceedings of the Velikolukskaya State Agricultural Academy. 2017; (4):34-40. Available at: <https://clck.ru/bNHVR> (accessed 01.04.2021). (In Russ.)

33. Shalavina E., Briukhanov A., Uvarov R., Vasilev E. Forming of Environmentally Friendly Technologies of Pig Manure Utilization. In: Proceedings of International Scientific Conference "Engineering for Rural Development" (24-26 May 2017). Jelgava; 2017. p. 333-341. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.22616/ERDev2017.16.N065>

34. Gridnev P.I., Gridneva T.T. The Loss of Nitrogen at Various Technologies of Manure Storage and Preparation For Using. *Vestnik VNIIMZh* = Bulletin of the Russian Research Institute for Mechanization of Animal Husbandry. 2018; (4):111-120. Available at: <https://clck.ru/bNHZ8> (accessed 03.04.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

35. Briukhanov A.Yu., Vasilev E.V., Shalavina E.V., Oblomkova N.S. Indicators of Negative Environmental Impact in Agri-Food Production. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktii rastenievodstva i zhivotnovodstva* = Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Products. 2019; (2):250-260. Available at: <https://clck.ru/bNHZm> (accessed 05.04.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

Submitted 20.10.2021; approved after reviewing 19.11.2021; accepted for publication 15.12.2021

About the authors:

Ekaterina V. Shalavina, Leading Researcher at the Department of Engineering Ecology of Agricultural Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (3 Filtrovskoye Shosse, Saint Petersburg 196625, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7345-1510>, Researcher ID: C-1980-2018, shalavinaev@mail.ru

Roman A. Uvarov, Researcher at the Department of Engineering Ecology of Agricultural Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (3 Filtrovskoye Shosse, Saint Petersburg 196625, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2792-0136>, Researcher ID: L-3047-2016, rauvarov@yandex.ru

Eduard V. Vasilev, Senior Researcher at the Department of Engineering Ecology of Agricultural Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (3 Filtrovskoye Shosse, Saint Petersburg 196625, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5910-5793>, Researcher ID: C-1304-2018, sznii6@yandex.ru

Contribution of the authors:

E. V. Shalavina – development of methodology, calculations, sampling, comparison of results, laboratory analyses.

R. A. Uvarov – development of the structure of the article, literary review.

E. V. Vasilev – problem statement, development of methodology.

All authors have read and approved the final manuscript.

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА / TECHNOLOGIES AND MEANS OF AGRICULTURAL MECHANIZATION

УДК 621.45.2.018.2

doi: 10.15507/2658-4123.032.202201.071-089

Научная статья



Обоснование конструкции стенда для динамических испытаний ведущих колес транспортно-технологических машин АПК

А. С. Уланов^{1*}, В. Ф. Купряшкин¹, Н. И. Наумкин¹,
С. В. Тимохин², А. Ю. Гусев¹, В. В. Купряшкин¹

¹ Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет

(г. Саранск, Российская Федерация)

² Пензенский ГАУ (г. Пенза, Российская Федерация)

* ulanow.aleksandr2010@yandex.ru

Аннотация

Введение. Развитие технического обеспечения сельскохозяйственного производства подразумевает создание новых рабочих органов и машин для обработки почвы, их совершенствование и исследование. Этот процесс связан с применением почвенных каналов и экспериментальных установок, помогающих определить характер взаимодействия рабочих органов и колесных движителей сельскохозяйственных машин, в том числе средств малой механизации, с почвой. Целью данного исследования является обоснование конструкции стенда для испытаний рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов и колес транспортно-технологических машин в агропромышленном комплексе.

Материалы и методы. С целью получения достоверных экспериментальных данных взаимодействия колесных движителей средств малой механизации с почвой был дан анализ базовой конструкции экспериментального стенда для исследования рабочих органов сельскохозяйственных машин. Определены требования, предъявляемые к экспериментальному стенду. Разработан и изготовлен экспериментально-измерительного комплекс «Почвенный канал» на базе производственных площадей кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Института механики и энергетики МГУ им. Н. П. Огарёва.

Результаты исследования. Проанализирован подвижный модуль экспериментального стенда, обосновано техническое решение по обеспечению равномерности его движения и произведен выбор типоразмера электромагнитного порошкового

© Уланов А. С., Купряшкин В. Ф., Наумкин Н. И., Тимохин С. В., Гусев А. Ю., Купряшкин В. В., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

тормоза. Разработана кинематическая схема и опытный образец подвижного модуля экспериментального стенда для исследования ведущих колес мотоблоков.

Обсуждение и заключение. Усовершенствование конструкции почвенного канала путем внедрения в него съемного модуля обеспечит проведение испытаний не только активных, тяговых и тягово-приводных рабочих органов почвообрабатывающих машин, но и позволит исследовать характер взаимодействия их ведущих колес с почвой, осуществляя одновременный контроль силы тяги и буксования. Эти данные могут быть использованы для модернизации существующих машин и рабочих органов, а также для разработки новых агрегатов.

Ключевые слова: обработка почвы, рабочие органы, колесные движители, почвенный канал, экспериментальный стенд, подвижный модуль, тягово-цепные свойства, порошковый тормоз

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Обоснование конструкции стенда для динамических испытаний ведущих колес транспортно-технологических машин АПК / А. С. Уланов [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 71–89. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.071-089>

Original article

Rationale for the Design of the Stand for Dynamic Testing of Drive Wheels of Agricultural Transport and Technological Machines

A. S. Ulanov^{a*}, V. F. Kupryashkin^a, N. I. Naumkin^a,
S. V. Timokhin^b, A. Yu. Gusev^a, V. V. Kupryashkin^a

^a National Research Mordovia State University
(Saransk, Russian Federation)

^b Penza State Agricultural Academy (Penza, Russian Federation)

* ulanow.aleksandr2010@yandex.ru

Abstract

Introduction. The development of agricultural production technical support implies the creation of new working tools and machines for soil treatment, and their improvement and research. This process is continuously associated with the use of soil channels and experimental facilities that help to determine the nature of interaction of working elements and wheeled drivers of agricultural machinery, including means of small-scale mechanization, with the soil. The purpose of this study is to provide the rationale for the design of the stand for testing the working elements of tillage units and wheels of transport and technological machines in the agro-industrial complex.

Materials and Methods. In order to obtain reliable experimental data on the interaction of wheeled propellers of small-scale mechanization with the soil, the analysis of the basic design of the experimental stand to study the working elements of agricultural machinery was conducted. The requirements for the experimental stand were defined. The experimental-measuring complex "Soil Channel" was developed and manufactured on the basis of production facilities of the Prof. Leshchankin Chair of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery of the Institute of Mechanics and Power Engineering of National Research Mordovia State University.

Results. The analysis of ensuring the stability of translational motion of the experimental stand movable module is given, the technical solution to ensure the uniformity of its motion is substantiated and the choice of the electromagnetic powder brake type size is made. The kinematic diagram and a prototype of the movable module of the experimental stand for the investigation of the driving wheels of power tillers are developed.

Discussion and Conclusion. Improvement of the soil channel design by introducing a removable module into it, will provide tests not only of active, traction and traction-driven working tools of tillage machines, but will also allow studying the nature of interaction of their driving wheels with the soil, carrying out simultaneous control of traction force and slipping. These data can be used for modernization of existing machines and working tools, and for developing new units.

Keywords: tillage, working bodies, wheel movers, soil channel, experimental stand, movable module, traction properties, powder brake

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Ulanov A.S., Kupryashkin V.F., Naumkin N.I., et al. Rationale for the Design of the Stand for Dynamic Testing of Drive Wheels of Agricultural Transport and Technological Machines. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2022; 32(1):71-89. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.071-089>

Введение

Развитие технического обеспечения сельскохозяйственного производства должно быть направлено на внедрение энергосберегающих технологий. Среди них использование комбинированных почвообрабатывающих агрегатов, создание новой техники и замена устаревшей, модернизация машин и рабочих органов и др.

Создание, усовершенствование и исследование новых рабочих органов и машин для обработки почвы неразрывно связано с применением почвенных каналов и экспериментальных установок. Их конструкции в обязательном порядке должны учитывать все возможные факторы проведения исследований: влажность почвы, ее твердость и состав, глубина обработки, поступательная скорость агрегатов, буксование колесных движителей¹. Важно иметь возможность находить величины сил, которые действуют на рабочие поверхности почвообрабатывающих орудий и их элементы (например лемешно-отвальную поверхность плуга, режущую кромку ножа фрезерного барабана и др.), или определять тягово-сцепные характеристики колесных движителей транспортно-технологических машин [1–4].

В настоящее время различные конструкции почвенных каналов применяются для определения силовых характеристик, действующих на рабочие части и элементы существующих и модернизированных сельскохозяйственных машин и агрегатов, в том числе средств малой механизации. Эти конструкции могут быть оснащены разного рода экспериментальными установками, модулями и стендами.

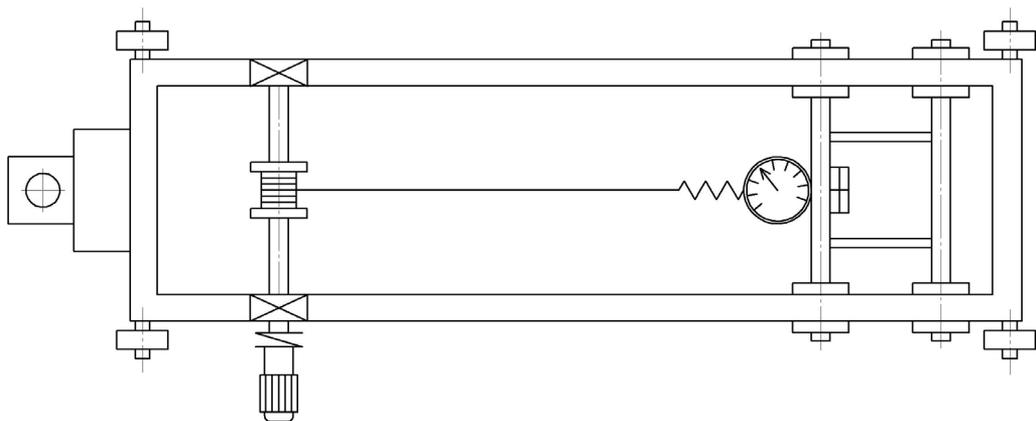
Целью данного исследования является обоснование конструкции экспериментального стенда для испытаний рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов и колес транспортно-технологических машин в агропромышленном комплексе.

Обзор литературы

Ученые Пензенского ГАУ и Всероссийского научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства (г. Москва) разработали и изготовили передвижной почвенный канал (рис. 1) [5].

Его конструкция позволяет проводить исследования рабочих органов сельскохозяйственных машин в полевых естественных условиях, что является положительным фактором. Среди недостатков – ограниченность

¹ Кожевников Г. Н. Разработка метода физического моделирования процессов почвообработки в условиях почвенных каналов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1975. 29 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006986060> (дата обращения: 11.11.2021).



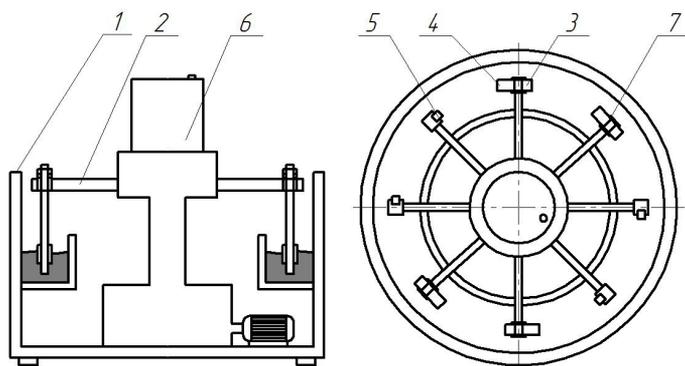
Р и с. 1. Схема передвижного почвенного канала
F i g. 1. Diagram of a mobile soil channel

в определении силовых показателей взаимодействия рабочих органов с почвой, только в продольно-горизонтальной плоскости (по ходу движения), и отсутствие возможности исследовать активные рабочие органы и колесные движители.

Круговой почвенный канал разработан в ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (рис. 2) [6]. Он состоит из каркаса 1, механизма привода 2, уплотнительных катков 3, грузов 4, рыхлителей почвы 5, емкости с водой 6 и приспособления для установки испытуемого образца 7.

Изобретение относится к стендам для испытаний почворезущих элементов сельскохозяйственных машин и позволяет повысить точность экспериментов на 10–15 % по отношению к другим испытательным установкам.

Однако такая схема конструкции почвенного канала не позволяет определить силы, действующие на рабочие органы сельскохозяйственных машин (корпус плуга, стойку культиватора и пр.), с ее помощью можно исследовать только изнашивание почворезущих лезвий (лемехов, стрелчатых лап и пр.).



Р и с. 2. Схема кругового почвенного канала для исследований по изнашиванию почворезущих лезвий
F i g. 2. Diagram of a circular soil channel for research on the wear of soil-cutting blades

Фирмы ООО НПП «Учтех-Профи» (г. Москва), ООО «Профкабинет» и ООО «Новый стиль» (г. Ярославль) предлагают конструкции почвенных каналов². С их помощью можно определить качественные показатели обработки почвы, изучить конструкции и принципы работы почвообрабатывающих машин, а также провести испытания. К положительным сторонам данных конструкций следует отнести их компактность и мобильность, возможность имитации различных условий состояния почвы с анализом их влияния на работу почвообрабатывающих машин, а также высокую оснащенность программного обеспечения.

Однако анализ технических характеристик представленных каналов показал, что мощность их силовых установок (не более 2,5 кВт), рабочий ход тележки (2,7 м) и ее скорость (от 0 до 2,45 км/ч) не удовлетворяют требованиям к испытаниям элементов большинства почвообрабатывающих машин и агрегатов, применяемых в сельском хозяйстве. Это является существенным недостатком и может приводить к искажению или некорректным показаниям, полученным в ходе испытаний.

Обзор литературы показал, что большинство почвенных каналов не подходят для вычисления сил, которые действуют на рабочие органы и составные элементы существующих почвообрабатывающих машин [7; 8]. Они

также не способны определить тягово-сцепные характеристики колесных движителей [9; 10].

Подводя итог анализа конструкций почвообрабатывающих агрегатов, их ведущих колес, условий функционирования и современных методик проведения исследований, можно сформулировать следующие требования к экспериментальному стенду для испытания ведущих колес почвообрабатывающих машин, в том числе и малогабаритных, к числу которых относятся и средства малой механизации, в частности мотоблоки:

- универсальность конструкции, то есть возможность проводить исследования ведущих пневматических колес и колес с металлическими грунтозацепами;

- обеспечение изменения сцепного веса на испытываемых колесах;

- обеспечение изменения угла наклона оси вращения испытываемого колеса;

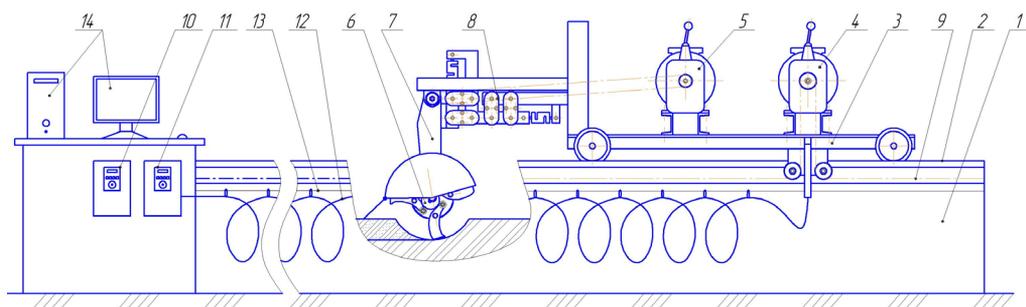
- обеспечение бесступенчатого регулирования поступательной скорости движения и частоты вращения приводного вала испытываемого колеса³ [11–14].

Материалы и методы

Для решения сформулированных выше задач на базе Института механики и энергетики МГУ им. Н. П. Огарёва разработан и изготовлен экспериментально-измерительный комплекс «Почвенный канал» (рис. 3), представляющий

² 01.02.00.01 Лабораторный стенд «Почвенный канал» [Электронный ресурс]. URL: https://labstand.ru/catalog/01_02_laboratornye_stendy_pochvoobrabatyvayushchie_mashiny/01_02_00_01_ls_pochvennyu_kanal_4489 (дата обращения: 10.11.2021); 01.02.00.01 ЛС «Почвенный канал» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.profkabinet.ru/products/2899> (дата обращения: 10.11.2021); Лабораторный стенд «Почвенный канал» [Электронный ресурс]. URL: https://newstyle-y.ru/high-school/sh/avtomatizaciya/upravlenie-oborudovaniem-obrabotki/item_9908 (дата обращения: 10.11.2021).

³ ГОСТ Р 28523–1990. Мобильные средства малой механизации сельскохозяйственных работ. Тракторы малогабаритные. Типы и основные параметры. М., 1990. 3 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023741> (дата обращения: 10.11.2021); Коптяев В. А. Повышение эффективности функционирования колесных энергосредств, работающих в составе машинно-тракторных агрегатов, за счет улучшения их тягово-сцепных свойств : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2002. 135 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003231092> (дата обращения: 10.11.2021); Горячкин В. П. Собрание сочинений. М. : Колос, 1965. Т. 1. 720 с.



Р и с. 3. Общее устройство экспериментального стенда

F i g. 3. The general structure of the experimental stand

собой почвенный канал 1, в верхней части которого закреплен рельсовый путь 2. По нему перемещается подвижный модуль 3 с установленными на нем электрическими приводом перемещения модуля 4 и приводом 5 испытуемых активных рабочих органов (АРО) 6 почвообрабатывающих машин, установленных на приводных валах цепного редуктора 7. Цепной редуктор 7 закреплен на динамометрическом модуле 8, зафиксированном на подвижном модуле 3. Перемещение подвижного модуля 3 осуществляется при помощи привода 4 и цепи 9, закрепленной на почвенном канале 1. Управление двигателями привода 4 подвижного модуля 3 и приводом 5 испытуемых АРО 6 обеспечивается от преобразователей частоты 10 и 11 через питающий электрический кабель 12, подвешенный на стальном тросе 13. Сигнал с датчиков модуля 8 поступает на автоматизированный измерительный комплекс 14 с последующей обработкой.

Из анализа конструкции экспериментального стенда следует, что при условии установки на приводных валах

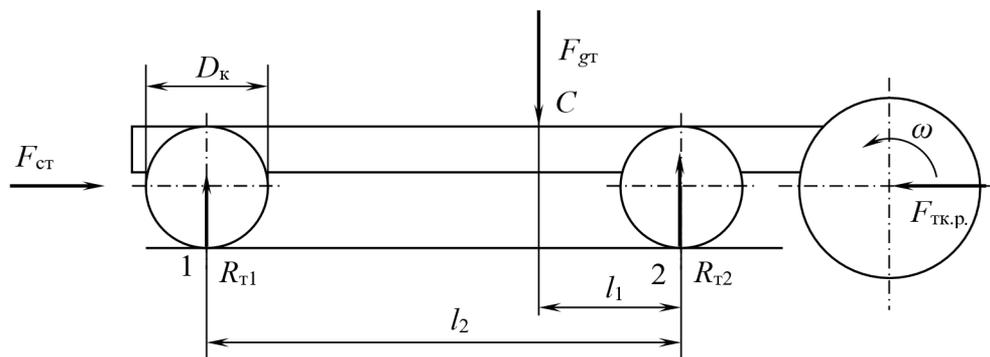
цепного редуктора испытуемых ведущих колес он будет соответствовать требованиям, предъявляемым к экспериментальному стенду и сформулированным выше.

Однако вопрос изменения угла наклона оси вращения испытуемого колеса требует решения [15]. Как показывают исследования, при испытаниях АРО почвообрабатывающих машин из-за подталкивающего эффекта возникает необходимость стабилизации – обеспечения равномерности движения подвижного модуля⁴.

Результаты исследования

В случае испытания ведущих колес мотоблока будет возникать сила тяги, которая, так же как и подталкивающие силы, возникающие на АРО при их взаимодействии с почвой, предположительно, будет вызывать нарушение устойчивости движения модуля. В связи с этим рассмотрим условие устойчивого движения подвижного модуля (рис. 4). Для этого используем методику, изложенную в одном из наших предыдущих исследований [14].

⁴ Купряшкин В. Ф., Наумкин Н. И., Чаткин М. Н. Анализ устойчивости хода экспериментальной тележки испытательного стенда для исследования почвообрабатывающих машин с фрезерными рабочими органами // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Серия : Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Саранск, 2010. С. 372–378. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29180691> (дата обращения: 10.11.2021).



Р и с. 4. Схема нагружения подвижного модуля

F i g. 4. Loading scheme of the mobile module

Из рисунка 4 следует, что для исключения отрицательного влияния подталкивающего усилия на устойчивое движение подвижного модуля необходимо выполнение условия

$$F_{ст} \geq F_{тк.п.}, \quad (1)$$

где $F_{ст}$ – суммарная сила сопротивления перекачиванию модуля, Н; $F_{тк.п.}$ – расчетная сила тяги на колесе мотоблока, Н; примем $F_{тк.п.} = F_{тк.макс} / 2 = 1\,200 / 2 = 600$ Н (здесь $F_{тк.макс}$ – максимальная сила тяги, развиваемая мотоблоком, Н; в предыдущих исследованиях было выяснено, что $F_{тк.макс} = 1\,200$ Н)⁵ [16].

Определим значение силы $F_{ст}$. Для рисунка 4 силу сопротивления $F_{ст}$ вычисляем по формуле

$$F_{ст} = F_{ст1} + F_{ст2}, \quad (2)$$

где $F_{ст1}$ и $F_{ст2}$ – силы сопротивления перекачиванию передних и задних колес модуля соответственно, Н.

Учитывая рекомендации М. П. Александра, а также результаты пре-

дыдущих исследований, для колес с ребрами сила сопротивления их перекачиванию будет определяться независимостью

$$F_{ст1(2)} = R_{т1(2)} \left(\frac{2\mu + fd}{D_k} \right) \beta, \quad (3)$$

где $R_{т1}$ и $R_{т2}$ – силы давления на передних и задних колеса модуля соответственно, Н; μ – коэффициент трения качения, мм; $\mu = 0,5$ мм для чугунного колеса и стального рельса; f – коэффициент трения; $f = 0,01$ для подшипников качения; d – диаметр оси колес под подшипник, мм; $d = 35$ мм; D_k – диаметр колес, мм; $D_k = 150$ мм; β – коэффициент, учитывающий сопротивление от трения реборд; $\beta = 0,5$ мм⁶ [14; 17].

Для определения сил $R_{т1}$ и $R_{т2}$ воспользуемся уравнением моментов, то есть, с учетом нагружения, получим (векторы сил $F_{ст}$ и R_x не учитываются)

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0, \\ R_{т1} \cdot l_2 - F_{гр} (l_2 - l_1) &= 0, \\ R_{т2} &= F_{гр} (l_2 - l_1) / l_2, \end{aligned}$$

⁵ Купряшкин В. Ф., Уланов А. С. Эффективное использование почвообрабатывающих агрегатов на базе мотоблоков : моногр. Саранск, 2021. 160 с.

⁶ Александров М. П. Грузоподъемные машины : учебник. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. 552 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01000698980> (дата обращения: 10.11.2021).

где $F_{гт}$ – сила тяжести тележки, Н; l_1 и l_2 – расстояние от центра масс до оси задних колес и колесной базы модуля соответственно, мм; $l_1 = 300$ мм и $l_2 = 1\ 100$ мм.

Силу тяжести, с учетом массы подвижного модуля $m_t = 380$ кг, определим как

$$F_{гт} = gm_t = 9,81 \cdot 650 = 6377 \text{ Н},$$

$$R_{т2} = 6377(1\ 100 - 300) / 1\ 100 = 4638 \text{ Н}.$$

Аналогично находим значение силы $R_{т1}$. Согласно рисунку 4 получаем

$$\sum M_B = 0,$$

$$-R_{т1} \cdot l_2 + F_{гт} \cdot l_1 = 0,$$

$$R_{т1} = F_{гт} \cdot l_1 / l_2 =$$

$$= 6377 \cdot 300 / 1\ 100 = 1739 \text{ Н}.$$

После последовательной подстановки в выражения (3) и (2) найденных значений получим

$$F_{ст1} = 1\ 739 \left(\frac{2 \cdot 0,5 + 0,01 \cdot 35}{150} \right) 0,5 = 8 \text{ Н},$$

$$F_{ст2} = 4638 \left(\frac{2 \cdot 0,5 + 0,01 \cdot 35}{150} \right) 0,5 = 21 \text{ Н},$$

$$F_{ст} = 8 + 21 = 29 \text{ Н}.$$

После последовательной подстановки известных и найденных значений в (1) получим

$$F_{ст} = 29 \text{ Н} < F_{тк.п.} = 600 \text{ Н}.$$

Условие устойчивого движения подвижного модуля вследствие действия создаваемого тягового усилия не

выполняется. Поэтому в дальнейшем при разработке экспериментального стенда для исследования ведущих колес мотоблока необходимо обеспечить устойчивость движения подвижного модуля.

Для решения задачи по обеспечению устойчивости движения подвижного модуля экспериментального стенда предлагается использовать динамический стабилизатор (рис. 5), представляющий собой электромагнитный порошковый тормоз, связанный цепной передачей с одним из валов подвижного модуля (рационализаторское предложение ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» от 22.01.2018 г. № 1172 «Подвижный модуль экспериментального стенда с динамическим стабилизатором устойчивости движения для исследования почвообрабатывающих активных рабочих органов»).

Использование в качестве стабилизатора движения подвижного модуля электромагнитного порошкового тормоза позволит обеспечить его дистанционное управление и регулирование тормозного момента⁷ [18; 19].

Для выбора типоразмера электромагнитного порошкового тормоза проведем кинематический расчет его привода. Для этого определим передаточное отношение $i_{цп}$ цепной передачи привода электромагнитного порошкового тормоза [20]:

$$i_{цп} = n_{ок} / n_t, \quad (4)$$

где $n_{ок}$ – частота вращения опорных колес подвижного модуля, мин⁻¹; n_t – рабочая частота вращения вала электромагнитного порошкового тормоза, мин⁻¹.

⁷ Баранов А. В., Лукашук О. А. Методика испытаний электромагнитных тормозов // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Инновационное развитие подъемно-транспортной техники». Брянск : Брянский государственный университет, 2019. С. 138–172. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41556318> (дата обращения: 10.11.2021).



Р и с. 5. Динамический стабилизатор устойчивости движения подвижного модуля экспериментального стенда

F i g. 5. Dynamic stabilizer of motion stability of the mobile module of the experimental stand

Частоту вращения опорных колес $n_{ок}$ подвижного модуля можно определить по формуле

$$n_{ок} = \frac{60\,000v_{п}}{\pi D_{к}}, \quad (5)$$

где $v_{п}$ – скорость движения подвижного модуля, м/с; примем, что скорость движения подвижного модуля будет изменяться в интервале от 0,57 до 3,3 м/с.

Учитывая, что $D_{к} = 150$ мм, то, согласно (5), получим

$$n_{ок} = \frac{60\,000(0,57...3,3)}{3,14 \cdot 150} = 72,6...420,4 \text{ мин}^{-1}.$$

Для определения $n_{т}$ воспользуемся характеристиками электромагнитных порошковых тормозов типа ПТ, для которых рабочий диапазон частот вращения равен $n_{т} = 25...4\,000 \text{ мин}^{-1}$.

Подставив $n_{ок} = 72,6...420,4 \text{ мин}^{-1}$ и $n_{т} = 25...4\,000 \text{ мин}^{-1}$ в (4), получим

$$i_{щп} = (72,6...420,4) / (25...4\,000) = 0,018 \dots 16,8.$$

Принимаем для дальнейших расчетов $i_{щп} = 0,37$.

Тогда при $n_{ок} = 72,6...420,4 \text{ мин}^{-1}$, согласно (4), значение $n_{т}$ будет равно

$$n_{т} = n_{ок} / i_{щп} = (72,6...420,4) / 0,37 = 196,2...1\,136,2 \text{ мин}^{-1}.$$

Условие выбора тормоза позаимствуем из материалов ранее проводимых исследований устойчивости движения подвижного модуля экспериментального стенда, изучающего функционирование активных ротационных рабочих органов почвообрабатывающих машин [14]:

$$T_{тр} \leq T_{т}, \quad (6)$$

где $T_{тр}$ и $T_{т}$ – расчетное и табличное значение тормозного момента, Н·м.

Значение момента $T_{тр}$ определим по формуле⁸:

$$T_{тр} = k_{т} T_{п\ min}, \quad (7)$$

где $k_{т}$ – коэффициент запаса тормозного момента; $k_{т} = 1,5$; $T_{п\ min}$ – расчетный минимальный тормозной момент, Н·м [14].

Момент $T_{п\ min}$ определяем с учетом особенностей конструкции привода электромагнитного порошкового тормоза и функционирования подвижного модуля по следующей формуле:

$$T_{п\ max} = F_{f2} \frac{D_{к\ шп}}{2} 10^{-3} = 928 \frac{150 \cdot 0,37}{2} 10^{-3} = 25,8 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (8)$$

После подстановки известных и рассчитываемых значений в формулу (7) получим

$$T_{тр} = 1,5 \cdot 25,8 = 38,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Далее по каталогу выбираем тормоз ПТ-6М1⁹. Его тормозной момент $T_{т} = 60 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Для реализации возможности изменения угла наклона оси вращения испытуемого колеса предлагается конструкция подвижного модуля экспериментального стенда (рис. 6) [11; 21].

Предлагаемое устройство позволяет исследовать колесные движители транспортно-технологических машин на различных режимах функционирования, определяемых его частотой

вращения и положением (углом наклона) относительно грунта.

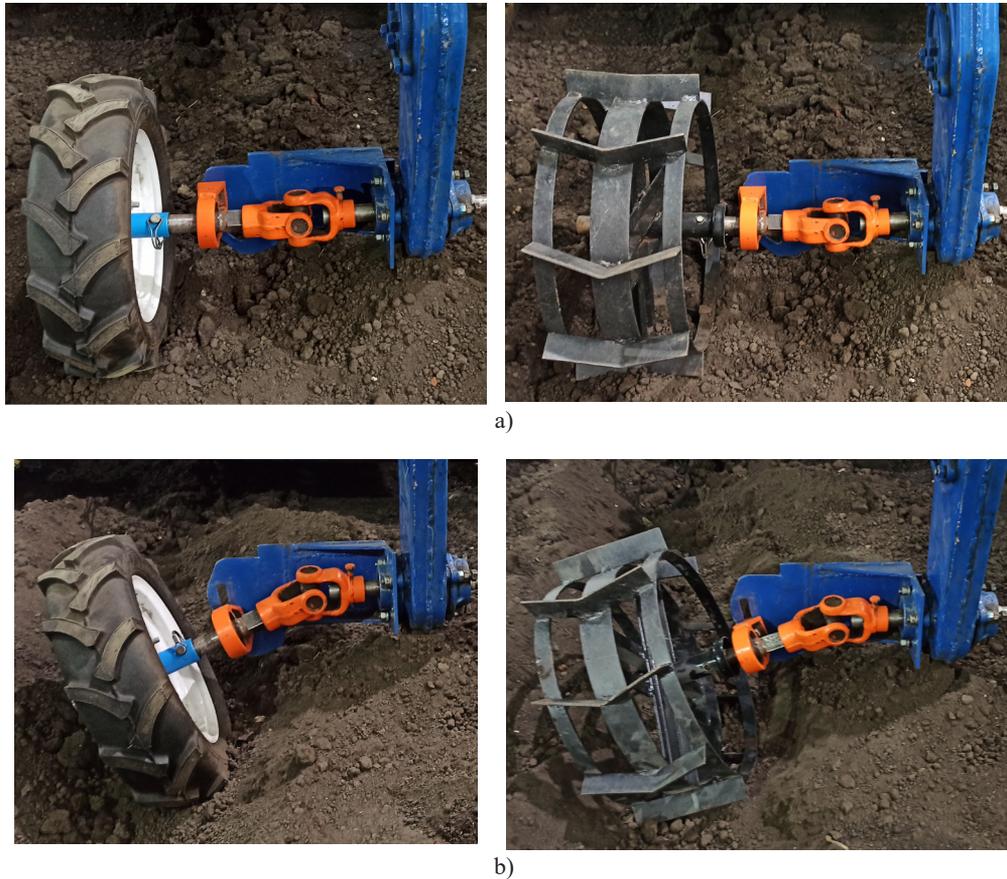
Для реализации требований обеспечения изменения угла наклона оси вращения испытуемого колеса и устойчивости движения подвижного модуля обобщим полученные результаты.

На основании объединения предложенных технических решений и базовой конструкции подвижного модуля экспериментального стенда предлагается обобщенная кинематическая схема подвижного модуля, предназначенного для исследования ведущих колес средств малой механизации (рис. 7).

Подвижный модуль экспериментального стенда представляет собой раму 1 с опорными передними 2 и задними 3 колесами. На раме смонтирован электрический привод 4 перемещения подвижного модуля и электрический привод 5, обеспечивающий вращательное движение ведущего колеса 6, закрепленного с помощью предлагаемого съемного модуля 7 на цепном редукторе 8. Съемный модуль 7 представляет собой закрепленный на цепном редукторе 8 кронштейн 9 с установленной в его направляющем отверстии 10 и зафиксированной гайкой 11 подшипниковой опорой 12. При этом в подшипниковую опору 12 вмонтирован приводной вал 13 с жестко установленным на одном его конце испытуемым колесом 6. Противоположный конец вала 13 через шарнирную угловую муфту 14 соединен с приводным валом 15 цепного редуктора 8. Цепной редуктор 8 установлен с возможностью свободного строго вертикального перемещения на динамометрическом модуле 16, обеспечивающем измерение тягового усилия, создаваемого на испытуемом ведущем колесе 6.

⁸ Наумкин Н. И., Кильмяшкин Е. А. Расчет механизма подъема кранов общего назначения : методические указания. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2006. 36 с.

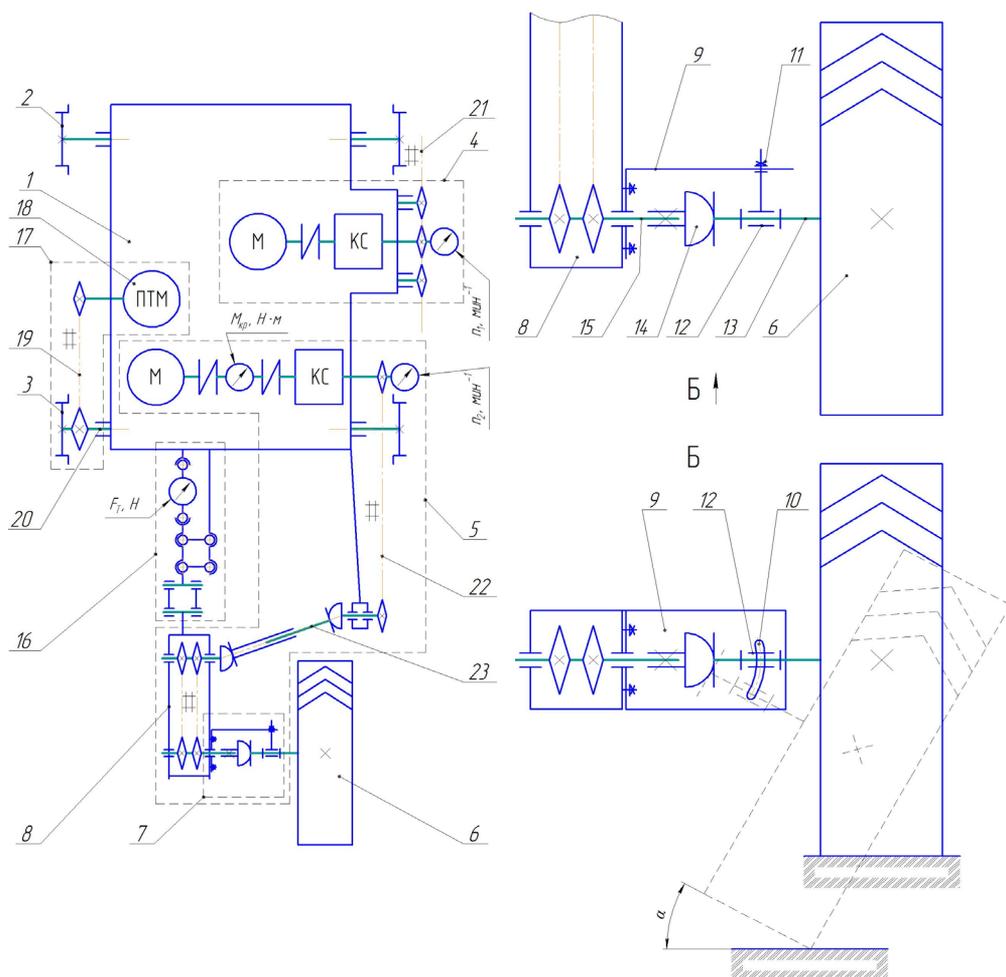
⁹ Завод Станкоконструкция : сайт [Электронный ресурс]. URL <https://www.stancons.ru/> (дата обращения: 21.05.2021).



Р и с. 6. Съемный модуль для исследования силы тяги на ведущих колесах средств малой механизации: а) положение испытуемых пневматического колеса и колеса с металлическими грунтозацепами при угле наклона осей их вращения $\alpha = 0^\circ$; б) положение испытуемых пневматического колеса и колеса с металлическими грунтозацепами при угле наклона осей их вращения $\alpha = 28^\circ$

Fig. 6. Removable module for the study of traction force on the driving wheels of small mechanization vehicles: a) the position of the subjects of the pneumatic wheel and the wheel with metal ground hooks at the angle of inclination of the axes of their rotation equal to $\alpha = 0^\circ$; b) the position of the subjects of the pneumatic wheel and the wheel with metal ground hooks at the angle of inclination of the axes of their rotation equal to $\alpha = 28^\circ$

Позиция 7 (увеличено)



Р и с. 7. Кинематическая схема подвижного модуля экспериментального стенда для исследования силы тяги на ведущих колесах средств малой механизации

Fig. 7. Kinematic diagram of the mobile module of the experimental stand for the study of the traction force on the driving wheels of small mechanization vehicles

Такой способ установки редуктора 8 позволяет обеспечить регулировку сцепного веса на испытуемом колесе 6 за счет установки балластных грузов. При этом сам динамометрический модуль 16 жестко закреплен на раме 1 подвижного модуля [22–24]. Также на раме 1 смонтирован предлагаемый динамический

стабилизатор 17, обеспечивающий стабилизацию движения подвижного модуля. Он представляет собой электромагнитный порошковый тормоз (ПТ-6М1) 18, вал которого соединен цепной передачей 19 с валом 20 задних опорных колес 3.

Разработаем опытный образец на основании базовой конструкции

существующего подвижного модуля экспериментального стенда, предназначенного для исследования рабочих органов почвообрабатывающих машин (рис. 1). Следуют учесть предложенную кинематическую схему подвижного модуля экспериментального

стенда для исследования силы тяги на ведущих колесах средств малой механизации (рис. 7) и рекомендуемые технические решения. Разработанный опытный образец, а также фрагменты его рабочих элементов представлены на рисунках 8–10.



Р и с. 8. Общий вид экспериментального стенда для исследования силы тяги на ведущих колесах средств малой механизации

Fig. 8. General view of the experimental stand for the study of the traction force on the driving wheels of small mechanization vehicles



Р и с. 9. Общий вид пульта управления электрическими двигателями приводов перемещения подвижного модуля и вращения испытываемых ведущих колес

F i g. 9. General view of the control panel for electric motors of the drives for moving the movable module and rotating the test driving wheels



Р и с. 10. Общий вид автоматизированного измерительного комплекса экспериментального стенда для сбора и обработки данных

F i g. 10. General view of the automated measuring complex of the experimental stand for data collection and processing

Обсуждение и заключение

Разработанная конструкция съемного модуля позволяет обеспечить испытание ведущих колес средств малой механизации с учетом особенностей их функционирования и контроля силы тяги. В частности, съемный модуль стенда позволяет обеспечить изменение угла наклона α оси вращения

испытываемых пневматических колес или колес с металлическими грунтозацепами относительно горизонта почвы в пределах от 0 до 28°, что позволяет охватить возможные положения испытываемых колес при выполнении основных технологических операций, в том числе и вспашки почвы на глубину до 30 см.

Кроме этого, стенд за счет свободной установки цепного редуктора позволяет обеспечить регулировку сцепного веса на испытуемом колесе путем установки балластных грузов весом 20, 40 и 60 кг.

Независимые друг от друга электрические приводы перемещения подвижного модуля и вращения испытуемого ведущего колеса позволяют бесступенчатым способом обеспечить требуемые значения поступательной скорости и частоты вращения, а также вариацию коэффициента буксования. Это происходит за счет использования для управления двигателями преобразователей частоты.

Применение в качестве стабилизатора движения подвижного модуля электромагнитного порошкового тормоза компенсирует тяговое усилие,

создаваемое работой испытуемого ведущего колеса, и стабилизирует его скорость движения. При этом использование электромагнитного порошкового тормоза позволяет обеспечить дистанционное управление и регулирование тормозного момента.

Таким образом, усовершенствование конструкции почвенного канала путем внедрения в него съемного модуля обеспечит проведение испытаний не только активных, тяговых и тягово-приводных рабочих органов почвообрабатывающих машин, но и позволит исследовать характер взаимодействия ведущих колес с почвой. Можно одновременно контролировать силу тяги и буксования. Эти данные могут быть использованы для усовершенствования существующих машин и рабочих органов к ним, а также для разработки новых агрегатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование процесса взаимодействия ведущих колес трактора с грунтовой поверхностью / В. В. Гуськов [и др.] // Наука и техника. 2017. Т. 16, № 1. С. 83–88. doi: <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2017-16-1-83-88>
2. Osinenko P. V., Geissler M., Herlitzius T. A Method of Optimal Traction Control for Farm Tractors with Feedback of Drive Torque // Biosystems Engineering. 2015. Vol. 129. P. 20–33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.09.009>
3. Rasool S., Rahman H. Improving the Tractive Performance of Walking Tractors Using Rubber Tracks // Biosystems Engineering. 2018. Vol. 167. P. 51–62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.12.013>
4. Importance of Short-Term Temporal Variability in Soil Physical Properties for Soil Water Modeling under Different Tillage Practices [Электронный ресурс] / J. Geris [et al.] // Soil and Tillage Research. 2021. Vol. 213. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105132>
5. Емельянов П. А., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г. Эффективность применения передвижного почвенного канала при проведении лабораторных исследований // Вестник Красноярского ГАУ. 2013. № 10. С. 216–219. URL: <https://clck.ru/arrdY> (дата обращения: 11.11.2021).
6. Круговой почвенный стенд : патент 2613292 Российская Федерация / Сидоров С. А., Мионов Д. А., Лискин И. В. № 2015154117 ; заявл. 17.12.2015 ; опубл. 15.03.2017. URL: <https://patenton.ru/patent/RU2613292C1> (дата обращения: 10.02.2021).
7. Устройство для испытания рабочих органов в почвенном канале : патент 960569 СССР / Мясников Ю. А. [и др.]. № 2015154117 ; заявл. 29.04.1981 ; опубл. 23.09.1982. URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU960569A1_19820923 (дата обращения: 10.11.2021).
8. Почвенный канал : патент 244670 СССР / Бацуев Г. А. [и др.]. № 1220415/30-15 ; заявл. 12.11.1968 ; опубл. 28.05.1969. URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU244670A1_19690528 (дата обращения: 10.11.2021).
9. Обоснование режимов работы пахотного агрегата на базе мотоблока «Нева» МБ-23-МУЛЬТИАГРО Pro с плугом П1-20/3 по критерию отсутствия буксования ведущих колес с почвой /

В. Ф. Купряшкин [и др.] // Вестник НГИЭИ. 2019. № 7. С. 5–15. URL: https://yadi.sk/i/BJtkW-_KB31-5HQ (дата обращения: 05.12.2021).

10. Ucgul M., Saunders C. Simulation of Tillage Forces and Furrow Profile during Soil-Mouldboard Plough Interaction Using Discrete Element Modelling // Biosystems Engineering. 2020. Vol. 190. P. 58–70. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.11.022>

11. Стенд для определения силы тяги на ходовых колесах малогабаритной техники / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Сельский механизатор. 2019. № 2. С. 38–39. URL: <http://www.selmech.msk.ru/219.html> (дата обращения: 11.11.2021).

12. Narang S., Varshney A. C. Draftability of a 8.95 kW Walking Tractor on Tilled Land // Journal of Terramechanics. 2006. Vol. 43, Issue 4. P. 395–409. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2005.04.006>

13. Balappa B. U., Lokesh A. C., Babu N. C. M. Development of Semi-Automated Sowing Machine for Multiple Crops // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 42. P. 1317–1320. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1147>

14. Купряшкин В. Ф., Наумкин Н. И., Купряшкин В. В. Исследование устойчивости движения подвижного модуля экспериментальной установки при испытании активных ротационных рабочих органов почвообрабатывающих машин // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 2. С. 246–258. doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.026.201602.246-258>

15. Основы статической устойчивости мотоблока с лемешно-отвальным плугом [Электронный ресурс] / А. С. Уланов и [др.] // Журнал E-SCIO. 2019. № 12. URL: <https://clck.ru/as9uX> (дата обращения: 11.09.2021).

16. Разработка подвижного модуля экспериментального стенда для определения тягово-сцепных свойств колесных движителей и результаты лабораторных исследований силы тяги на ведущих колесах мотоблока / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31, № 1. С. 143–160. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202101.143-160>

17. Черноус Д. А. Уточнение расчетной оценки коэффициента трения качения // Механика. Исследования и инновации. 2019. № 12. С. 198–205. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42417376> (дата обращения: 11.11.2021).

18. Чиннов А. А., Курдов А. В. Коэффициент трения при качении со скольжением // Аллея науки. 2020. Т. 1, № 1. С. 226–230. URL: <https://clck.ru/dXnP7> (дата обращения: 13.11.2021).

19. Баханович А. Г., Кусяк В. А., Ле Ван Нгиа. Исследование работоспособности электронной системы управления порошковым электромагнитным тормозом // Механика машин, механизмов и материалов. 2018. № 1. С. 21–28. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32651655> (дата обращения: 11.11.2021).

20. Белоусов Ю. В. Методика определения оптимальных параметров цепной передачи конструкции приводной цепи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2021. Т. 22, № 1. С. 72–83. doi: <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-1-72-83>

21. Подвижный модуль испытательного стенда : патент 188610 Российская Федерация / Купряшкин В. Ф., Уланов А. С., Купряшкин В. В. № 2019102333 ; заявл. 29.01.2019 ; опубл. 17.04.2019. 5 с. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU188610U1_20190417 (дата обращения: 10.11.2021).

22. Обоснование конструкции динамометрического модуля для исследования лемешно-отвального плуга мотоблока и его практическая апробация с использованием технологий реверс-инжиниринга / В. Ф. Купряшкин [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 3. С. 400–415. doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.400-415>

23. Method and System of Plowing Depth Online Sensing for Reversible Plough / Y. Yin [et al.] // IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51, Issue 17. P. 326–331. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.199>

24. Influence of the Speed on Soil-Pressure over a Plough / M. Mattetti [et al.] // Biosystems Engineering. 2017. Vol. 156. P. 136–147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.01.009>

Поступила 27.12.2021; одобрена после рецензирования 26.01.2022; принята к публикации 10.02.2022

Об авторах:

Уланов Александр Сергеевич, преподаватель кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6041-6911>, Researcher ID: L-4662-2018, ulanow.aleksandr2010@yandex.ru

Купряшкин Владимир Федорович, заведующий кафедрой мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7512-509X>, Researcher ID: L-5153-2018, kupwvf@mail.ru

Наумкин Николай Иванович, заведующий кафедрой основ конструирования механизмов и машин Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор педагогических наук, кандидат технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1109-5370>, Researcher ID: L-4643-2018, naumn@yandex.ru

Тимохин Сергей Викторович, профессор кафедры технического сервиса машин Пензенского ГАУ (440014, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Ботаническая, д. 30), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7521-4482>, Researcher ID: AAD-8339-2022, eltech@pnzgu.ru

Гусев Александр Юрьевич, аспирант кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5808-4169>, a.gusev57@yandex.ru

Купряшкин Владимир Владимирович, аспирант кафедры мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А. И. Лещанкина Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5327-4089>, kupvovan@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

А. С. Уланов – литературный и патентный анализ, проведение лабораторных исследований, обработка результатов эксперимента, подготовка начального варианта текста и редактирование текста.

В. Ф. Купряшкин – научное руководство, формулирование основной концепции исследования, формирование выводов, доработка текста.

Н. И. Наумкин – формулирование основной концепции исследования, формирование выводов.

С. В. Тимохин – критический анализ.

А. Ю. Гусев – проведение лабораторных исследований, визуализация текста.

В. В. Купряшкин – литературный и патентный анализ, обработка результатов теоретических исследований.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Guskov V.V., Dzioma A.A., Kolola A.S., et al. Investigation of Process Pertaining to Interaction of Tractor Driving Wheels with Ground Surface. *Nauka i tekhnika* = Science & Technique. 2017; 16(1):83-88. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2017-16-1-83-88>
2. Osinenko P.V., Geissler M., Herlitzius T. A Method of Optimal Traction Control for Farm Tractors with Feedback of Drive Torque. *Biosystems Engineering*. 2015; 129:20-33. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.09.009>
3. Rasool S., Raheman H. Improving the Tractive Performance of Walking Tractors Using Rubber Tracks. *Biosystems Engineering*. 2018; 167:51-62. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.12.013>

4. Geris J., Verrot L., Gao L., et al. Importance of Short-Term Temporal Variability in Soil Physical Properties for Soil Water Modelling under Different Tillage Practices. *Soil and Tillage Research*. 2021; 213. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105132>
5. Yemelyanov P.A., Sibiryov A.V., Aksenov A.G. The Mobile Soil Channel Use Efficiency When Conducting the Laboratory Research. *Vestnik Krasnoyarskogo GAU = Bulletin of KrasSAU*. 2013; (10):216-219. Available at: <https://clck.ru/arrdY> (accessed 11.11.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
6. Sidorov S.A., Mironov D.A., Liskin I.V. Circular Soil Stand. Patent 2,613,292 Russian Federation. 2017 March 15. Available at: <https://patenton.ru/patent/RU2613292C1> (accessed 10.02.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
7. Myasnikov Yu.A., Grishchenko N.V., Krivyyenko A.N., Talanov S.P. Device for Testing Tools in Soil Channel. Patent 960,569 USSR. 1982 September 23. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/SU960569A1_19820923 (accessed 10.11.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
8. Batsuev G.A., Krasnoshchekov N.V., Pozhidaev P.N., Chupiko A.D. [Soil Channel]. Patent 244,670 USSR. 1969 May 28. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/SU244670A1_19690528 (accessed 10.11.2021). (In Russ.)
9. Kupryashkin V.F., Ulanov A.S., Shlyapnikov M.G., Knyazkov A.S. Substantiation of Modes of Arable Unit on the Basis of Motoblock Neva MB-23C-MULTIAGRO Pro Plow P1-20/3 by the Criterion of Absence of Slipping of Wheels with the Soil. *Vestnik NGIEI = Bulletin of NGIEI*. 2019; (7):5-15. Available at: https://yadi.sk/i/BJtkW_KB3I5HQ (accessed 05.12.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
10. Ucgul M., Saunders C. Simulation of Tillage Forces and Furrow Profile during Soil-Mouldboard Plough Interaction Using Discrete Element Modelling. *Biosystems Engineering*. 2020; 190:58-70. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.11.022>
11. Kupryashkin V.F., Ulanov A.S., Kupryashkina V.N., et al. Stand for Determining the Force of Traction on the Driving Wheels Compact Machinery. *Selskiy Mekhanizator = Rural Mechanic*. 2019; (2):38-39. Available at: <http://www.selmech.msk.ru/219.html> (accessed 11.11.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
12. Narang S., Varshney A.C. Draftability of a 8.95 kW Walking Tractor on Tilled Land. *Journal of Terramechanics*. 2006; 43(4):395-409. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2005.04.006>
13. Balappa B.U., Lokesh A.C., Babu N.C.M. Development of Semi-Automated Sowing Machine for Multiple Crops. *Materials Today: Proceedings*. 2021; 42:1317-1320. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1147>
14. Kupryashkin V.F., Naumkin N.I., Kupryashkin V.V. Stability of Motion of Mobile Module of Experimental Setup in the Study of Active Rotary Working of Machines for Soil Treatment. *Vestnik Mordovskogo universiteta = Mordovia University Bulletin*. 2016; 26(2):246-258. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.026.201602.246-258>
15. Ulanov A.S., Kupryashkin V.F., Shlyapnikov M.G., et al. [Fundamentals of Static Stability of a Power Tiller With a Plow]. *Zhurnal E-SCIO = E-SCIO Journal*. 2019; (12). Available at: <https://clck.ru/as9uX> (accessed 11.09.2021). (In Russ.)
16. Kupryashkin V.F., Ulanov A.S., Shlyapnikov M.G., et al. Experimental Stand Movable Module for Determining the Traction-Linked Properties of Wheel Engines and the Results of Laboratory Researches for Determining the Traction Force of Two-Wheel Tractors. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems*. 2021; 31(1):143-160. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202101.143-160>
17. Chernov D.A. Refining the Calculated Evaluation of the Rolling Friction Coefficient. *Mekhanika. Issledovaniya i innovatsii = Mechanics. Researches and Innovations*. 2019; (12):198-205. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42417376> (accessed 11.11.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
18. Chinnov A.A., Kurdov A.V. [Coefficient of Sliding Friction]. *Alleya nauki = Science Alley*. 2020; 1(1):226-230. Available at: <https://clck.ru/dXnP7> (accessed 13.11.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
19. Bakhanovich A.G., Kussyak V.A., Le Van Nghia. Operability Investigation of Electronic Control System of Powder Electromagnetic Brake. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov = Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*. 2018; (1):21-28. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32651655> (accessed 11.11.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
20. Belousov Y.V. Method for Determining the Optimal Parameters of the Chain Transmission, Taking into Account the Design of the Drive Chain. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii selskogo khozyaystva*

inzhenernye issledovaniya = RUDN Journal of Engineering Researches. 2021; 22(1):72-83. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2021-22-1-72-83>

21. Kupryashkin V.F., Ulanov A.S., Kupryashkin V.V. [Movable Module of a Test Bench]. Patent 188,610 Russian Federation. 2019 April 17. 5 p. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU188610U1_20190417 (accessed 10.11.2021). (In Russ.)

22. Kupryashkin V.F., Ulanov A.S., Naumkin N.I. Design of a Dynamometric Module for Studying a Motoblock Share-Moldboard Plow and Its Practical Testing by Using Reverse Engineering. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2018; 28(3):400-415. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.400-415>

23. Yin Y., Guo Sh., Meng Zh., et al. Method and System of Plowing Depth Online Sensing for Reversible Plough. *IFAC-PapersOnLine*. 2018; 51(17):326-331. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.199>

24. Mattetti M., Varani M., Molari G., Morelli F. Influence of the Speed on Soil-Pressure over a Plough. *Bio-systems Engineering*. 2017; 156:136-147. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.01.009>

Submitted 27.12.2021; approved after reviewing 26.01.2022; accepted for publication 10.02.2022

About the authors:

Aleksandr S. Ulanov, Lecturer of the Prof. Leshchankin Chair of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6041-6911>, Researcher ID: L-4662-2018, ulanow.aleksandr2010@yandex.ru

Vladimir F. Kupryashkin, Head of the Prof. Leshchankin Chair of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7512-509X>, Researcher ID: L-5153-2018, kupwvf@mail.ru

Nikolay I. Naumkin, Head of the Chair of Basic Design of Mechanisms and Machines, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), Dr.Sci. (Ped.), Cand.Sci. (Engr.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1109-5370>, Researcher ID: L-4643-2018, naumn@yandex.ru

Sergey V. Timokhin, Professor of the Technical Service Machines Chair, Penza State Agricultural Academy (30 Botanicheskaya St., 440014 Penza, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7521-4482>, Researcher ID: AAD-8339-2022, eltech@pnzgu.ru

Aleksandr Yu. Gusev, Postgraduate Student of the Prof. Leshchankin Chair of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5808-4169>, a.gusev57@yandex.ru

Vladimir V. Kupryashkin, Postgraduate Student of the Prof. Leshchankin Chair of Mobile Power Tools and Agricultural Machinery, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5327-4089>, kupvovan@mail.ru

Contribution of the authors:

A. S. Ulanov – literary and patent analysis, conducting laboratory research, processing of experimental results, preparation of the initial version of the text and text editing.

V. F. Kupryashkin – scientific guidance, formulation of the main research concept, formation of conclusions, finalization of the text.

N. I. Naumkin – formulating the basic concept of research, forming conclusions.

S. V. Timokhin – critical analysis.

A. Yu. Gusev – conducting laboratory research, text visualization.

V. V. Kupryashkin – literary and patent analysis, processing the results of theoretical research.

All authors have read and approved the final manuscript.



Результаты исследований агротехнических показателей селекционной сеялки «Деметра»

В. И. Пахомов^{1, 2}, С. И. Камбулов^{1, 2}, И. В. Божко^{1*},
Г. Г. Пархоменко¹

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

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

* i.v.bozhko@mail.ru

Аннотация

Введение. Технологическая операция высева семян в селекционно-семеноводческом процессе играет одну из ведущих ролей. Ее точное выполнение является важнейшим агротехническим требованием, предъявляемым к посевным машинам для селекции и первичного семеноводства. Цель исследования – определение основных агротехнических показателей селекционной сеялки «Деметра».

Материалы и методы. В ходе исследований применялись методы натурального эксперимента в лабораторных и полевых условиях. Определялись основные агротехнические показатели технологического процесса высева семян сеялкой.

Результаты исследования. В результате исследований были определены основные агротехнические показатели сеялки: минимальная и максимальная высевая способность сеялки и фактическая норма высева семян, отклонение высева от заданной нормы, неравномерность высева семян по семяпроводам, неустойчивость общего высева семян, а также дробление семян, глубина заделки семян при оптимальном заглублении сошников, количественная доля семян, заделанных на заданную глубину, высота гребней после прохода агрегата, число всходов и относительная полевая всхожесть.

Обсуждение и заключение. Установлено, что сеялка селекционная «Деметра» с высокой точностью обеспечивает качественное выполнение технологического процесса высева семян установленной нормы как для минимальной (1,95 м), так и для максимальной (32,92 м) длины деланки. Отклонение фактического высева от заданного на культурах составляет 0,02–0,54 %. Неравномерность высева по культурам составляет 0,22–1,53 %. При этом неустойчивость общего высева по культурам варьировалась в пределах 0,1–1,1 %. Высота гребней после прохода сеялки составляет 2,6–3,0 см. Семена, не заделанные в почву рабочими органами сеялки, отсутствуют. Относительная полевая всхожесть по возделываемым культурам составляет 82,3–96,9 %.

Ключевые слова: селекционная сеялка «Деметра», технологический процесс высева семян, агротехнические показатели, агротребования, экспериментальные исследования

Финансирование: исследование выполнено в рамках госбюджетной НИР.

© Пахомов В. И., Камбулов С. И., Божко И. В., Пархоменко Г. Г., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Благодарности: авторы выражают признательность анонимным рецензентам.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Результаты исследований агротехнических показателей селекционной сеялки «Деметра» / В. И. Пахомов [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 90–109. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.090-109>

Original article

The Results of Studying Agronomic Indicators of the Demetra Selection Seeder

V. I. Pakhomov^{a, b}, S. I. Kambulov^{a, b}, I. V. Bozhko^{a*},
G. G. Parkhomenko^a

^a Agricultural Research Center “Donskoy” (Zernograd,
Russian Federation)

^b Don State Technical University (Rostov-on-Don,
Russian Federation)

* i.v.bozhko@mail.ru

Abstract

Introduction. The technological operation of seed sowing is a main in the seed selecting and growing process. The correct execution is the most important agrotechnical requirement for seeding machinery for selecting and primary seed breeding. The purpose of the study is to determine the main agronomic indicators of the Demetra selection seeder.

Materials and Methods. In the study, the methods of a full-scale experiment in laboratory and field conditions were used. The main agro technical indicators of the technological process of sowing seeds by a seeder were determined.

Results. As a result of the study, there were determined the main agronomic indicators of the seeder such as its minimum and maximum productivity and the effective seeding rate, departure from the specified seeding rate, irregularity of seed sowing through the seed tubes, instability of total seed sowing, seed crushing, seed sowing depth at optimum coulter penetration depth, quantity of seeds embedded at the specified depth, ridge height after the aggregate passed, and number of sprouts and relative field germination rate.

Discussion and Conclusion. It has been found that the Demetra seeder with high accuracy provides qualitative performance of sowing specified number of seeds with both the minimum (1.95 m) and maximum (32.92 m) length of the plot. The departure of the actual seeding from the specified seeding is 0.02–0.54% for different crops. Unevenness of seeding is 0.22–1.53% for different crops. At the same time, the instability of total seeding varied in the range of 0.1–1.1% for different crops. The height of ridges after the seeder passed is 2.6–3.0 cm. There were no seeds not embedded in the soil by the working bodies of the seeder. Relative field germination of cultivated crops is 82.3–96.9%.

Keywords: Demetra selection seeder, technological process of sowing seeds, agronomic indicators, agricultural requirements, experimental research

Funding: The research was performed within the framework of the state budget research work.

Acknowledgments: The authors express their gratitude to the anonymous reviewers.

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Pakhomov V.I., Kambulov S.I., Bozhko I.V., Parkhomenko G.G. The Results of Studying Agronomic Indicators of the Demetra Selection Seeder. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2022; 32(1):90-109. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.090-109>

Введение

В настоящее время механизация работ в селекции и первичном семеноводстве является приоритетным направлением исследований. Это подтверждают стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, а также Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2025 гг., целью которой является обеспечение стабильного роста производства сельскохозяйственной продукции, полученной за счет применения семян новых отечественных сортов. Селекционно-семеноводческий процесс состоит из нескольких этапов. Работы выполняются на опытных делянках. В связи с этим машины группируются, а оборудование применяется на конкретных этапах проведения работ. Посевные машины при этом играют ведущую роль, так как точное выполнение технологической операции размещения семян в рядке с заданной нормой высева, а также возможность быстрой очистки рабочих органов при переходе от одного сорта к другому являются важнейшими агротехническими требованиями, предъявляемыми к машинам для селекции и первичного семеноводства.

Одним из основных требований к посевной технике в селекционных процессах является сведение к минимуму травмируемости посевного материала. Сеялки, используемые в селекционной работе, должны быть удобны в эксплуатации, а также обеспечивать высокую

производительность при большом количестве опытных делянок и партий семян. Цель исследования – определение основных агротехнических показателей селекционной сеялки «Деметра».

Обзор литературы

Селекционные сеялки обладают некоторыми особенностями конструкции, благодаря которым их используют на делянках незначительной площади¹.

Известны селекционные сеялки, разработанные за рубежом: HALDRUP, Wintersteiger, Terradonis. Отечественные образцы СТ-1, СР-1, СР-2, УСН-16П, СС-11, СН-10Ц, «Клен-1.5», ССНП-12 и ССНП-16 отличаются конструкцией высевающих аппаратов и системой посева и заделки семян [1–3].

Исследование В. С. Кравченко и коллег посвящено обзору технологий и устройств для селекционных посевов кукурузы, а также разработке конструкции высевающего аппарата [4].

В другой работе предложена авторская схема пневматического высевающего аппарата к сеялке ССНП-16 [5]. Разработана схема пневматической сеялки с центральным дозатором роторно-лопастного типа, описан технологический процесс ее работы [6]. Сконструирована дисково-ленточная схема высевающего аппарата селекционной сеялки [7]. В. П. Горобей и соавторы в своей статье приводят результаты полевых исследований навесной селекционной сеялки с приводом катушечного высевающего

¹ Буклагин Д. С. Технические средства для механизации процессов в селекции и семеноводства масличных культур // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: мат. XI Междунар. науч.-практ. интернет-конф. «Информ-Агро-2019» (5–7 июня 2019). М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. С. 86–96. URL: <https://rosinformagrotech.ru/conf-2019/forum-2019/tekhnicheskie-sredstva-dlya-mekhanizatsii-protsessov-v-selektcii-i-semenovodstve-maslichnykh-kultur> (дата обращения: 20.10.2021).

аппарата мотор-редуктором на базе коллекторного двигателя с микропроцессорным блоком управления [8].

Установлено, что технический уровень отечественных посевных машин для механизации работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве остается недостаточно высоким. В результате этого посев питомников первого этапа осуществляется ручными сеялками с низкой производительностью и малым объемом бункера [9; 10].

Применяемые в настоящее время селекционные сеялки имеют ряд недостатков конструкции, приводящих к сгуживанию почвы и измельченных растительных остатков перед рабочими органами, что приводит к ухудшению качества посева и увеличению затрат энергии. Данные недостатки устраняются с помощью дополнительной обработки почвы перед посевом или усовершенствованной конструкции рабочих органов.

Совершенствование рабочих органов посевных машин осуществляется на основании данных экспериментальных исследований. Данные содержат информацию о неустойчивости высева семян, равномерности распределения в рядке, динамике появления всходов, биологической урожайности высеваемых культур, в некоторых случаях травмируемости посевного материала [10; 11].

Установлено, что качество посева зависит от применяемого типа сошника² [12–16]. Наряду с качественной подготовкой почвы, особое внимание необходимо уделять равномерности заделки семян в почву, что обеспечивает равный доступ высеянных семян к основным факторам роста³ [17–20].

Особое внимание в условиях недостаточного увлажнения следует уделять влагосбережению. Важно, чтобы влага поступала к семенам и корневым системам высеваемых культур [21; 22]. Качественная подготовка почвы обеспечивается дисковыми рабочими органами, которые измельчают и перемещают растительные остатки на глубину ниже заделки семян, а поверхность поля выравнивается [23]. В конструкции сошников также чаще всего используются диски [24].

В другой статье исследуются усовершенствованные дисковые сошники, анализируется параметрическая оптимизация, основанная на силовом взаимодействии с обрабатываемой средой [25]. Зарубежные ученые используют полимерные покрытия сошников для повышения качества посева: забивание рабочих органов уменьшается, тяговое сопротивление сеялки, которое зависит непосредственно от скорости движения, снижается [26; 27].

Почва может деградировать из-за интенсивной обработки: органическое вещество теряется в связи с уплотнением. При уменьшении количества органического вещества жизнеспособность почвы ухудшается, что отрицательно сказывается на плодородии [28; 29]. Уплотнение почвы снижается при уменьшении массы сеялки и интенсивности воздействия на нее рабочими органами [30–34].

Таким образом, селекционно-семеноводческий процесс включает в себя несколько этапов с различной технологией выполнения работ и высокими требованиями к качеству выполнения агротехнических операций посевными

² No-Tillage Seeding in Conservation Agriculture / ed. by C. J. Baker, K. E. Saxton. 2nd ed. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007. 341 p. URL: <http://www.fao.org/3/al298e.pdf> (дата обращения: 20.10.2021).

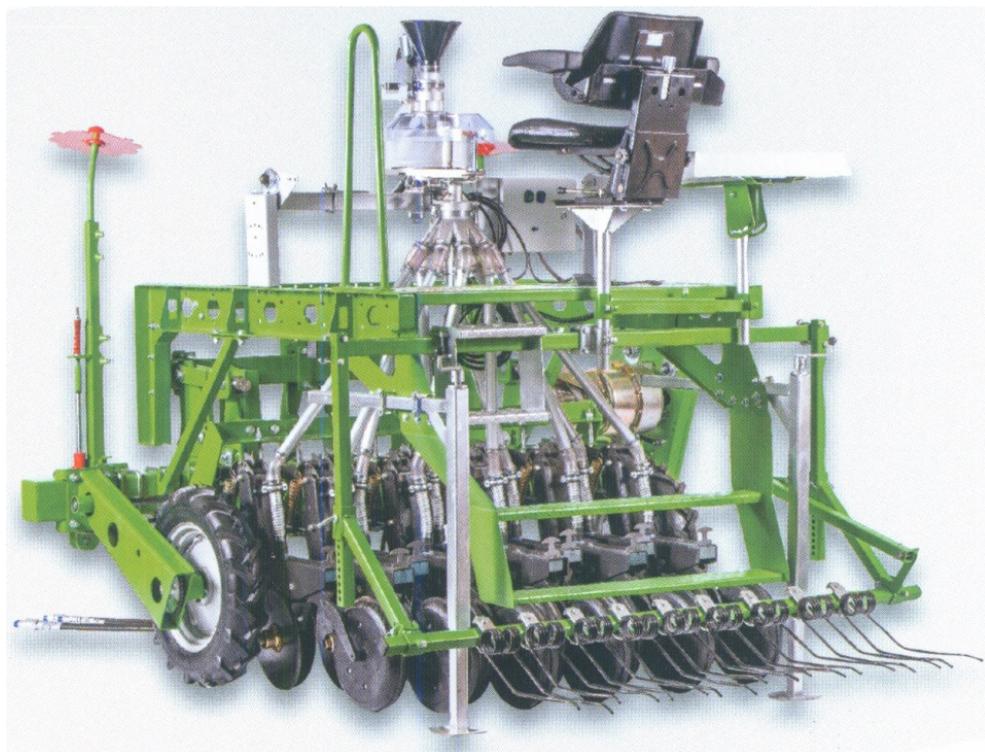
³ Welty L. E., Hensleigh P. F., Stewart V. R. Methods for Sod-Seeding of Small-Seeded Legumes and Grasses [Электронный ресурс]. URL: <https://animalrangeextension.montana.edu/forage/documents/methods-for-sod-seeding-of-small-seeded-legumes-and-grasses.pdf> (дата обращения: 22.10.2021).

машинами. Определение агротехнических показателей высева семян следует производить как для различных сельскохозяйственных культур, так и по различным агрофонам.

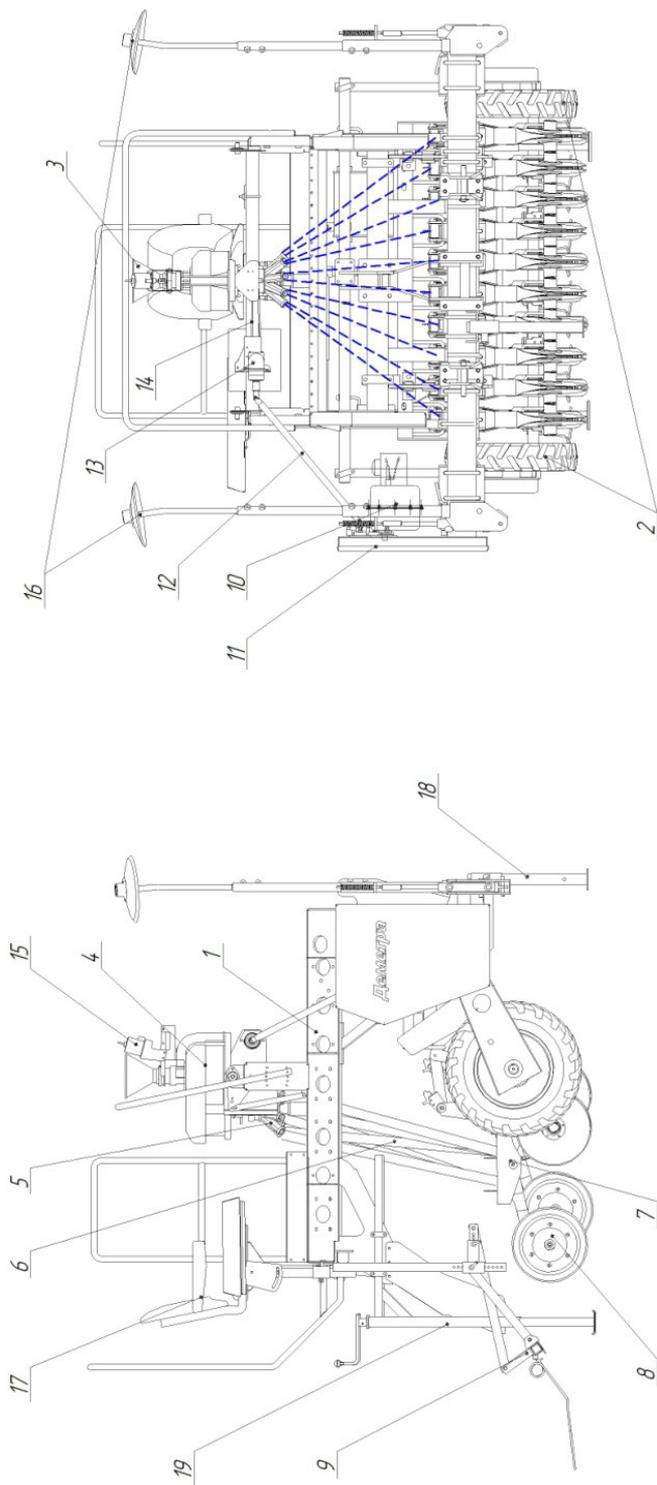
Материалы и методы

В связи с вышесказанным в ФГБНУ «АНЦ “Донской”» совместно с компанией Wintersteiger была разработана сеялка селекционная «Деметра» (рис. 1). Она предназначена для точного рядового посева семян следующих культур: зерновые и крупяные культуры с массой 1 000 зерен до 150 г (пшеница, ячмень, овес, рис, гречиха и др.); зернобобовые культуры с массой 1 000 зерен свыше 150 г (горох); масличные и эфиромасличные культуры (рапс, лен, горчица); кормовые культуры (сорго, просо, трикале, клевер); многолетние травы.

Сеялка селекционная «Деметра» состоит из следующих основных узлов и механизмов: рама 1, опорно-приводные колеса 2, высевающая система, включающая наполнительную воронку 3, конический дозатор 4, ротационный распределитель с электродвигателем 5, телескопические семяпроводы 6, сошники 7, прикатывающие колеса 8, загортачи (мульчер) 9, механизм привода (опорно-приводные колеса 2, редуктор 10, зубчатый перебор 11, карданный вал 12, конический редуктор 13, цепная передача 14), рукоятка открытия наполнительной воронки или электромагнитный клапан (в зависимости от комплектации) 15, гидрофицированные маркеры 16, кресло оператора 17, центральная опора 18, винтовые домкраты 19 (рис. 2).



Р и с. 1. Общий вид сеялки селекционной «Деметра»
F i g. 1. General view of the Demetra selection seeder



Р и с. 2. Схема сеялки селекционной «Деметра»
F i g. 2. Scheme of the Demetra selection seeder

Техническая характеристика сеялки селекционной «Деметра» представлена в таблице 1.

Методика проведения исследований заключалась в определении основных агротехнических показателей сеялки: высевающая способность (минимальная и максимальная), норма высева (заданная и фактическая), отклонение фактической нормы высева семян от заданной, неравномерность высева семян по семяпроводам, неустойчивость общего высева семян, дробление семян, глубина заделки семян при оптимальном заглублении сошников, количественная доля семян, заделанных на заданную глубину, высота гребней после прохода агрегата,

число всходов и относительная полевая всхожесть. Перечень основных агротехнических показателей и методика их определения устанавливались на основании ГОСТа⁴.

В связи с особенностями технологического процесса селекционного высева семян были приняты соответствующие режимы работы сеялки. Диапазон скоростей работы варьировался от 3 до 6 км/ч, что не противоречит данным техническим характеристикам сеялки (до 8 км/ч) и способствует получению требуемых качественных показателей (табл. 1).

Результаты исследования

Принцип действия сеялки селекционной «Деметра» заключается

Т а б л и ц а 1
T a b l e 1

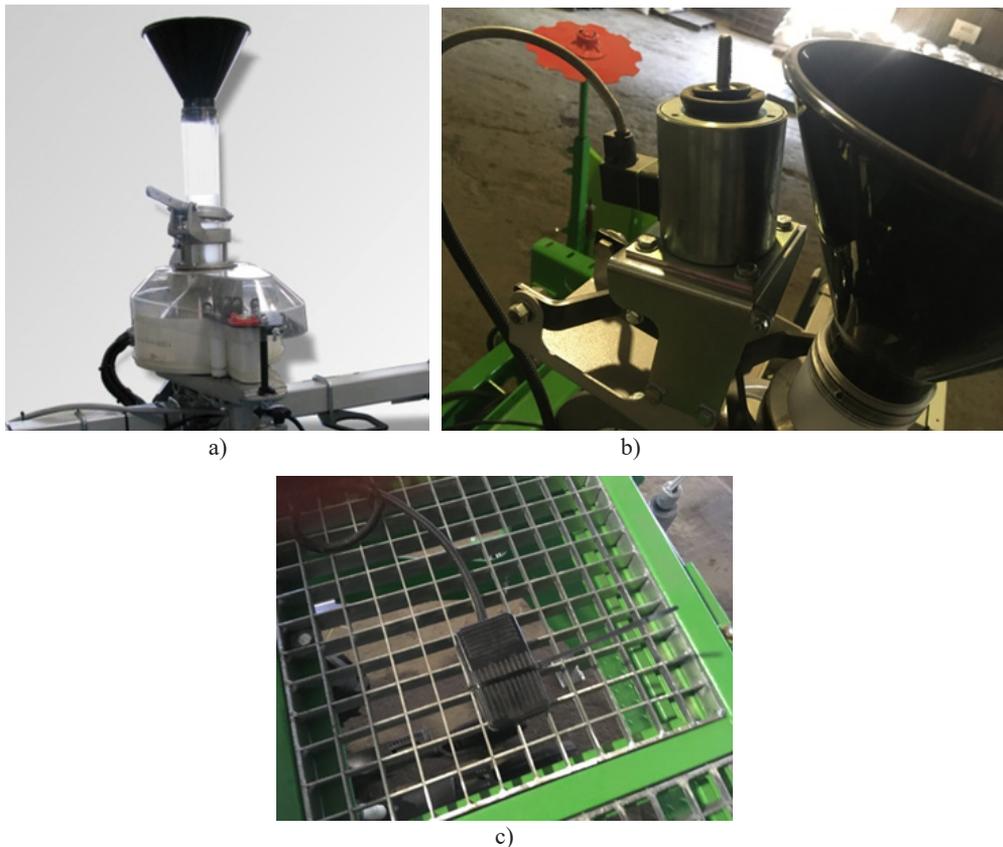
Техническая характеристика сеялки селекционной «Деметра»
Technical characteristics of the selection seeder Demetra

Наименование показателя / Indicator name	Размерность / Dimension	Значение показателя / Indicator value
Тип / Type	–	навесная / mounted
Агрегатирование (тяговый класс трактора) / Aggregation (traction class of a tractor)	тс / ts	1,4
Ширина захвата / Capture width	м / m	1,05
Глубина заделки семян / Seeding depth	мм / mm	до 80 (в зависимости от культуры) / up to 80 (depending on the culture)
Расстояние между рядами сошников / Distance between rows of coulters	см / cm	15
Количество рядов сошников / Number of rows of coulters	шт. / pcs.	7
Тип высевающего аппарата / Sowing machine type	–	ротационный конический дозатор / rotary conical metering device
Длина деланки / Plot length	м / m	1,90–32,92
Изменение передаточных отношений / Change of gear ratios	–	60-ступенчатый редуктор, зубчатый перебор / 60-stage gear reducer, toothed override
Рабочая скорость / Working speed	км/ч / km/h	до 8 / up to 8

⁴ ГОСТ 31345-2017. Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний. М. : Стандартинформ, 2018. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160963> (дата обращения: 20.10.2021).

в следующем. При движении сеялки засыпанные через наполнительную воронку семена непрерывно и равномерно поступают на конический дозатор. Это происходит в результате открытия рукоятки вручную (рис. 3а), с помощью электромагнитного клапана (рис. 3б) с использованием ножной педали (без GPS) (рис. 3с) или же автоматически с использованием навигационной системы GPS (в зависимости от комплектации).

Возможность посева делянок большей длины и площади является основным преимуществом высевальной системы по сравнению с аналогами. При проходе делянки конический дозатор вращается от приводного колеса с помощью редуктора и зубчатого перебора с карданным валом, конического редуктора и цепной передачи. Он делает один оборот, захватывает семена и направляет их на ротационный распределитель, который обеспечивает точность высева (рис. 4).



Р и с. 3. Наполнительная воронка и конический дозатор:

- а) наполнительная воронка и конический дозатор с рукояткой ручного управления;
 б) электромагнитный клапан привода наполнительной воронки; в) ножная педаль для включения электромагнитного клапана привода наполнительной воронки (посев без навигационной системы GPS)

Fig. 3. Filling funnel and conical dispenser: a) filling funnel and conical dispenser with manual control handle; b) solenoid valve for the filling funnel drive; c) foot pedal for switching on the solenoid valve of the filling funnel drive (sowing without GPS navigation system)



Р и с. 4. Ротационный распределитель с электродвигателем
F i g. 4. A rotary distributor with an electric motor

Привод ротационного распределителя осуществляется непрерывно от электродвигателя, который

распределяет семена по телескопическим семяпроводам к двухдисковым сошникам (рис. 5).



Р и с. 5. Сошник с прикатывающим колесом
F i g. 5. A coulter with a press wheel

В качестве преимущества данного типа сошника следует отметить возможность легкой и удобной регулировки глубины заделки семян путем перемещения рукоятки прикатывающего колеса. При этом прикатывающие колеса в свою очередь обеспечивают уплотнение почвы в засеянных рядах с целью создания контакта между высеянными семенами и влажной почвой на дне борозды.

Далее семена укладываются на дно борозд, образованных двухдисковыми сошниками в почве. Заделка семян, высеянных сошниками в почву, производится естественной осыпью почвы со стенок борозд. Идущие сзади за сошниками загортачи заравнивают и мульчируют верхний слой почвы после посева. Центральная опора и винтовые домкраты используются для защиты сеялки от опрокидывания, а также для постановки на длительное хранение. Винтовые домкраты предназначены для подъема и опускания сеялки при проведении технического обслуживания.

Сеялка селекционная «Деметра» используется для посева опытных делянок. Норма высева семян обеспечивается навеской семян с учетом длины засеваемой делянки и ширины захвата сеялки. При увеличении длины делянки расчетным путем увеличивается масса навески посевного материала. Точность и равномерность высева при этом обеспечивается коническим дозатором и ротационным распределителем посевного материала.

Определение основных агротехнических показателей сеялки селекционной «Деметра» производилось совместно с ФГБУ «Северо-Кавказская МИС» в два этапа (протокол № 11-02-20 (1030022) приемочных испытаний сеялки селекционной «Деметра»). На первом этапе в лабораторных условиях определялась минимальная и максимальная высевающая способность

сеялки, заданная и фактическая норма высева семян, отклонение фактической нормы высева семян от заданной, неравномерность высева семян по семяпроводам, неустойчивость общего высева семян, а также дробление семян. На втором этапе проводились полевые исследования, в ходе которых определялись глубина заделки семян при оптимальном заглублении сошников, количественная доля семян, заделанных на заданную глубину, высота гребней после прохода агрегата, число всходов и относительная полевая всхожесть.

При проведении лабораторных исследований по определению агротехнических показателей, выполняемых сеялкой, высеивались семена озимой пшеницы сорта Станичная (дата проведения исследований 17.10.2019), ярового ячменя сорта Леон и гороха Аксайский усатый (дата проведения исследований 12.03.2020). Насыпная плотность озимой пшеницы составила 780 кг/м^3 , ярового ячменя 692 кг/м^3 , гороха 822 кг/м^3 . Исследования производились в агрегате с трактором МТЗ-82. Результаты лабораторных исследований приведены в таблице 2.

Анализ данных лабораторных исследований позволяет сделать заключение о том, что минимальная высевающая способность сеялки по исследуемым культурам составила 10 кг/га , максимальная высевающая способность для озимой пшеницы $349,7 \text{ кг/га}$, ярового ячменя $350,1 \text{ кг/га}$ и гороха $348,3 \text{ кг/га}$. Данные с высокой точностью укладываются в рамки, заданные агротехническими требованиями ($10\text{--}350 \text{ кг/га}$). При заданной норме высева семян озимой пшеницы 240 кг/га фактически получено $240,78 \text{ кг/га}$ на минимальной длине делянки ($1,95 \text{ м}$) и $240,04 \text{ кг/га}$ – на максимальной длине делянки ($32,92 \text{ м}$). Отклонение фактического высева от заданного по делянкам составило $0,33 \%$ для минимальной длины и $0,02 \%$ от

Результаты лабораторных исследований сеялки селекционной «Деметра»
Results of laboratory studies of the selection seeder Demetra

Наименование показателя / Indicator name	Значение показателя / The value of the indicator		
Состав агрегата / Unit composition	МТЗ-82 + Сеялка селекционная «Деметра» / MTZ-82 + Demetra selection seeder		
Культура / Culture	Озимая пшеница / Winter wheat	Яровой ячмень / Spring barley	Горох / Pea
Высевающая способность сеялки, кг/га / Seeding capacity of the seeder, kg/ha:			
– минимальная / minimum	10,0	10,0	10,0
– максимальная / maximum	349,7	350,1	348,3
Норма высева семян, кг/га / Seeding rate, kg/ha:			
– заданная / specified	240	200	200
– фактическая при минимальной длине делянки (1,95 м) / actual at minimum plot length (1.95 m)	240,78	198,93	199,41
– фактическая при максимальной длине делянки (32,92 м) / actual with the maximum length of the plot (32.92 m)	240,04	200,34	200,15
Отклонение фактической нормы высева от заданной, % / Departure of the actual seeding rate from the specified one, %:			
– минимальная длина делянки (1,95 м) / minimum plot length (1.95 m)	0,33	0,54	0,30
– максимальная длина делянки (32,92 м) / maximum plot length (32.92 m)	0,02	0,17	0,08
Неравномерность высева семян по семяпроводам, % / Unevenness of sowing seeds through the seed tubes, %:			
– минимальная длина делянки (1,95 м) / minimum plot length (1.95 m)	1,10	0,93	1,37
– максимальная длина делянки (32,92 м) / maximum plot length (32.92 m)	1,53	0,66	0,22
Неустойчивость общего высева семян, % / Instability of general sowing of seeds, %:			
– минимальная длина делянки (1,95 м) / minimum plot length (1.95 m)	1,10	0,66	0,93
– максимальная длина делянки (32,92 м) / maximum plot length (32.92 m)	0,78	0,22	0,10
Дробление семян, % / Crushing of seeds, %	0,04	0,03	0,25

максимальной. При заданной норме высева семян ярового ячменя 200 кг/га фактическая норма на минимальной длине делянки составляет 198,93 кг/га, максимальной 200,34 кг/га. Отклонение фактического высева семян ярового ячменя от заданного составляет

0,54 % для минимальной длины и 0,17 % для максимальной. При заданной норме высева семян гороха 200 кг/га фактическая норма составляет 199,41 кг/га на минимальной длине делянки и 200,15 кг/га на максимальной. Отклонение фактического высева

семян гороха от заданного составляет 0,30% для минимальной длины деланки и 0,08% для максимальной. Таким образом, можно сделать заключение, что сеялка селекционная «Деметра» отвечает предъявляемым агротехническим требованиям по параметру отклонения фактической нормы высева от заданной (не более 3 %).

Неравномерность высева между семяпроводами на озимой пшенице составляет 1,10 %, на яровом ячмене 0,93 %, на горохе 1,37 % на минимальной длине деланки. Неравномерность высева на максимальной длине деланки составила 1,53, 0,66, 0,22 % соответственно. Это с высокой точностью соответствует предъявляемым агротехническим требованиям (не более 3 %). Неустойчивость общего высева семян составляет 1,10, 0,66, 0,93 % по культурам для минимальной длины деланки и 0,78, 0,22, 0,10 % по культурам на максимальной длине. Это соответствует предъявляемым агротехническим требованиям для обоих вариантов длины деланки (не более 2,8 %). Дробление семян озимой пшеницы составляет 0,04 %, семян ярового ячменя 0,03 %, семян гороха 0,25 %, что отвечает предъявляемым агротехническим требованиям (не более 0,3 %).

Таким образом, сеялка селекционная «Деметра» на высева семян озимой пшеницы, ярового ячменя и гороха показала высокое соответствие всем предъявляемым агротехническим требованиям по качеству высева.

Полевые исследования сеялки селекционной «Деметра» проходили на территории ФГБНУ «АНЦ «Донской»» на посеве озимой пшеницы по двум фонам (задискованной стерне озимой пшеницы и по пару с предварительной предпосевной культивацией почвы), а также на посеве ярового ячменя на фоне с выполненной предпосевной культивацией.

Так, по фону задискованной стерни озимой пшеницы (фон 1), дата проведения исследований 27.09.2019, микро-рельеф поля был слабо выражен – до 2,6 см. Влажность почвы в слое 0–5 см составила 20,28 %, в слое 5–10 см – 19,67 %, в слое 10–15 см – 15,54 %. Данные отвечают предъявляемым агротехническим требованиям к операции посева семян (до 30 %). Твердость почвы по слоям составила 0,83, 1,20, 1,54 МПа на глубине заделки семян до 8 см. Твердость почвы соответствует предъявляемым агротехническим требованиям (до 1,5 МПа). Обработка почвы под посев качественная. Глубина взрыхленного слоя в среднем составила 6,6 см, что соответствует глубине заделки семян. Массовая доля комков размером до 10 мм составила 65,9 %, что отвечает агротехническим требованиям (не менее 50 %). Сорная растительность отсутствовала. Таким образом, условия для посева озимой пшеницы на этом фоне были оптимальными и соответствовали агротребованиям.

На фоне черный пар с предварительной предпосевной культивацией (фон 2), дата проведения исследований 11.10.2019, микро-рельеф поля составляет до 2,2 см. Влажность почвы в слое 0–5 см составила 16,01 %, в слое 5–10 см – 23,31 %, в слое 10–15 см – 24,02 %, что отвечает предъявляемым агротехническим требованиям. Твердость почвы по слоям составила 0,24, 0,26, 0,30 МПа, что соответствует предъявляемым агротехническим требованиям. Глубина взрыхленного слоя 12,8 см, что гораздо больше глубины заделки семян. Массовая доля комков размером до 10 мм 80,7 %. Сорная растительность отсутствовала. Таким образом, на этом фоне показатель глубины взрыхленного слоя был экстремальным, остальные показатели условий проведения исследований

соответствовали предъявляемым агротехническим требованиям.

Посев ярового ячменя проводился по фону черный пар с предварительной предпосевной культивацией (фон 3), дата проведения исследований 27.03.2020. Микрорельеф поля составляет до 2,7 см. Влажность почвы в слое 0–05 см составила 20,32 %, в слое 5–10 см – 27,51 %, в слое 10–15 см – 21,37 %. Это отвечает предъявляемым

агротехническим требованиям. Твердость почвы по слоям составила 0,23, 0,30, 0,46 МПа. Глубина взрыхленного слоя 8,2 см. Массовая доля комков размером до 10 мм 88,2 %. Сорная растительность отсутствовала. Таким образом, условия посева ярового ячменя на этом фоне были оптимальными и соответствовали предъявляемым агротребованиям. Результаты полевых исследований приведены в таблице 3.

Таблица 3

Table 3

Результаты полевых исследований сеялки селекционной «Деметра»
The results of field studies of the Demetra selection seeder

Наименование показателя / Indicator name	Значение показателя / The value of the indicator		
Состав агрегата / Unit composition	МТЗ-82 + Сеялка селекционная «Деметра» / MTZ-82 + Demetra selection seeder		
Культура / Culture	Озимая пшеница / Winter wheat		Яровой ячмень / Spring barley
	фон 1 / backdrop 1	фон 2 / backdrop 2	фон 3 / backdrop 3
Скорость движения агрегата, м/с (км/ч) / Aggregate movement speed, m/s (km/h)	0,58 (2,1)	1,56 (5,6)	0,97 (3,5)
Норма высева семян, кг/га / Rate of sowing seeds, kg/ha:			
– заданная / specified	225	240	200
– фактическая / actual	225	240	200
Глубина заделки семян при оптимальном заглублении сошников / Depth of sowing seeds with optimal depth of the coulter:			
– установочная глубина, мм / installation depth, mm	60	60	50
– средняя глубина, мм / average depth, mm	57,8	52,0	49,7
– стандартное отклонение, ±мм / standard departure, ±mm	9,1	13,8	9,5
– коэффициент вариации, % / the coefficient of variation, %	15,89	26,59	19,07
Количественная доля семян, заделанных на заданную глубину, % / Quantity of seeds embedded at a given depth, %	88,3	79,7	85,8
Число семян, не заделанных в почву, шт./м ² / The number of seeds not embedded in the soil, pcs./m ²	0	0	0
Высота гребней после прохода сеялки, см / Height of the ridges after the seeder passed, cm	2,6	2,9	3,0
Число всходов, шт./м ² / The number of shoots, pcs./m ²	444	476	428
Относительная полевая всхожесть, % / Relative field germination capacity, %	96,9	82,3	92,7

Посев озимой пшеницы по фону 1 производился на скорости 2,1 км/ч. Норма высева семян составила 225 кг/га. Средняя глубина заделки семян 57,8 мм, при заданной глубине 60 мм. Компактность заделки семян составила 88,3%, что соответствует агротребованиям (не менее 80 %). Не заделанных в почву семян не наблюдалось. Высота гребней после прохода агрегата 2,6 см. Относительная полевая всхожесть составила 96,9 %.

На фоне 2 по обработанному пару скорость движения агрегата составила 5,6 км/ч при норме высева семян 240 кг/га. Средняя глубина заделки семян 52,0 мм соответствовала установочной 60 мм. Следует отметить более низкую компактность заделки семян 79,7 %, отклонение от нормы в 0,3 % объясняется экстремальностью фона из-за некачественной предпосевной культивации пара. Не заделанных в почву семян не наблюдалось. Высота гребней составила 2,9 см, что соответствует предъявляемым агротехническим требованиям. Относительная полевая всхожесть составила 82,3 %.

При посеве ярового ячменя на фоне 3 скорость составила 3,5 км/ч с нормой высева 200 кг/га. Средняя глубина заделки семян 49,7 мм при заданной 50 мм. Компактность заделки семян 85,8 %, что отвечает агротехническим требованиям. Высота гребней после прохода агрегата 3,0 см. Не заделанных в почву семян не наблюдалось. Относительная полевая всхожесть ярового ячменя составила 92,7 %.

Таким образом, по полученным данным полевых исследований сеялки селекционной «Деметра» можно сделать

заключение, что сеялка обеспечивает качественное выполнение технологической операции посева как для озимой пшеницы, так и для ярового ячменя.

Обсуждение и заключение

При проведении исследований сеялка селекционная «Деметра» обеспечила качественное выполнение технологического процесса высева семян как для минимальной (1,95 м), так и для максимальной (32,92 м) длины делянки. Отклонение фактического высева от заданного на культурах 0,02–0,54 %. Неустойчивость общего высева по культурам варьировалась в пределах 0,10–1,10 %. Неравномерность высева по культурам 0,22–1,53%. Дробление семян высевающим аппаратом сеялки по культурам составила 0,03–0,25 %. Установлено, что при скорости движения агрегата 2,1–5,6 км/ч рабочие органы сеялки обеспечили глубину заделки семян 49,7–57,8 мм, а также фактическую норму высева по культурам 200–240 кг/га. Количественная доля заделанных семян по культурам при этом составляет 79,7–88,3 %. Высота гребней после прохода сеялки селекционной «Деметра» в агрегате с трактором МТЗ-82 по культурам варьируется в пределах 2,6–3,0 см. Семена, не заделанные в почву рабочими органами сеялки, отсутствуют. Относительная полевая всхожесть по возделываемым культурам составляет 82,3–96,9 %.

Таким образом, можно сделать заключение, что сеялка селекционная «Деметра» с высокой точностью отвечает предъявляемым агротехническим требованиям по всем агротехническим показателям на посеве озимой пшеницы и ярового ячменя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крючин Н. П., Вдовкин С. В., Крючин П. В. Селекционная сеялка для трудносыпучих мелкосеменных культур // Сельский механизатор. 2015. № 3. С. 17. URL: [http://selmech.msk.ru/315.html#_Селекционная_сеялка_для_\(дата_обращения:_20.10.2021\)](http://selmech.msk.ru/315.html#_Селекционная_сеялка_для_(дата_обращения:_20.10.2021)).

2. Петров А. М., Краснов С. В. Разработка селекционной сеялки и ее полевые испытания // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2004. № 4. С. 42. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23632420> (дата обращения: 20.10.2021).
3. Петров А. М., Петин А. В. Разработка дискового высевашающего аппарата селекционной сеялки и обоснование его параметров // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2006. № 5. С. 106–108. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25827589> (дата обращения: 20.10.2021).
4. Кравченко В. С., Кравченко Э. В., Будагов И. В. Селекционная пневматическая сеялка для пунктирного посева семян кукурузы // Наука. Технологии (Политехнический вестник). 2013. № 1–2. С. 75–77. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21182025> (дата обращения: 20.10.2021).
5. Шевченко А. П., Коробкин И. О. Усовершенствование высевашающего аппарата селекционной сеялки // Сельский механизатор. 2011. № 5. С. 9. URL: http://www.selmech.msk.ru/511.htm#_Усовершенствование_высевашающего_аппа (дата обращения: 20.10.2021).
6. Крючин Н. П., Морев Е. А. Пневматическая селекционная сеялка с центральным роторно-лопастным дозатором для мелкосеменных культур // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 3. С. 30–32. URL: http://old.ssaa.ru/_struct/000/Izvest_3,%202010.pdf (дата обращения: 20.10.2021).
7. Петров А. М., Зелева Н. В. Разработка дисково-ленточного высевашающего аппарата селекционной сеялки // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2009. № 3. С. 29–32. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12330643> (дата обращения: 20.10.2021).
8. Горобей В. П., Полякова Н. Ю., Канаев О. О. Исследование сеялки селекционно-семеноводческой с приводом высевашающего аппарата мотор-редуктором на базе коллекторного двигателя // Таврический вестник аграрной науки. 2013. № 2. С. 55–58. URL: http://tvan.niishk.ru/data/documents/vestnik_2_2013.pdf (дата обращения: 20.10.2021).
9. Крючин Н. П., Сафонов С. В., Крючин А. Н. Разработка электрифицированной пневматической мини-сеялки для посева трав // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 3. С. 29–32. URL: http://old.ssaa.ru/_struct/000/Izvest_3,%202012.pdf (дата обращения: 20.10.2021).
10. Давыдова С. А., Чаплыгин М. Е. Техническая оснащенность селекции и семеноводства кукурузы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 3. С. 66–74. doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-66-74>
11. Посев селекционного материала по стерневому фону / В. А. Домрачев [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 2. С. 64–65. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16333667> (дата обращения: 20.10.2021).
12. Петров А. М., Сыркин В. А. Результаты полевых исследований экспериментальной селекционной сеялки с катушечно-штифтовым высевашающим аппаратом // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. Т. 2, № 2. С. 36–39. doi: https://doi.org/10.12737/article_58f847cbe6c850.40145440
13. Деревянок Д. А. Исследование травмирования семян при их перемещении по дисковому сошнику модернизированной конструкции // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 3. С. 37–42. URL: <https://www.vimsmi.com/jour/article/view/137> (дата обращения: 20.10.2021).
14. Теоретическое обоснование основных параметров сошниковой группы дернинной сеялки полосного посева / В. А. Сысуев [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21, № 3. С. 321–331. doi: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.321-331>
15. Сошник для двухстрочного посева с разноуровневым внесением удобрений [Электронный ресурс] / Д. С. Пякорский [и др.] // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2017. № 1. URL: <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1/35-statya-2017-1/779-00306> (дата обращения: 20.10.2021).
16. Аванькина А. С., Голубев В. В., Фирсов А. С. Исследование взаимодействия комбинированного сошника с почвой // Вестник НГИЭИ. 2017. № 3. С. 15–22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28862830> (дата обращения: 20.10.2021).
17. Яковлев В. Т., Салеев Ф. И. Анализ некоторых параметров процесса укладки семян зернутоковыми сеялками // Ползуновский альманах. 2017. № 3–1. С. 76–80. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30502859> (дата обращения: 20.10.2021).

18. Давлетшин М. М., Атнагулов Д. Т. Дисковый сошник для отечественных зернотуковых сеялок // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2010. № 10. С. 30–33. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16392925> (дата обращения: 20.10.2021).
19. Назаров Н. Н., Яковлев Н. С., Мясенко В. И. Посевной рабочий орган для реализации бороздочного ленточного посева зерновых // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016. № 5. С. 56–63. URL: <https://sibvest.elpub.ru/jour/article/view/18> (дата обращения: 20.10.2021).
20. Мачнев В. А., Мачнев А. В., Ларин М. А. Сеялка-культиватор для подпочвенно-разбросного посева с направляющими-распределителями семян // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 8. С. 16–17. URL: <https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/69448> (дата обращения: 20.10.2021).
21. Ehdai B., Layne A. P., Waines J. G. Root System Plasticity to Drought Influences Grain Yield in Bread Wheat // Euphytica. 2012. Vol. 186. P. 219–232. doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0585-9>
22. Seasonal and Inter-Annual Variability of Soil Moisture Stress Function in Dryland Wheat Field, Australia / V. R. Akuraju [et al.] // Agricultural and Forest Meteorology. 2017. Vol. 232. P. 489–499. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.007>
23. Ротационные дисковые рабочие органы как базовый элемент в комбинированных агрегатах для обработки почвы и посева [Электронный ресурс] / Е. И. Трубилин [и др.] // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 91. URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/101.pdf> (дата обращения: 20.10.2021).
24. Петровец В. Р., Дудко Н. И., Гутарев В. В. Исследование дисковых сошников для совмещенного внесения минеральных удобрений с посевом зерновых культур // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 2. С. 107–110. URL: <https://elc.baa.by/vestnik/vestnik2016-2/vestnik2016-2.pdf> (дата обращения: 20.10.2021).
25. Нотов Р. А. Исследование работы дисковых сошников сеялки с полимерным покрытием // Аграрный вестник Урала. 2013. № 7. С. 33–34. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20267689> (дата обращения: 20.10.2021).
26. Soil Moisture Influence in the Soil Tillage Operations [Электронный ресурс] / P. Cardei [et al.] // 9th International Conference on Thermal Equipments, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD 2020), E3S Web of Conferences (Jan. 2020). Vol. 180. 2020. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018003002>
27. Effect of Various Soil Cultivation Methods on Some Microbial Soil Properties / Zs. Sándor [et al.] // DRC Sustainable Future. 2020. Vol. 1, Issue 1. P. 14–20. doi: <https://doi.org/10.37281/DRCSF/1.1.3>
28. 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. Vol. 232. P. 11–23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.12.003>
29. Пархоменко С. Г., Пархоменко Г. Г. Измерение силы тяги на крюке трактора в агрегате с навесной сельскохозяйственной машиной // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 4. С. 15–19. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25871252> (дата обращения: 20.10.2021).
30. Soil and Tillage Research: Why Still Focus on Soil Compaction? [Электронный ресурс] / C. Bluett [et al.] // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.028>
31. Пархоменко Г. Г., Пархоменко С. Г. Оптимизация показателей технологических процессов сельскохозяйственного производства в растениеводстве // Хранение и переработка зерна. 2017. № 1. С. 55–60. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28337912> (дата обращения: 20.10.2021).
32. Пархоменко Г. Г., Пархоменко С. Г. Снижение уплотнения почвы при производстве зерна // Хранение и переработка зерна. 2017. № 2. С. 20–24. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28847130> (дата обращения: 20.10.2021).
33. Historical Increase in Agricultural Machinery Weights Enhanced Soil Stress Levels and Adversely Affected Soil Functioning [Электронный ресурс] / T. Keller [et al.] // Soil and Tillage Research. 2019. Vol. 194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>
34. Energy Requirements for Alleviation of Subsoil Compaction and the Effect of Deep Tillage on Sunflower (*Helianthus Annus L.*) Yield in the Western Region of Argentina's Rolling Pampa / G. F. Botta [et al.] // Proceedings of International Scientific Conference "Engineering for Rural Development" (22–24 May 2019). Jelgava, 2019. P. 174–178. doi: <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N216>

Поступила 28.10.2021; одобрена после рецензирования 19.11.2021; принята к публикации 10.12.2021

Об авторах:

Пахомов Виктор Иванович, и. о. директора Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3), заведующий кафедрой технологий и оборудования переработки продукции АПК Донского государственного технического университета (344000, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), доктор технических наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>, Researcher ID: Y-7085-2019, vnptim@gmail.com

Камбулов Сергей Иванович, главный научный сотрудник лаборатории механизации полеводства отдела механизации растениеводства Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3), профессор кафедры технологий и оборудования переработки продукции АПК Донского государственного технического университета (344000, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8712-1478>, Researcher ID: A-6156-2019, Scopus ID: 57207655797, kambulov.s@mail.ru

Божко Игорь Владимирович, старший научный сотрудник лаборатории механизации полеводства отдела механизации растениеводства Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8423-4079>, Researcher ID: E-9518-2016, Scopus ID: 57204682997, i.v.bozhko@mail.ru

Пархоменко Галина Геннадьевна, ведущий научный сотрудник лаборатории механизации полеводства отдела механизации растениеводства Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1944-216X>, Researcher ID: D-2633-2019, parkhomenko.galya@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

В. И. Пахомов – формулирование концепции решения.

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

И. В. Божко – определение методологии исследования, сбор и анализ материалов по теме исследования, доработка текста.

Г. Г. Пархоменко – анализ научных источников по теме исследования, критический анализ и доработка решения.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Kryutchin N.P., Vdovkin S.V., Kryutchin P.V. Selection Drill for Hard Loose Seeds. *Selskiy Mekhanizator* = Rural Mechanic. 2015; (3):17. Available at: http://selmech.msk.ru/315.html#_Селекционная_сеялка_для (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

2. Petrov A.M., Krasnov S.V. [Development of a Selection Planter and Its Field Trials]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2004; (4):42. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23632420> (accessed 20.10.2021). (In Russ.)

3. Petrov A.M., Petin A.V. [Development of a Disc Seeding Apparatus for the Selection Seeder and Justification of Its Parameters]. *Vestnik FGOU VPO "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina"* = Moscow Goryachkin Agroengineering University Bulletin. 2006; (5):106-108. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25827589> (accessed 20.10.2021). (In Russ.)

4. Kravchenko V.S., Kravchenko E.V., Budagov I.V. Breeding Air Seeder for Dotted Sowing Corn Seeds. *Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (Politekhicheskiy vestnik)* = Science. Engineering. Technology (Polytechnical Bulletin). 2013; (1-2):75-77. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21182025> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

5. Shevchenko A.P., Korobkin I.O. Improvement of the Sowing Machine Selection Drills. *Selskiy Mekhanizator* = Rural Mechanic. 2011; (5):9. Available at: http://www.selmech.msk.ru/511.htm#_Усовершенствование_высевающего_аппа (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

6. Kryuchin N.P., Morev Ye.A. [Pneumatic Selection Seeder With Central Rotary-Blade Metering for Small-Seeded Crops]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Samara State Agricultural Academy Bulletin. 2010; (3):30-32. Available at: http://old.ssaa.ru/_struct/000/Izvest_3,%202010.pdf (accessed 20.10.2021). (In Russ.)
7. Petrov A.M., Zeleva N.V. [Development of a Disk-Belt Sowing Machine for a Selection Planter]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Samara State Agricultural Academy Bulletin. 2009; (3):29-32. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12330643> (accessed 20.10.2021). (In Russ.)
8. Gorobey V.P., Polyakova N.Yu., Kanaev O.O. [Study of Selection and Seed-Growing Planter with a Gearmotor Driven Seeding Unit Based on a Collector Motor]. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Tavrida Bulletin of Agrarian Science. 2013; (2):55-58. Available at: http://tvan.niishk.ru/data/documents/vestnik_2_2013.pdf (accessed 20.10.2021). (In Russ.)
9. Kryuchin N.P., Safonov S.V., Kryuchin A.N. [Development of an Electrified Pneumatic Mini-Seeder for Grass Seeding]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Samara State Agricultural Academy Bulletin. 2012; (3):29-32. Available at: http://old.ssaa.ru/_struct/000/Izvest_3,%202012.pdf (accessed 20.10.2021). (In Russ.)
10. Davydova S.A., Chaplygin M.E. Technical Equipment of Corn Breeding and Seed Production. *Selskhozajstvennyye mashiny i tehnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2020; 14(3):66-74. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-66-74>
11. Domrachev V.A., Kem A.A., Sagalbekov U.M., Sagalbekov B.U. Crop of Seeds for Selection on the Raw Soil Background. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AIC. 2011; (2):64-65. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16333667> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
12. Petrov A.M., Syrkin V.A. Results of Field Surveys of Experimental Selection Seeder with the Bobbin and Bayonet Sowing Device. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii* = Samara State Agricultural Academy Bulletin. 2017; 2(2):36-39. (In Russ., abstract in Eng.) doi: https://doi.org/10.12737/article_58f847cbe6c850.40145440
13. Derevyanko D.A. Research of Damage of Seeds at Their Movement in Disk Coulter of Modernized Design. *Selskhozajstvennyye mashiny i tehnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2016; (3):37-42. Available at: <https://www.vimsmit.com/jour/article/view/137> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
14. Sysuev V.A., Demshin S.L., Cheremisinov D.A., Doronin M.S. Theoretical Justification of the Main Parameters of the Coulter Group of the Sod Seeder for Strip Sowing. *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020; 21(3):321-331. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.321-331>
15. Pyaskorsky D.S., Korneev E.A., Kem A.A., Demchuk E.V. The Opener for the Two-Line Seeding with Multilevel Fertilizer Application. *Elektronnyy nauchno-metodicheskiy zhurnal Omskogo GAU* = Electronic Journal of Omsk SAU. 2017; (1). Available at: <http://e-journal.omgau.ru/index.php/2017/1/35-statya-2017-1/779-00306> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
16. Avankina A.S., Golubev V.V., Firsov A.S. Study of the Interaction of Combined Openers with Soil. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGIEI. 2017; (3):15-22. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28862830> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
17. Yakovlev V.T., Saleev F.I. [Analysis of Some Parameters of the Process of Seed Placement by Grain-Tube Seeders]. *Polzunovskiy almanakh* = Polzunov Almanac. 2017; (3-1):76-80. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30502859> (accessed 20.10.2021). (In Russ.)
18. Davletshin M.M., Atnagulov D.T. Disk Coulter for Home Fertilizer-Grain Drills. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of the Bashkir State Agrarian University. 2010; (10):30-33. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16392925> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
19. Nazarov N.N., Yakovlev N.S., Myalenko V.I. A Sowing Tool to Realize Furrow Band Sowing of Grain Crops. *Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2016;

(5):56-63. Available at: <https://sibvest.elpub.ru/jour/article/view/18> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

20. Machnev V.A., Machnev A.V., Larin M.A. A Tiller-Seeder with Deflectors-Distributors of Seeds for Subsoil-Broadcast Sowing. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and Agricultural Machinery. 2012; (8):16-17. Available at: <https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/69448> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

21. Ehdaie B., Layne A.P., Waines J.G. Root System Plasticity to Drought Influences Grain Yield in Bread Wheat. *Euphytica*. 2012; 186:219-232. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0585-9>

22. Akuraju V.R., Ryu D., George B., et al. Seasonal and Inter-Annual Variability of Soil Moisture Stress Function in Dryland Wheat Field, Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2017; 232:489-499. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.10.007>

23. Trubilin E.I., Sokhta K.A., Konovalov V.I., Danyukova O.V. Rotary Disc Working Bodies as the Basic Unit in the Combined Aggregate for Tillage and Seeding. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* = Scientific Journal of KubSAU. 2013; (91). Available at: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/101.pdf> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

24. Petrovets V.R., Dudko N.I., Gutarev V.V. Research into Disc Ploughshares for Combined Application of Mineral Fertilizers in Cereals. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2016; (2):107-110. Available at: <https://elc.baa.by/vestnik/vestnik2016-2/vestnik2016-2.pdf> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

25. Notov R.A. The Study of the Work of Disc Coulters with a Polymeric Covering. *Agrarnyy Vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2013; (7):33-34. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20267689> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

26. Cardei P., Sfiru R., Muraru S., Condruz P. Soil Moisture Influence in the Soil Tillage Operations. In: 9th International Conference on Thermal Equipments, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD 2020), E3S Web of Conferences (Jan. 2020). 2020. Vol. 180. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018003002>

27. Sándor Zs., Tállai M., Kincses I., et al. Effect of Various Soil Cultivation Methods on Some Microbial Soil Properties. *DRC Sustainable Future*. 2020; 1(1):14-20. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.37281/DRCSF/1.1.3>

28. 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 Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.12.003>

29. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Measurement of Tractive Effort at the Drawbar of Tractor in Aggregate with Mounted Agricultural Machine. *Traktory i selkhoz mashiny* = Tractors and Agricultural Machinery. 2016; (4):15-19. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25871252> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

30. Bluett C., Tullberg J.N., McPhee J.E., Antille D.L. Soil and Tillage Research: Why Still Focus on Soil Compaction? *Soil and Tillage Research*. 2019; 194. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.028>

31. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. [Optimization of Indicators of Technological Processes of Agricultural Production in Crop Production]. *Khranenie i pererabotka zerna* = Storage and Processing of Grain. 2017; (1):55-60. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28337912> (accessed 20.10.2021). (In Russ.)

32. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Reduced Soil Compaction in the Production of Grain. *Khranenie i pererabotka zerna* = Storage and Processing of Grain. 2017; (2):20-24. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28847130> (accessed 20.10.2021). (In Russ., abstract in Eng.)

33. Keller T., Sandin M., Colombi T., et al. Historical Increase in Agricultural Machinery Weights Enhanced Soil Stress Levels and Adversely Affected Soil Functioning. *Soil and Tillage Research*. 2019; 194. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>

34. Botta G.F., Antille D.L., Bienvenido F., et al. Energy Requirements for Alleviation of Subsoil Compaction and the Effect of Deep Tillage on Sunflower (*Helianthus Annus L.*) Yield in the Western

Region of Argentina's Rolling Pampa. In: Proceedings of International Scientific Conference "Engineering for Rural Development" (22-24 May 2019). Jelgava; 2019. p. 174-178. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N216>

Submitted 28.10.2021; approved after reviewing 19.11.2021; accepted for publication 10.12.2021

About the authors:

Viktor I. Pakhomov, Acting Director, Agricultural Research Center "Donskoy" (3 Nauchnyy Gorodok, Zernograd 347740, Russian Federation); Head of the Department of Technology and Equipment of Product Processing of AIC, Don State Technical University (1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344000, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>, Researcher ID: Y-7085-2019, vnptim@gmail.com

Sergey I. Kambulov, Senior Researcher of the Field Mechanization Laboratory of the Plant Production Mechanization Department, Agricultural Research Center "Donskoy" (3 Nauchnyy Gorodok, Zernograd 347740, Russian Federation); Professor of the Department of Technology and Equipment of Product Processing of AIC, Don State Technical University (1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344000, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8712-1478>, Researcher ID: A-6156-2019, Scopus ID: 57207655797, kambulov.s@mail.ru

Igor V. Bozhko, Senior Researcher of the Field Mechanization Laboratory of the Plant Production Mechanization Department, Agricultural Research Center "Donskoy" (3 Nauchnyy Gorodok, Zernograd 347740, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8423-4079>, Researcher ID: E-9518-2016, Scopus ID: 57204682997, i.v.bozhko@mail.ru

Galina G. Parkhomenko, Leading Researcher of the Field Mechanization Laboratory of the Plant Production Mechanization Department, Agricultural Research Center "Donskoy" (3 Nauchnyy Gorodok, Zernograd 347740, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1944-216X>, Researcher ID: D-2633-2019, parkhomenko.galya@yandex.ru

Contribution of the authors:

V. I. Pakhomov – formulation of the solution concept.

S. I. Kambulov – scientific guidance, problem formulation, critical analysis and refinement of the solution.

I. V. Bozhko – determination of research methodology, collection and analysis of materials on the topic of the study, finalization of the text.

G. G. Parkhomenko – analysis of scientific sources on the topic of the study, critical analysis and refinement of the solution.

All authors have read and approved the final manuscript.



Энергонезависимая система отопления с улучшенной энергоэффективностью для сельскохозяйственных помещений

А. П. Левцев*, А. И. Лысяков

Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет (г. Саранск,
Российская Федерация)

* levtzevap@mail.ru

Аннотация

Введение. Статья посвящена повышению эффективности энергонезависимых систем теплоснабжения в сельском хозяйстве на основе использования теплоутилизатора с тепломеханическим преобразователем энергии. Наиболее перспективным является тепломеханический преобразователь энергии с термодинамическим циклом периодического действия для привода мембранного насоса. Для отопительных приборов и котлов использование пульсирующего режима движения теплоносителя дает двойной эффект: увеличивает теплопередачу и снижает образование отложений на теплопередающих поверхностях.

Материалы и методы. С использованием термодинамического метода, а также возможности импульсных технологий разработаны замкнутый цикл и устройство периодического действия, в котором последовательно реализуются три термодинамических процесса: изохорное нагревание и испарение рабочего вещества; адиабатическое совершение работы; изобарная конденсация. Построены термодинамические циклы для пяти известных рабочих веществ (R11; R21; R113; R114; R123) на $\lg P-h$ диаграммах термодинамического состояния и рассчитаны их параметры в характерных точках.

Результаты исследования. Выполнено частотное согласование тепломеханического преобразователя с гидравлическими параметрами теплоисточника и теплопотребляющей установки. Такое согласование проводилось на частотных характеристиках. Для описания гидродинамики системы теплоснабжения применялась система дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, которая решалась с использованием преобразования Лапласа. Установлена рациональная частота колебаний потока теплоносителя в пределах 1,38–2,76 рад/с.

Обсуждение и заключение. Предложена схема системы теплоснабжения с независимым присоединением теплопотребляющих установок к теплоисточнику. На примере теплоисточника мощностью 100 кВт получены графические зависимости минимальных давлений на теплоисточнике от изменения расхода теплоносителя и активного гидравлического сопротивления тепловой сети. Разработан алгоритм определения приращения мощности от использования теплоутилизатора с тепломеханическим преобразователем. Установлено, что эффективность от такого теплоутилизатора будет выше на котлах малой мощности.

Ключевые слова: энергонезависимая система теплоснабжения, сельскохозяйственные объекты, теплоутилизатор, тепломеханический преобразователь энергии, пульсирующий режим

© Левцев А. П., Лысяков А. И., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Левцев А. П., Лысяков А. И. Энергонезависимая система отопления с улучшенной энергоэффективностью для сельскохозяйственных помещений // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 110–125. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.110-125>

Original article

Energy-Independent Heating System with Improved Energy Efficiency for Agricultural Premises

A. P. Levtshev*, A. I. Lysyakov

*National Research Mordovia State University
(Saransk, Russian Federation)*

* levtzevap@mail.ru

Abstract

Introduction. The article is concerned with increasing the efficiency of energy-independent heat supply systems in agriculture through using a heat recovery unit with a thermomechanical energy converter. The most promising is a thermomechanical energy converter with a thermodynamic cycle of periodic action to drive a diaphragm pump. For heaters and boilers, the use of pulsating mode of the heat carrier has a double effect: it increases heat transfer and reduces the formation of deposits on the heat transfer surfaces.

Materials and Methods. Using the thermodynamic method and the possibilities of impulse technologies, a thermodynamic cycle and a device of periodic action were proposed. In this device, three thermodynamic processes are sequentially implemented: isochoric heating and evaporation of the working substance, adiabatic performance of work, and isobaric condensation. Thermodynamic cycles are constructed for five known working substances (R11; R21; R113; R114; R123) on lgP-h thermodynamic state diagrams and their parameters at characteristic points are calculated.

Results. There has been performed frequency matching of the thermal-mechanical converter with the hydraulic parameters of the heat source and heat-consuming unit. Such matching was based on the frequency responses. To describe the hydrodynamics of the heat supply system, a system of differential equations with constant coefficients was used, which was solved using the Laplace transformation. A rational frequency of oscillations of the heat carrier flow was determined within the range of 1.38–2.76 rad/s.

Discussion and Conclusion. A scheme of a heat supply system with the independent connection of the heat-consuming unit to a heat source is proposed. On the example of a heat source with a power of 100 kW, graphical dependences of the heat source minimum pressures on the change in the consumption of a heat carrier and the active hydraulic resistance of the heat network are obtained. An algorithm for determining the power increment from the use of a heat exchanger with a thermomechanical converter is proposed. It has been determined that the efficiency of the heat recovery unit will be higher for low-power boilers.

Keywords: energy-independent heat supply system, agricultural facilities, heat exchanger, thermomechanical energy converter, pulsating mode

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Levtshev A.P., Lysyakov A.I. Energy-Independent Heating System with Improved Energy Efficiency for Agricultural Premises. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2022; 32(1):110-125. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.110-125>

Введение

Энергонезависимые системы отопления широко используются в сельском хозяйстве для обогрева различных помещений из-за простоты в обслуживании, надежности и независимости от сетей электроснабжения. Такие системы в свиноводстве, например, по численности занимают более 60 % от всех систем отопления. С переходом на высокоинтенсивные технологии получения продукции свиноводства к таким системам предъявляются повышенные требования в части обеспечения температурного режима помещений, который, как показывает практика проведения энергетических обследований, часто не соблюдается. Согласно нормативным документам температура в свиноводческих помещениях должна поддерживаться на уровне 15–20 °С, отклонение как в меньшую, так и большую сторону приводит к потере продуктивности свиней и увеличению расхода корма [1–3].

К основным причинам, приводящим к нарушениям температурного режима в энергонезависимых системах теплоснабжения, можно отнести неточности проектных расчетов относительно радиуса сети отопления; несвоевременные промывки теплоиспользующего оборудования; некачественную режимную наладку котлоагрегатов и др. В результате указанных причин снижается отпуск тепловой энергии с отопительных приборов, и в итоге страдает потребитель. Кроме того, завышенный перепад температур возвращающегося теплоносителя к теплоисточнику ухудшает в нем теплопередачу, в результате чего повышается температура уходящих газов и падает КПД теплоисточника и потребитель несет дополнительные затраты на топливо.

Одним из методов повышения эффективности энергонезависимых систем теплоснабжения в сельском хозяй-

стве является включение в их тепловую схему теплообменников-теплоутилизаторов и циркуляционных насосов с приводом от различных нетрадиционных источников. Кардинальным решением данной проблемы является использование совместно с теплообменником-теплоутилизатором тепломеханических преобразователей, среди которых наиболее перспективными являются преобразователи с фазовым переходом, работающие по принципу круговых термодинамических циклов в пульсирующем режиме. Использование пульсирующих замкнутых термодинамических циклов не только расширяет возможности их использования, но и упрощает схемные решения для их реализации. Для отопительных приборов и котлов использование пульсирующего режима движения теплоносителя дает двойной эффект: увеличивает теплопередачу и снижает образование отложений на теплопередающих поверхностях [4; 5]. В связи с этим исследование, направленное на создание эффективной системы теплоснабжения на основе оснащения теплоутилизатора тепломеханическим преобразователем импульсного типа для привода мембранного насоса, является актуальным и практически значимым.

Обзор литературы

Анализ публикаций, касающихся наращивания объемов продукции животноводства, показывает, что одним из прогрессивных направлений снижения затрат является наиболее полная реализация генетического потенциала животных. В настоящее время такой потенциал используется только на 75–80 %. Основной причиной этого являются системы жизнеобеспечения (отопление, вентиляция), которые не обеспечивают эффективность в широком диапазоне изменения внешних погодных условий. Не оправдан и положительный опыт зарубежных

производителей отопительного и вентиляционного оборудования из-за существенного отличия климатических условий [1]. В связи с этим на российском рынке можно встретить более широкий ассортимент отопительного и вентиляционного оборудования, который требует грамотного технико-экономического обоснования.

Анализ энергетических балансов свиноводческих комплексов, расположенных в зонах с холодным и умеренным климатом, показывает, что 60–80 % тепла приходится на нужды отопления. Для повышения эффективности отопления помещений применяются различные системы рекуперации тепла, которые позволяют получить значительную экономию затрат на энергоресурсы [2; 3]. Однако стремление к экономии энергетических затрат не всегда обеспечивает поддержание требуемых пределов параметров микроклимата. При таком подходе отопительно-вентиляционные системы в первую очередь должны удовлетворять качественным показателям, а уже потом показателям энергоэффективности. В связи с этим на первом этапе интерес представляют разработки, направленные на интенсификацию теплопередачи теплообменного оборудования (отопительных приборов), которые не требуют больших затрат на модернизацию систем отопления. Значительным потенциалом повышения теплопередачи теплообменного оборудования обладают импульсные системы тепло- и водоснабжения, которые работают в режимах, приближающихся к гидравлическому удару. Такие системы показали увеличение теплопередачи до 30 % в системах горячего водоснабжения, однако в системах отопления положительного опыта пока не накоплено [4; 6; 7]. Поскольку для энергонезависимых систем отопления характерен ламинарный и частично переходный режим движения

теплоносителя, то для них больше подходят пульсации, использование которых в прямоугольных и круглых каналах может также увеличить интенсивность теплопередачи отопительных приборов.

Установлено, что для высокочастотных колебаний зависимости гидродинамических и тепловых величин от частоты имеют примерно одинаковый характер как для круглой трубы, так и для плоского и прямоугольного каналов [8; 9]. Поэтому пульсации теплоносителя можно применять для любых конструкций отопительных приборов. При более низких частотах (менее 1 Гц) хорошо зарекомендовали себя системы отопления общественных зданий с секционными радиаторами, в которых пульсирующий режим создается за счет двухконтурного мембранного насоса. Использование импульсного режима в таких системах при низких температурах теплоносителя (70 °С и ниже) повышает эффективность их теплопередачи на 40–80 % [10].

Что касается систем рекуперации тепла, то, как известно, их потенциал кроется в термодинамике процессов преобразования энергии, при этом ряд исследователей пользуются идеальными циклами. В одной из работ приведены примеры неудачного применения идеальных циклов и даны рекомендации для более корректного использования термодинамического метода [11]. Авторами предложен обобщающий идеальный цикл для тепловых двигателей (двигатели внутреннего сгорания и газотурбинные), базирующийся на реальных интервалах изменения давлений и температур. Такой цикл позволяет получить предельное значение термического КПД идеального цикла, но уже применительно к реальным условиям. Развитие термодинамического метода идет по пути совершенствования термодинамических циклов.

Значительных успехов достигли модели на базе цикла Стирлинга. Известны две модели двигателя с модифицированным циклом Стирлинга – Раллиса (RMSE) [12; 13]. Представленные авторами работ термодинамический анализ и результаты моделирования показали увеличение теплового КПД модели RMSE I на 38,06 %, а модели RMSE II на 48,42 %. Последнее свидетельствует о том, что потенциал идеальных циклов, с учетом реальных параметров и методов моделирования, получает более глубокое использование.

Применение различных эффектов (магнитных, гидродинамических и др.) может существенно повысить КПД термодинамических циклов, в том числе и цикла Карно [14–16]. Результаты моделирования тепловых двигателей с циклом Стирлинга при расширении внешних условий также дает прирост КПД в пределах 20 % [17–19]. Новые схемные решения, например насоса Стирлинга, тоже обладают потенциалом [20].

Из проведенного анализа видно, что тепловые двигатели, основанные на цикле Стирлинга, имеют потенциал увеличения КПД при существенном расширении температурных режимов. Для тепломеханических преобразователей теплоутилизаторов, работающих в интервале относительно невысоких

температур, целесообразнее модификации на основе цикла Карно.

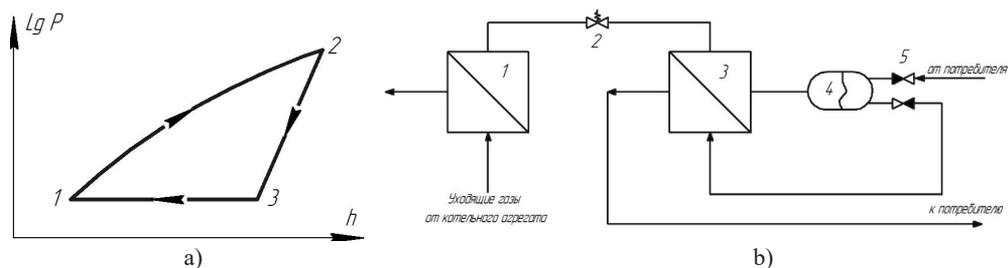
Материалы и методы

Использование термодинамического метода, а также возможности импульсных технологий позволяет предложить термодинамический цикл и устройство периодического действия, в котором последовательно реализуются три термодинамических процесса: изохорное нагревание и испарение рабочего вещества 1-2; адиабатическое совершение работы 2-3; изобарная конденсация 3-1 (рис. 1а).

В данном термодинамическом цикле отсутствуют изобарное кипение и испарение рабочего вещества. Подвод тепловой энергии в цикле осуществляется за счет нагревания рабочего вещества при постоянном объеме.

На основании предложенного термодинамического цикла была разработана принципиальная схема прототипа теплоутилизатора (рис. 1б).

Работа устройства осуществляется следующим образом: в испарителе 1 рабочее вещество кипит за счет тепла уходящих газов котла при постоянном объеме. Постоянный объем обеспечивается сбросным клапаном 2, который установлен на выходе из испарителя 1. При достижении определенного давления в испарителе 1 сбросной клапан 2 открывается и пар рабочего вещества направляется



Р и с. 1. Схемы: а) замкнутый термодинамический цикл периодического действия; б) принципиальная схема прототипа теплоутилизатора
 F i g. 1 Schemes: а) closed thermodynamic periodic cycle; б) schematic diagram of the heat exchanger prototype

через конденсатор 3 в мембранный насос 4. За счет этого мембранный насос 4 совершает работу по перекачке теплоносителя в системе теплоснабжения. При этом направление движения теплоносителя задается обратными клапанами 5. Далее давление во всех элементах выравнивается. Вследствие этого сбросной клапан 2 закрывается, а пар рабочего вещества в конденсаторе 3 за счет отдачи тепловой энергии теплоносителю конденсируется. Конденсация происходит при постоянном давлении. Это обеспечивается возвратом мембраны мембранного насоса 4 в исходное положение. В итоге сбросной клапан 2, конденсатор 3 и мембранный насос 4 полностью заполняются конденсатом рабочего вещества. Далее термодинамический цикл повторяется. Возврат конденсата в испаритель 1 осуществляется в момент закрытия сбросного клапана 2 за счет наличия специальных каналов на внутренней его части. При перемещении сбросного клапана конденсат остается в этих каналах и не уносится паром рабочего вещества, а после выравнивания давления во всех

элементах теплоутилизатора стекает в испаритель 1.

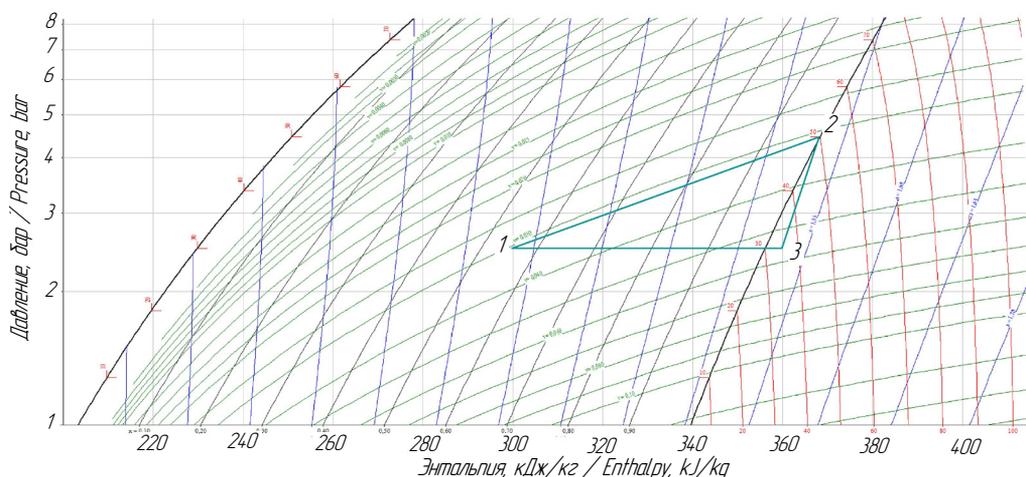
Конкретный термодинамический цикл удобно рассматривать на диаграммах lgP-h (давление-энтальпия). В качестве примера построен цикл на lgP-h (давление-энтальпия) диаграммах термодинамического состояния для фреона R114 (рис. 2).

Основные параметры термодинамического цикла периодического действия для пяти рабочих веществ (R11; R21; R113; R114; R123) определены в характерных точках. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, термодинамический цикл для различных рабочих веществ имеет близкие значения параметров. При этом R114 имеет наименьшие удельные нагрузки на испаритель и конденсатор, а следовательно, и наивысшее значение коэффициента трансформации.

Результаты исследования

Термодинамический цикл периодического действия предполагается широко использовать в тепломеханических преобразователях энергонезависимых систем теплоснабжения сельскохозяйственных



Р и с. 2. Термодинамический цикл для рабочего вещества R114

F i g. 2. Thermodynamic cycle for the working substance R114

Результаты расчета термодинамического цикла периодического действия

Calculation results of the thermodynamic cycle of periodic action

Величина / Value	R11	R21	R113	R114	R123
Удельная производительность испарителя, кДж/кг / Specific capacity of the evaporator, kJ/kg $q_{\text{исп}} = h_2 - h_1$	86	112	84	72	89
Удельная работа мембранного насоса, кДж/кг / Specific operation of the diaphragm pump, kJ/kg $l = h_2 - h_3$	11	15	10	11	11
Удельная нагрузка конденсатора, кДж/кг / Specific power condenser, kJ/kg $q_k = h_3 - h_1$	75	97	74	61	78
Коэффициент трансформации / Transformation coefficient $\xi = \frac{l}{q_{\text{исп}}}$	0,127907	0,13393	0,11905	0,152778	0,123596
Расход рабочего вещества, кг/с / Consumption of the working substance, kg/s $G = \frac{L}{l}$	0,013636	0,01	0,015	0,013636	0,013636
Объемная производительность мембранного насоса, м ³ /с / Volumetric capacity of the diaphragm pump, m ³ /s $V = \vartheta_3 G$	0,001909	0,0011	0,0039	0,000791	0,001909

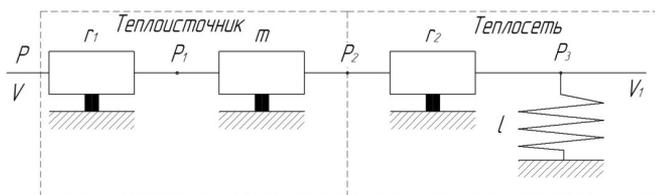
объектов [21]. Поскольку тепломеханический преобразователь периодического действия обеспечивает гидравлический режим системы теплоснабжения, то необходимо было выполнить его частотное согласование с гидравлическими параметрами теплоисточника и теплопотребляющей установки. Такое согласование удобно проводить на частотных характеристиках. Для описания гидродинамики системы теплоснабжения использовалась система дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, которая решалась с применением преобразования Лапласа.

Для получения дифференциальных уравнений гидравлического контура теплоисточника и теплопотребляющей

установки (тепловой сети) использовали энергетическую цепь (рис. 3), включающую в себя два звена: первое звено гидравлическое (учитывает потери в теплоисточнике с помощью активного сопротивления r_1 и массу теплоносителя m); второе звено гидравлическое (учитывает потери на трение в теплосети с помощью активного сопротивления r_2 и демпфирующие свойства теплосети с мембранным насосом податливостью l).

Уравнения звеньев цепи

$$\begin{cases} P = r_1 V + m \dot{V} + r_2 \dot{V} + p_3, \\ V = l \dot{p}_3 + V_1. \end{cases} \quad (1)$$



Р и с. 3. Энергетическая цепь гидравлического контура теплоисточника и теплосети
F i g. 3. The power circuit of the hydraulic circuit of the heat source and the heating network

Вход и выход цепи («черный ящик») изображены на рисунке 4:



Р и с. 4. Вход и выход энергетической цепи гидравлического контура теплоисточника и теплосети

F i g. 4. Input and output of the power circuit of the hydraulic circuit of the heat source and heating network

Тогда комплексное сопротивление цепи

$$Z(s) = \frac{P_3(s)}{V_1(s)}$$

В соответствии с входом и выходом цепи в первом уравнении (1) произведем замену V на V_1 :

$$\begin{aligned} p &= r_1 \dot{p}_3 + r_1 V_1 + m l \ddot{p}_3 + m \dot{V}_1 + \\ &+ r_2 l \dot{p}_3 + r_2 V_1 + p_3 = \\ &= m l \ddot{p}_3 + (r_1 l + r_2 l) \dot{p}_3 + p_3 + \\ &+ m \dot{V}_1 + (r_1 + r_2) V_1. \end{aligned} \quad (2)$$

Далее для упрощения уравнения (2) введем коэффициенты

$$a_1 = m l, \quad a_2 = r_1 l, \quad b_1 = m, \quad b_2 = r_1 + r_2.$$

Уравнение (2), с учетом введенных коэффициентов, запишем в виде

$$p = a_1 \ddot{p}_3 + a_2 \dot{p}_3 + p_3 + b_1 \dot{V}_1 + b_2 V_1.$$

Далее переходим к уравнению на изображениях с использованием преобразования Лапласа. Здесь s комплексная переменная, $s = \alpha + \beta j$:

$$\begin{aligned} (a_1 s^2 + a_2 s + 1) p_3(s) &= \\ &= -(b_1 s + b_2) V_1(s). \end{aligned} \quad (3)$$

Комплексное сопротивление цепи

$$Z(s) = \frac{P_3(s)}{V_1(s)} = \frac{-b_1 s - b_2}{a_1 s^2 + a_2 s + 1}. \quad (4)$$

Частотную функцию цепи получаем при замене s на $j\Omega$:

$$\begin{aligned} Z(j\Omega) &= \frac{-b_1 j\Omega - b_2}{-a_1 \Omega^2 + a_2 j\Omega + 1} = \\ &= \frac{[-b_1 j\Omega - b_2] [(1 - a_1 \Omega^2) + a_2 j\Omega]}{[(1 - a_1 \Omega^2) + a_2 j\Omega] [(1 - a_1 \Omega^2) - a_2 j\Omega]} = \\ &= \frac{-b_1 j\Omega + b_1 a_1 j\Omega^3 + b_1 a_2 j\Omega^2 - b_2 + b_2 a_1 j\Omega^2 - b_2 a_2 j\Omega}{(1 - a_1 \Omega^2)^2 + a_2^2 \Omega^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Действительная часть частотной функции

$$\operatorname{Re}(j\Omega) = \frac{b_1 a_1 j\Omega^3 - (b_2 a_2 + b_1) \Omega}{(1 - a_1 \Omega^2)^2 + a_2^2 \Omega^2}. \quad (6)$$

Мнимая часть частотной функции

$$\text{Im}(j\Omega) = \frac{b_1 a_1 \Omega^3 - (b_2 a_2 + b_1) \Omega}{(1 - a_1 \Omega^2)^2 + a_2^2 \Omega^2} - j. \quad (7)$$

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) цепи

$$A(j\Omega) = \sqrt{\text{Re}(j\Omega)^2 + \text{Im}(j\Omega)^2}. \quad (8)$$

Исходные данные для построения АЧХ приведены в таблице 2.

На основе исходных данных (табл. 2) на рисунке 5 в табличном редакторе Excel построен график АЧХ.

Из графика АЧХ (рис. 5) следует, что с увеличением частоты колебаний потока теплоносителя амплитуда комплексного гидравлического сопротивления, а следовательно, и давления в конце цепи (у последнего потребителя) резко снижается, поэтому для обеспечения гидравлического режима частота колебаний потока теплоносителя должна быть в пределах 1,38–2,76 рад/с (0,22–0,44 Гц).

Теоретические предпосылки, полученные выше, открывают широкие возможности для создания энергонезависимых систем теплоснабжения

сельскохозяйственных объектов, а также для разработки гидравлических режимов. При этом схемные решения могут быть как с зависимым присоединением теплопотребляющих установок к теплоисточнику, так и с независимым. Наибольший практический интерес представляет схема с независимым присоединением теплопотребляющих установок к теплоисточнику (рис. 6). Энергонезависимая система теплоснабжения с пульсирующей циркуляцией теплоносителя содержит котел, потребителя, испаритель 1 и конденсатор 3, соединенные между собой через сбросной клапан 2. Циркуляция осуществляется мембранным насосом 4.

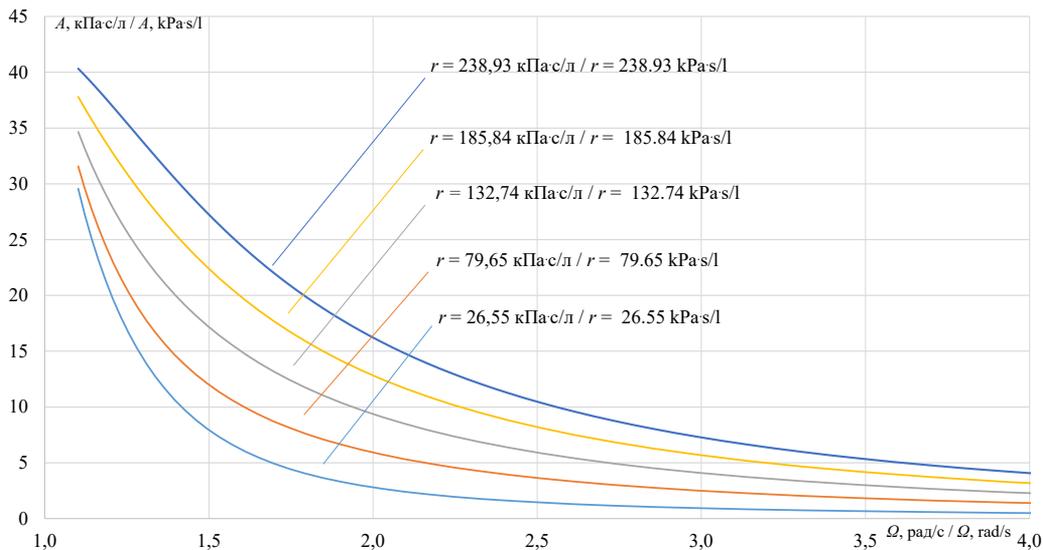
Энергонезависимая система теплоснабжения с пульсирующей циркуляцией теплоносителя работает следующим образом. Нагрев охлажденного теплоносителя осуществляют в котле и испарителе 1 в процессе утилизации тепла уходящих газов. При утилизации тепла уходящих газов в испарителе 1 испаряют рабочее вещество до определенного давления, образовавшийся при этом пар подают периодически через сбросной клапан 2 в конденсатор 3, расширяют пар в нем. При этом перекачивается вода в гидравлически связанном с конденсатором 3 мембранном насосе 4.

Т а б л и ц а 2

T a b l e 2

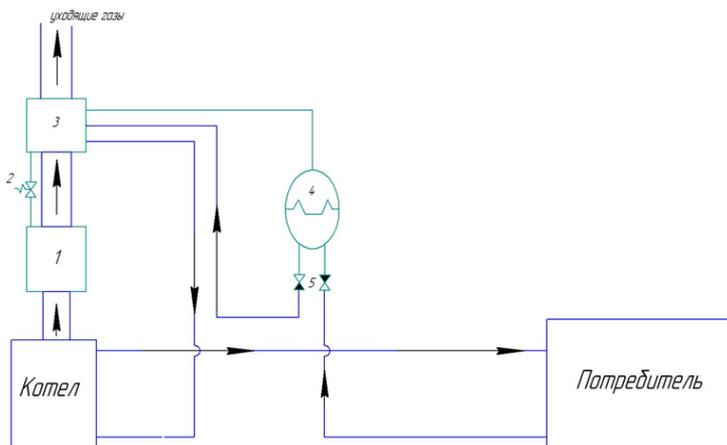
Исходные данные для построения АЧХ цепи
Initial data for constructing the amplitude-frequency response of the circuit

Величина / Value	Значение / Meaning
P – давление на входе в системы теплоснабжения, кПа / P – pressure at the entrance to the heat supply systems, kPa	300
V – объемный расход, л/с / V – volumetric flow, l/s	1,13
m – масса прокачиваемого хладоносителя, кг / m – mass of the pumped coolant, kg	300
r_1 – сопротивление котла, кПа·с/л / r_1 – the resistance of the boiler, kPa·s/l	2,65
r_2 – сопротивление системы теплоснабжения, кПа·с/л / r_2 – Resistance to the heat supply system, kPa·s/l	13,27
l – податливость системы, л/с·кПа / l – elasticity of the system, l/s·kPa	0,025



Р и с. 5. АЧХ гидравлического контура теплоисточника и теплопотребляющей установки (тепловой сети), кПа·с/л

F i g. 5. Amplitude-frequency characteristic of the hydraulic circuit of the heat source and the heat-consuming unit (heat network), kPa·s/l



Р и с. 6. Принципиальная схема энергонезависимой системы теплоснабжения с пульсирующей циркуляцией теплоносителя

F i g. 6. Schematic diagram of a energy independent heat supply system with pulsating heat carrier circulation

Конденсируют пар в конденсаторе 3, отдавая тепло обратной сетевой воде, и возвращают конденсат рабочего вещества в испаритель 1 за счет гидростатических сил, действующих в период

закрытия сбросного клапана 2 на конденсат рабочего вещества.

Из приведенной схемы теплоснабжения следует, что горячая вода будет нагнетаться в систему порциями,

которые будут определяться объемом бака мембранного насоса. На АЧХ (рис. 5) было получено входное сопротивление цепи со стороны обратного трубопровода, которое представляет зависимость изменения давления к расходу при различных значениях активных гидравлических сопротивлений:

$$A = \frac{P}{v} \quad (9)$$

Поскольку АЧХ зависит только от параметров динамической системы и частоты, то на ее основе можно получить динамическую характеристику изменения давления от частоты при фиксированном объеме мембранного бака в соответствии с выражением

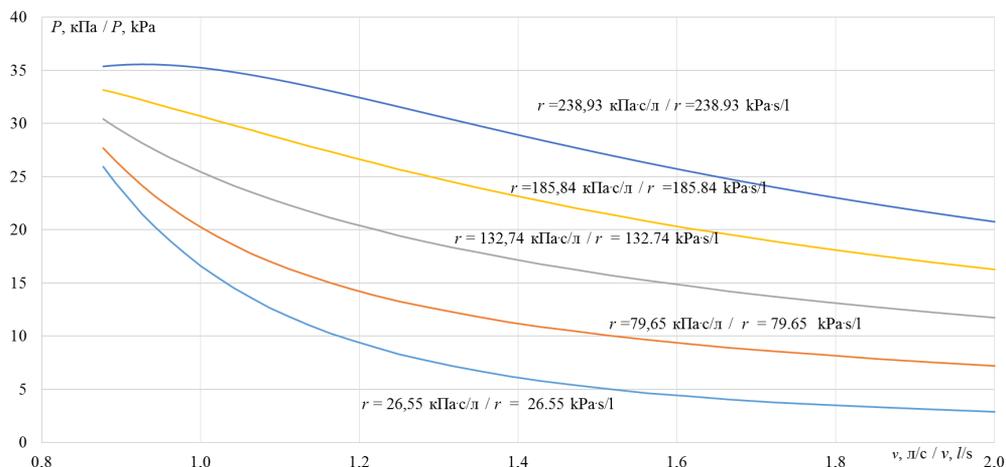
$$p = AV_6 f = AV_6 \frac{\Omega}{2\pi} \quad (10)$$

где V_6 – объем бака мембранного насоса, м³; f – циклическая частота пульсации теплоносителя, Гц.

На рисунке 7 приведены зависимости $p = f(v)$ при фиксированном объеме мембранного насоса $V_6 = 5$ л для пяти гидравлических активных сопротивлений тепловой сети.

Из приведенного графика видно, что с увеличением гидравлического сопротивления тепловой сети располагаемое давление мембранного насоса на теплоисточнике должно быть выше. С увеличением расхода теплоносителя (с ростом частоты пульсаций) происходит снижение давления из-за эффекта демпфирования колебаний самой динамической системы. Данный график позволяет определить, каким должно быть минимальное давление на теплоисточнике в зависимости от изменения расхода теплоносителя и активного гидравлического сопротивления тепловой сети.

Поскольку схема (рис. 6) должна в первую очередь обеспечивать периодическую циркуляцию теплоносителя, то и ее общая эффективность (тепловая и механическая) будет исходить из нагрузки тепломеханического преобразователя.



Р и с. 7. График $p = f(v)$ при фиксированном объеме мембранного насоса $V_6 = 5$ л для пяти гидравлических активных сопротивлений тепловой сети

F i g. 7. Graph $p = f(v)$ with a fixed volume of the membrane tank $V_6 = 5$ l for five hydraulic resistances of the heat network

Исходя из этих соображений, ниже приведен алгоритм расчета приращения мощности для энергонезависимой системы теплоснабжения с пульсирующей циркуляцией теплоносителя, оборудованного теплоутилизатором с тепломеханическим преобразователем.

Исходным пунктом является определение расхода теплоносителя, м³/с:

$$v = V_6 f. \quad (11)$$

Далее находится работа, совершаемая в замкнутом термодинамическом цикле периодического действия, Вт:

$$L = \Delta p v, \quad (12)$$

где Δp – располагаемое давление мембранного насоса, Па (рис. 7).

Далее из термодинамического цикла для конкретного рабочего вещества (рис.1) находим удельную работу сжатия мембранного насоса и рассчитываем расход теплоносителя, кг/с:

$$G = \frac{L}{l}. \quad (13)$$

В итоге находится приращение мощности котла, оборудованного теплоутилизатором с тепломеханическим преобразователем, Вт:

$$\Delta Q = q_{\text{исп}} G. \quad (14)$$

Используя выражения (11)–(14), для котла с $\Delta p = 230$ кПа и $V_6 = 5$ л приращение мощности составляет $\Delta Q = 2,258$ кВт. Таким образом, использование теплоутилизатора с тепломеханическим преобразователем на котле мощностью 20 кВт повысит его эффективность на 11,29 %, а на котле мощностью 60 кВт эффективность будет в 3 раза меньше.

Обсуждение и заключение

Таким образом, эффективность энергонезависимой системы теплоснабжения с пульсирующей циркуляцией теплоносителя будет определяться гидравлической нагрузкой тепломеханического преобразователя. При этом расход теплоносителя будет зависеть от объема бака и частоты периодичности работы термодинамического цикла (частоты пульсаций теплоносителя). В связи с этим эффективнее применять теплоутилизатор с тепломеханическим преобразователем на маломощных котлах. Поэтому в тепловой схеме энергонезависимого источника будет рациональным в составе котлов использовать котел малой мощности, оборудованный теплоутилизатором с тепломеханическим преобразователем.

Подводя итог проведенного исследования, стоит отметить следующее:

1. Используя термодинамический метод, а также возможности импульсных технологий, нам удалось теоретически обосновать новый термодинамический цикл, в котором последовательно реализуются три термодинамических процесса: изохорное нагревание и испарение рабочего вещества; адиабатическое совершение работы; изобарная конденсация. Построены термодинамические циклы для пяти известных рабочих веществ (R11; R21; R113; R114; R123) на lgP-h диаграммах термодинамического состояния и рассчитаны их параметры в характерных точках. Такой термодинамический цикл существенно упрощает схемные решения для его осуществления. Предложено достаточно простое схемное решение тепломеханического преобразователя.

2. Выполнено частотное согласование тепломеханического преобразователя с гидравлическими параметрами теплоисточника и теплопотребляющими установками. Такое согласование проводилось на частотных характеристиках.

Для описания гидродинамики системы теплоснабжения использовалась система дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, которая решалась с применением преобразования Лапласа. Установлена рациональная частота колебаний потока теплоносителя в пределах 1,38–2,76 рад/с.

3. Предложена схема системы теплоснабжения с независимым присоединением теплопотребляющих установок к теплоисточнику. На примере теплоисточника мощностью 100 кВт получены графические зависимости минимальных давлений на теплоисточнике от изменения расхода теплоносителя и активного гидравлического сопротивления тепловой сети.

4. Разработан алгоритм расчета приращения мощности для энергоне-

зависимой системы теплоснабжения с пульсирующей циркуляцией теплоносителя, оборудованного теплоутилизатором с тепломеханическим преобразователем. Приращение мощности в такой системе определяется расходом теплоносителя, который зависит от объема бака мембранного насоса и частоты периодичности работы термодинамического цикла (частоты пульсаций теплоносителя). В связи с этим эффективнее применять теплоутилизатор с тепломеханическим преобразователем на маломощных котлах. Поэтому в тепловой схеме энергонезависимого источника будет рациональным в составе котлов использовать котел малой мощности, оборудованный теплоутилизатором с тепломеханическим преобразователем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технологии проектирования и строительства свиноводческих комплексов в различных климатических условиях / И. Ю. Игнаткин [и др.] // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 4. С. 237–245. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25379996> (дата обращения: 10.01.2022).
2. Архипцев А. В., Игнаткин И. Ю., Курячий М. Г. Эффективная система вентиляции // Вестник НГИЭИ. 2013. № 8. С. 10–15.
3. Ильин И. В., Игнаткин И. Ю., Курячий М. Г. Опыт проектирования систем отопления и вентиляции на свиноводческих фермах и комплексах // Эффективное животноводство. 2011. № 6. С. 30–31. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26661381> (дата обращения: 10.01.2022).
4. Makeev A. N. Theory of Pulse Circulation of the Heater in the Heat Supply System with Independent Subscription of Subscribers // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2018. Issue 4. P. 15–25. URL: <http://vestnikvgasu.wmsite.ru/ftpgetfile.php?id=679> (дата обращения: 10.01.2022).
5. Embaye M., AL-Dadah R. K., Mahmoud S. Thermal Performance of Hydronic Radiator with Flow Pulsation – Numerical Investigation // Applied Thermal Engineering. 2015. Vol. 80. P. 109–117. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.12.056>
6. Путан А. А., Андреев О. П. Установка утилизации тепла с системой оттаивания // Международный технико-экономический журнал. 2020. № 2. С. 76–85. doi: <https://doi.org/10.34286/1995-4646-2020-71-2-76-85>
7. Levitsev A. P., Makeev A. N., Kudashev S. F. Pulsating Heat Transfer Enhancement in the Liquid Cooling System of Power Semiconductor Converter [Электронный ресурс] // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9. Issue 11. doi: <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i11/89420>
8. Валуева Е. П., Пурдин М. С. Гидродинамика и теплообмен пульсирующего ламинарного потока в каналах // Теплоэнергетика. 2015. № 9. С. 24. doi: <https://doi.org/10.1134/S0040363615090118>
9. Валуева Е. П., Пурдин М. С. Пульсирующее ламинарное течение в прямоугольном канале // Теплофизика и аэромеханика. 2015. Т. 22, № 6. С. 761–773. URL: https://www.sibran.ru/journals/issue.php?ID=166157&ARTICLE_ID=166166 (дата обращения: 10.01.2022).

10. Levsev A. P., Lapin E. S., Zhang Q. Increasing the Heat Transfer Efficiency of Sectional Radiators in Building Heating Systems // Magazine of Civil Engineering. 2019. Issue 8. P. 63–75. doi: <https://doi.org/10.18720/MCE.92.5>
11. Ерофеев В. Л., Жуков В. А., Пряхин А. С. Неточность термодинамических определений и терминов – путь к вечному двигателю второго рода // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2016. № 6. С. 140–149. doi: <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2016-8-6-140-149>
12. Liquid Air Fueled Open-Closed Cycle Stirling Engine / W. Xu [et al.] // Energy Conversion and Management. 2015. Vol. 94. P. 210–220. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.075>
13. Ranjan R. K., Verma S. K. Thermodynamic Analysis and Analytical Simulation of the Rallis Modified Stirling Cycle // Archives of Thermodynamics. 2019. Vol. 40, Issue 2. P. 35–67. doi: <https://doi.org/10.24425/ather.2019.129541>
14. Thermodynamic Parameters of a Magnetic Refrigerator with a Carnot Cycle / A. V. Mashirov [et al.] // Proceedings of 8th International Conference on Caloric Cooling (Thermag VIII) (16–20 September). Darmstadt, 2018. P. 90–95. doi: <https://doi.org/10.18462/iir.thermag.2018.0014>
15. Holubec V., Ryabov A. Work and Power Fluctuations in a Critical Heat Engine [Электронный ресурс] // Physical Review E. 2017. Vol. 96, Issue 3. doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.96.030102>
16. Steyert W. A. Stirling-Cycle Rotating Magnetic Refrigerators and Heat Engines for Use Near Room Temperature // Journal of Applied Physics. 1978. Vol. 49, Issue 3. P. 1216–1226. doi: <https://doi.org/10.1063/1.325009>
17. Thermodynamic Analysis and Optimization of a Stirling Cycle for Lunar Surface Nuclear Power System / S. Fan [et al.] // Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 111. P. 60–67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.08.053>
18. Yin Y., Chen L., Wu F. Performance Analysis and Optimization for Generalized Quantum Stirling Refrigeration Cycle with Working Substance of a Particle Confined in a General 1D Potential // Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. 2018. Vol. 97. P. 57–63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physe.2017.10.014>
19. Гапоненко А. М., Каграманова А. А. Математическое моделирование работы двигателя Стирлинга // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2016. № 4. С. 29–35. doi: <https://doi.org/10.17213/0321-2653-2016-4-29-35>
20. Slavin V. S., Bakos G. C., Finnikov K. A. Conversion of Thermal Energy into Electricity Via a Water Pump Operating in Stirling Engine Cycle // Applied Energy. 2009. Vol. 86. Issues 7–8. P. 1162–1169. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.10.018>
21. Ерофеев В. Л., Ганин Н. Б., Пряхин А. С. Пределы повышения энергетической эффективности топливоиспользования поршневого ДВС // Двигателестроение. 2015. № 2. С. 33–38. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23710747> (дата обращения: 10.01.2022).

Поступила 17.01.2022; одобрена после рецензирования 10.02.2022; принята к публикации 21.02.2022

Об авторах:

Левцев Алексей Павлович, заведующий кафедрой теплоэнергетических систем Института механики и энергетики Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), доктор технических наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2429-6777>, Researcher ID: B-8620-2019, levtzevar@mail.ru

Лысяков Анатолий Иванович, старший преподаватель кафедры теплоэнергетических систем Института механики и энергетики Национального исследовательского Мордовского государственного университета (430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Большевикская, д. 68), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4436-4995>, lysyakov_lai@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

А. П. Левцев – написание модели в виде энергетической цепи, анализ и доработка текста.

А. И. Лысяков – подготовка текста с последующей доработкой, анализ литературных данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Ignatkin I.Yu., Kuryachiy M., Bondarev A., Putan A. Design and Construction Technologies of Pig Farms in Different Climatic Conditions. *Innovatsii v selskom khozyaystve = Innovations in Agriculture*. 2015; (4):237-245. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25379996> (accessed 10.01.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
2. Arkhitektsev A.V., Ignatkin I.Yu., Kuryachiy M.G. [Efficient Ventilation System]. *Vestnik NGIEI = Bulletin NGIEI*. 2013; (8):10-15. (In Russ.)
3. Ilin I.V., Ignatkin I.Yu., Kuryachiy M.G. [Experience in Designing Heating and Ventilation Systems in Pig Farms and Complexes]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo = Efficient Livestock Breeding*. 2011; (6):30-31. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26661381> (accessed 10.01.2022). (In Russ.)
4. Makeev A.N. Theory of Pulse Circulation of the Heater in the Heat Supply System with Independent Subscription of Subscribers. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2018; (4):15-25. Available at: <http://vestnikvgasu.wmsite.ru/ftpgetfile.php?id=679> (accessed 10.01.2022). (In Eng.)
5. Embaye M., AL-Dadah R.K., Mahmoud S. Thermal Performance of Hydronic Radiator with Flow Pulsation – Numerical Investigation. *Applied Thermal Engineering*. 2015; 80:109-117. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.12.056>
6. Putan A.A., Andreev O.P. Launchers of Heat Disposal with Defrosting System. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal = The International Technical-Economic Journal* 2020; (2):76-85. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.34286/1995-4646-2020-71-2-76-85>
7. Levstev A.P., Makeev A.N., Kudashev S.F. Pulsating Heat Transfer Enhancement in the Liquid Cooling System of Power Semiconductor Converter. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016; 9(11). (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i11/89420>
8. Valueva E.P., Purdin M.S. Hydrodynamics and Heat Transfer for Pulsating Laminar Flow in Channels. *Teploenergetika = Thermal Engineering*. 2015; (9):24. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.1134/S0040363615090118>
9. Valueva Ye.P., Purdin M.S. [Pulsating Laminar Flow in a Rectangular Channel]. *Teplofizika i aeromekhanika = Thermophysics and Aeromechanics*. 2015; 22(6):761-773. Available at: https://www.sibran.ru/journals/issue.php?ID=166157&ARTICLE_ID=166166 (accessed 10.01.2022). (In Russ.)
10. Levstev A.P., Lapin E.S., Zhang Q. Increasing the Heat Transfer Efficiency of Sectional Radiators in Building Heating Systems. *Magazine of Civil Engineering*. 2019; (8):63-75. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.18720/MCE.92.5>
11. Yerofeev V.L., Zhukov V.A., Pryakhin A.S. Inexactitude of Thermodynamical Definitions and Terms Is a Way to the Perpetual Engine of the Second Kind. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova = Bulletin of Admiral Makarov State Maritime and River Fleet University*. 2016; (6):140-149. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2016-8-6-140-149>
12. Xu W., Jia W., Maolin C., Yan Sh. Liquid Air Fueled Open-Closed Cycle Stirling Engine. *Energy Conversion and Management*. 2015; 94:210-220. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.075>
13. Ranjan R.K., Verma S.K. Thermodynamic Analysis and Analytical Simulation of the Rallis Modified Stirling Cycle. *Archives of Thermodynamics*. 2019; 40(2):35-67. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.24425/ather.2019.129541>

14. Mashirov A.V., Koledov V.V., Kamantsev A.P., et al. Thermodynamic Parameters of a Magnetic Refrigerator with a Carnot Cycle. In: Proceedings of 8th International Conference on Caloric Cooling (Thermag VIII) (16-20 September). Darmstadt; 2018. p. 90-95. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.18462/iir.thermag.2018.0014>
15. Holubec V., Ryabov A. Work and Power Fluctuations in a Critical Heat Engine. *Physical Review E*. 2017; 96(3). (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.96.030102>
16. Steyert W.A. Stirling-Cycle Rotating Magnetic Refrigerators and Heat Engines for Use Near Room Temperature. *Journal of Applied Physics*. 1978; 49(3):1216-1226. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1063/1.325009>
17. Fan S., Li M., Li S., et al. Thermodynamic Analysis and Optimization of a Stirling Cycle for Lunar Surface Nuclear Power System. *Applied Thermal Engineering*. 2017; 111:60-67. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.08.053>
18. Yin Y., Chen L., Wu F. Performance Analysis and Optimization for Generalized Quantum Stirling Refrigeration Cycle with Working Substance of a Particle Confined in a General 1D Potential. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*. 2018; 97:57-63. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.physe.2017.10.014>
19. Gaponenko A.M., Kagramanova A.A. Mathematical Modeling of the Stirling Engine. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki* = Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences. 2016; (4):29-35. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.17213/0321-2653-2016-4-29-35>
20. Slavin V.S., Bakos G.C., Finnikov K.A. Conversion of Thermal Energy into Electricity Via a Water Pump Operating in Stirling Engine Cycle. *Applied Energy*. 2009; 86(7-8):1162-1169. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.10.018>
21. Yerofeyev V.L., Ganin N.B., Pryakhin A.S. Fuel Efficiency Enhancement Resources. *Dvigatelstroenie* = Engine Building. 2015; (2):33-38. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23710747> (accessed 10.01.2022). (In Russ., abstract in Eng.)

Submitted 17.01.2022; approved after reviewing 10.02.2022; accepted for publication 21.02.2022

About the authors:

Alexey P. Levitsev, Head of the Chair of Heat and Power Systems of Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2429-6777>, Researcher ID: B-8620-2019, levtzevap@mail.ru

Anatoly I. Lysyakov, Senior Lecturer of the Chair of Heat and Power Systems of Institute of Mechanics and Power Engineering, National Research Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St., Saransk 430005, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4436-4995>, lysyakov_lai@mail.ru

Contribution of the authors:

- A. P. Levitsev – writing a model in the form of energy chain, analysis and revision of the text.
- A. I. Lysyakov – preparation of the text with subsequent revision, analysis of literary data.

All authors have read and approved the final manuscript.



Вероятностная модель кинематики устройства для уменьшения растянутости стеблей льна-долгунца в ленте

А. Н. Зинцов¹, М. М. Ковалев^{2*}, Г. А. Перов²

¹ Костромская ГСХА (пос. Каравеево, Российская Федерация)

² Федеральный научный центр лубяных культур
(г. Тверь, Российская Федерация)

* info@fncl.ru

Аннотация

Введение. Основная причина кризисного состояния льноводства – потери волокнистой части при ее выделении из урожая. Это происходит из-за избыточной растянутости стеблей в слое. Установлено, что уменьшать растянутость наиболее удобно в поле при оборачивании лент стеблей путем нанесения ударов по комлевой части слоя в направлении осей стеблей. В статье предложено использовать для этой цели подборщик-оборачиватель с наклонным комлеподбивателем конвейерного типа. Цель исследования – повышение эффективности процесса выравнивания лент льна путем комлеподбивания стеблей при их оборачивании.

Материалы и методы. Отмечено, что максимальный эффект обеспечит встречный удар в направлении осей стеблей. Для этого скорость движения комлеподбивающей поверхности относительно слоя тресты в поперечном к осям стеблей направлении должна иметь постоянное нулевое значение. Указанный режим может быть реализован конвейером с роликовыми активаторами. Отмечен случайный характер условий работы машинных агрегатов в поле, что является дополнительной помехой для обработки лент стеблей предложенным способом. Поэтому при проектировании комлеподбивателей рекомендовано использовать вероятностный и графоаналитический методы расчета.

Результаты исследования. С помощью графоаналитического метода получена вероятностная модель, связывающая кинематику предложенного устройства с вероятностью нанесения встречных ударов по комлям стеблей. При этом установлено, что двухроликовые активаторы в совокупности с наклоном комлеподбивающей поверхности обеспечат ярко выраженные ударные воздействия, увеличат скорость и вероятность их нанесения. Экспериментальным путем обоснованы параметры и режимы работы наклонного комлеподбивателя конвейерного типа.

Обсуждение и заключение. Применение предложенного способа, с учетом полученных результатов, позволит уменьшить растянутость стеблей льна в лентах на 5,6 % за одно оборачивание и выход длинного волокна на 2,5–3,0 %.

Ключевые слова: длинное волокно, лен, растянутость, вероятность, подборщик-оборачиватель, слой стеблей, удар, комлеподбивающая поверхность, конвейер, активатор

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Зинцов А. Н., Ковалев М. М., Перов Г. А., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Зинцов А. Н., Ковалев М. М., Перов Г. А. Вероятностная модель кинематики устройства для уменьшения растянутости стеблей льна-долгунца в ленте // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 126–144. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.126-144>

Original article

Probabilistic Model of the Kinematics of the Device for Reducing Elongation of Flax Fiber Stems in the Tape

A. N. Zintsov^a, M. M. Kovalev^{b*}, G. A. Perov^b

^a Kostroma State Agricultural Academy (Karavaevo, Russian Federation)

^b Federal Scientific Center for Bast Crops (Tver, Russian Federation)

* info@fncl.ru

Abstract

Introduction. The main reason for the crisis state of flax growing is the losses of the flax fiber portions when it is extracted from the crop. This is due to excessive elongation of the stems in the layer. It was found that the most convenient way to reduce elongation in the field conditions when turning over flax strips by striking the butt portions in the direction of the stems. The authors propose to use for this purpose a pickup flax turner with a conveyor-type inclined flax butting machine. The purpose of the research is to increase the efficiency of flax tapes leveling process by butting flax stems.

Materials and Methods. It is noted that the maximum effect will be provided by a counter-impact in the direction of the flax stems. For this purpose, the speed of motion of the butting surface relative to the retted straw transversely to the flax stems should have a constant zero value. The specified mode can be realized by a conveyor with roller activators. In the article, the random nature of the working conditions of machine units in the field was noted that is an additional obstacle for processing the flax tapes by the suggested method. Therefore, it is recommended to use probabilistic and graph-analytical methods of calculation when designing flax butting machines.

Results. Using the graph-analytical method, a probabilistic model linking the kinematics of the proposed device with the probability of causing counter-strikes on the flax butts was obtained. It was found that two-roller activators in combination with inclination of butting surface will provide pronounced impacts, increase speed and probability of their application. Parameters and operating modes of inclined conveyor-type butting machine were substantiated experimentally.

Discussion and Conclusion. Application of the proposed method, taking into account the results obtained, will reduce the elongation of flax stems in strips by 5.6% for one turning over and the yield of long fiber by 2.5–3.0%.

Keywords: long fiber, flax, elongation, probability, picker-turner, flax layer, impact, butting surface, conveyor, activator

Funding: This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the State Assignment for the Federal Scientific Center for Bast Crops (No. FGSS-2022-0005).

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Zintsov A.N., Kovalev M.M., Perov G.A. Probabilistic Model of the Kinematics of the Device for Reducing Elongation of Flax Fiber Stems in the Tape. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2022; 32(1):126-144. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.126-144>

Введение

Длинное волокно всегда было главным источником прибыли льноводства в стране. Лен являлся крупнейшим экспортным товаром и основой экономической жизни в России в конце XIX и в XX вв. До середины 30–40-х гг. Россия была крупнейшим экспортером льна-долгунца и производила около 80 % мирового урожая [1]. Однако в настоящее время отрасль испытывает глубокий кризис, который привел к значительному сокращению посевных площадей льна-долгунца в севооборотах сельхозпроизводителей России [2; 3]. Наблюдаются чрезмерно большие потери волокнистой части при переработке тресты на льнозаводах. В самом лучшем случае выход наиболее ценного длинного волокна составляет 10 % от массы тресты при том, что в растениях его содержится 30 % и более [4]. Такое соотношение означает, что только одна треть часть от возможного урожая используется для получения прибыли. Чаще всего отмеченные результаты становятся следствием избыточной растянутости стеблей в ленте (слое) [4; 5].

Растянутость – это продольное смещение стеблей льна друг относительно друга в их слое, сформированном при выполнении уборочных операций. Это явление считается негативным и возникает в результате целого ряда производственных факторов: использование для посева семян низких репродукций, плохое качество предпосевной обработки поля, особенности механических воздействий на стеблестой теребивильных секций и других рабочих органов льноуборочных машин [6–8].

Обязательные технологические операции по приготовлению и уборке льнотресты многократно и неизбежно увеличивают указанный параметр¹ [9; 10]. При значительном продольном сдвиге некоторые стебли оказываются за пределами зоны действия зажимных транспортеров трепальных секций и легко выдергиваются из слоя трепальными барабанами в отходы. Поэтому для максимального выделения волокнистой части из стеблей необходимо уменьшать их растянутость в ленте² [4; 11].

Растянутость устраняют путем нанесения ударов по комлевой части слоя в направлении осей стеблей. Анализ известных способов и конструкций для реализации комлеподбивания показал, что указанную операцию можно выполнить в стационарных условиях льнозавода или в мобильных средствах механизации полевых уборочных процессов³ [11]. Однако возможность эффективного комлеподбивания ограничена состоянием слоя стеблей на различных этапах уборки и первичной переработки. Наиболее благоприятным для комлеподбивания является такое состояние, при котором стебли в слое расположены параллельно друг другу, не имеют повреждений и обладают необходимой жесткостью [11]. Производственная практика показывает, что по мере выполнения механизированных уборочных операций состояние слоя постепенно ухудшается. В результате каждого механического воздействия рабочих органов льноуборочных машин стебли льна все больше повреждаются и перепутываются между собой, а жесткость их конструкции частично или

¹ Flax Fiber: Potential for a New Crop in the Southeast / J. A. Foulk [et al] // Proceedings of the 50th National Symposium “Trends in New Crops and New Uses: Strength in Diversity”; J. Janick, A. Whipkey (eds.). Alexandria : ASHS Press, 2002. P. 361–370. URL: <https://www.hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/v5-361.html> (дата обращения: 12.01.2021).

² Хайліс Г. А., Пуць В. С. Аналіз процесу підбивання стебел льону за допомогою підбійки // Сільськогосподарські машини : Зб. наук. ст. Вип. 13. Луцьк : Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2005. С. 222–226. URL: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/issue/view/72>/ВИПУСК 13 (дата обращения: 11.01.2021).

³ Там же.

полностью нарушается. Слой стеблей приобретает состояние, близкое к идеальному, в результате естественной подсушки в начальный период росяного приготовления тресты [9]. Как правило, указанный период совпадает с необходимостью первого оборачивания лент стеблей. Таким образом, указанная технологическая операция является наиболее подходящей для выполнения комлеподбивания. Однако для осуществления предложенного способа следует одновременно выполнить несколько технологических операций: подбор ленты стеблей с поверхности поля, оборачивание, комлеподбивание и возврат обработанных лент на поле для дальнейшей вылежки или формирования в рулоны. Сложность решения обозначенной задачи состоит в том, что нанесение необходимого количества ударов следует произвести в потоке за очень короткий промежуток времени при движении агрегата. Причем случайный характер условий работы машинных агрегатов в поле является дополнительной помехой для обработки лент стеблей предложенным способом [4; 12].

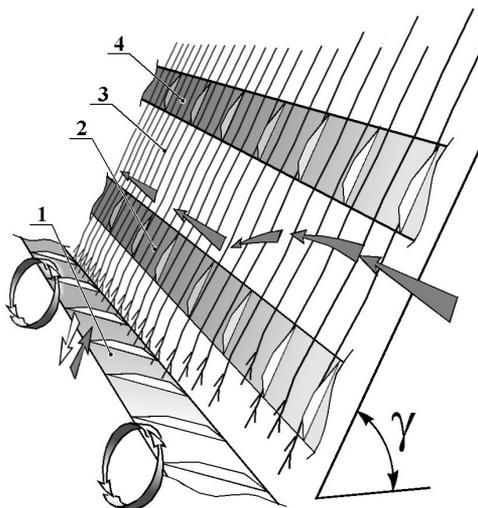
Цель исследования – повышение эффективности процесса выравнивания лент льна путем комлеподбивания стеблей при их оборачивании.

Обзор литературы

Вопросам выравнивания ленты стеблей льна посвящено множество научных и опытно-конструкторских работ, в которых изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию параметров и режимов работы экспериментальных комлеподбивающих устройств [13–16], приведены конструкционные схемы и описаны их отличительные особенности [11; 17; 18].

Анализ этих исследований показал, что наиболее удобным для работы в вышеуказанных условиях является устройство для уменьшения

растянутости стеблей льна-долгунца в ленте в виде наклонного комлеподбивателя конвейерного типа (рис. 1).



Р и с. 1. Схема наклонного комлеподбивателя конвейерного типа: 1 – комлеподбивающая поверхность; 2 – комлевой конвейер; 3 – стебли льна; 4 – вершинный конвейер

Fig. 1. Scheme inclined conveyor for striking the butt of the stems: 1 – surface for strikes on the butt of the stems; 2 – butt conveyor; 3 – flax stalks; 4 – vertex conveyor

С учетом изложенного в Костромской ГСХА предложен оборачиватель-комлеподбиватель ОКП-1,5К, содержащий в своей конструкции указанный рабочий орган [4; 17; 18].

Принцип работы наклонного комлеподбивателя основан на смещении ленты стеблей 3 вниз под действием силы тяжести в процессе их транспортирования конвейерами 2 и 4. Смещение стеблей происходит до касания комлями поверхности 1, которая наносит по ним встречные удары.

Вследствие полученных ударов растянутость стеблей в ленте уменьшается. В такой конструкции все точки комлеподбивающей поверхности (КП) 1 во время движения имеют одинаковый вектор скорости, направление которой обусловлено вертикальной (V_y)

и горизонтальной (V_x) составляющими. Вертикальная составляющая V_y направлена вдоль осей стеблей, а горизонтальная V_x – перпендикулярно осям стеблей [11]. Энергия удара также распределяется на две доли. Причем каждая доля пропорциональна своей составляющей вектора скорости КП. При этом одна доля энергии удара, направленная вертикально, выполняет полезную работу по сдвиганию стеблей в осевом направлении. Другая доля этой энергии, направленная горизонтально, воздействует на комлеву часть стеблей под углом 90° , вызывая их перекосы и повреждения. Эта часть энергии удара затрачена на выполнение вредной работы⁴ [4; 6]. Поэтому для использования всей энергии удара с максимальным эффектом и обнуления вредной работы необходимо, чтобы в момент контакта с комлями стеблей вертикальная составляющая V_y скорости движения КП имела наибольшее значение, а горизонтальная V_x была сонаправленной и равной скорости $V_{ст}$ транспортирования стеблевой массы конвейерами 2 и 4. Следовательно, при каждом таком воздействии скорость движения КП относительно слоя тресты в поперечном к осям стеблей направлении должна быть [4]:

$$V_{отн} = V_x - V_{ст} = 0. \quad (1)$$

Ранее проведенными исследованиями установлено, что условия производства льнопродукции в большинстве случаев характеризуются значительной неравномерностью, поэтому слой стеблей даже на одном поле может иметь существенные различия по своим структурным параметрам (растянутость, спутанность, влажность и т. д.) и степени готовности тресты⁵ [10; 16].

Микронеровности поверхности поля вызывают всевозможные колебания стола наклонного комлеподбивателя при работе подборщика-оборачивателя. Кроме того, ошибки копирования ленты стеблей подбирающим аппаратом также случайным образом повлияют на характер поведения слоя в процессе комлеподбивания. При этом величина и продолжительность смещения стеблевой массы под действием силы тяжести, скорость первого удара и количество последующих контактов комлей с КП также не будут постоянными, что следует учитывать при разработке процесса комлеподбивания [11].

Материалы и методы

В процессе исследования применялись методы общего и логического анализа, расчетно-конструктивный метод, методы планирования многофакторного эксперимента и проверки достоверности его результатов методами теории вероятности и математической статистики. При проектировании комлеподбивателей применены вероятностный и графоаналитический методы.

Для достижения поставленной цели необходимо изыскать пути увеличения вероятности нанесения эффективных встречных ударов по комлям растений при работе наклонного комлеподбивателя конвейерного типа (рис. 1), который позволит наиболее полно обеспечить выполнение требований условия (1).

В предложенном устройстве комлеподбивающая поверхность представляет собой рабочую ветвь конвейера с упругими свойствами плоского ремня, надетого на ведущий и ведомый цилиндрические шкивы, вращающиеся с постоянной скоростью. Колебательные движения рабочей ветви задают установленные под ней два или более синхронно вращающихся

⁴ Там же.

⁵ Flax Fiber: Potential for a New Crop in the Southeast.

активатора роликового типа, свободно установленные на осях. Первый из них установлен в начале зоны комлеподбивания, после ведущего шкива, а последний – в конце этой зоны, перед ведомым шкивом [17; 18].

Для получения максимального эффекта от каждого удара КП независимо от случайных значений входных факторов и фазы ее движения требуется обеспечение постоянства линейной скорости $V_{\text{КП}}$ и равенства горизонтальной составляющей V_x и скорости $V_{\text{ст}}$ конвейеров 2 и 4 (рис. 1).

При работе подборщика-оборачивателя в изменяющихся условиях первая встреча комлевой части слоя стеблей с рабочей поверхностью комлеподбивателя и последующие контакты могут произойти в любой момент времени t_k и с различной скоростью. Случайная величина t_k будет распределена с равномерной плотностью $f(t_k)$ на всем участке времени каждого полного i -го воздействия роликов-активаторов на КП, в течение которого может произойти контакт:

$$f(t_k) = \frac{1}{b_i - a_i}, \quad (2)$$

где a_i и b_i – соответственно время начала и конца i -го воздействия роликов активаторов на КП, в течение которого может произойти ее контакт со стеблями⁶.

Наиболее эффективное комлеподбивание происходит в результате встречного удара, которым может быть только такой удар, направление которого противоположно смещению слоя стеблей в направлении наклона стола комлеподбивателя. Вероятность создания таких условий появляется только в строго определенную часть периода колебания рабочей поверхности. В остальной

части периода эффективность удара будет значительно ниже из-за сонаправленности векторов действия силы тяжести на стеблевую массу и вертикальной составляющей скорости КП.

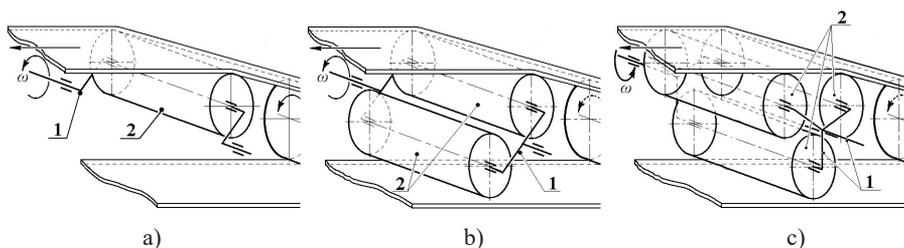
С учетом этого для анализа предложено три конструктивных схемы активаторов: одно-, двух- и трехроликовая (рис. 2).

Экспериментальные исследования проводили на опытном поле Костромской ГСХА. Объектом исследования являлся модернизированный процесс комлеподбивания, который осуществлялся при работе агрегата в составе опытного конвейерного оборачивателя-комлеподбивателя ОКП-1,5К и трактора МТЗ-80 [4; 6]. Для получения необходимой информации применен трехуровневый план 2-го порядка Бокса – Бенкина.

Активатор выполнен в виде колленчатого вала 1, у которого шейка каждого кривошипа является осью для свободновращающегося ролика 2. В качестве независимых переменных приняты: плотность стеблевой ленты ρ , размах A и количество ударов КП N . Уровни и интервалы варьирования факторов выбраны исходя из условий, характерных для работы серийных подборщиков-оборачивателей лент льна (табл.). Скорость агрегата $V_{\text{агр}}$ в опыте была 1,9, 2,3 и 2,7 м/с.

В опытах использовался постоянный лен-долгунец сорта Ленок: густота стеблестоя 1 200 ст/м², средний диаметр стеблей 1,28 мм, средняя общая длина стеблей 74,2 см, жесткость 0,0040–0,0045 Н/м². Характеристика слоя стеблей: плотность составила 1 810 ст/м ленты, относительная средняя растянутость стеблей в ленте была 13,1 %. Влажность тресты составила 21,3 %, толщина слоя стеблей была 0,035 м.

⁶ Горлач Б. А. Теория вероятностей и математическая статистика : учебн. пособие для вузов. СПб. : Лань, 2021. 320 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/168478> (дата обращения: 10.01.2022).



Р и с. 2. Схемы активаторов: а) однороликовый; б) двухроликовый; в) трехроликовый
 F i g. 2. Schemes of activators: a) single-roller; b) two-roller; c) three-roller

Т а б л и ц а
 T a b l e

Факторы, интервалы и уровни их варьирования
Factors, intervals and levels of their variation

Факторы / Factors	Уровни факторов / Factor levels			Интервалы варьирования / Variation intervals
	-1	0	+1	
ρ , ст/м / ρ , st/m	1 747	2 110	2 473	363
N , удары / N , strikes	2	3	4	1
A , м / A , m	0,01	0,02	0,03	0,01

Выходным параметром являлось изменение относительной растянутости стеблей в ленте Δ после ее выравнивания модернизированным комлеподбивателем, выраженное в абсолютных процентах. Результаты эксперимента обрабатывались по известным методикам⁷.

Результаты исследования

Поскольку сила, необходимая для сдвигания стеблей друг относительно друга, несоизмеримо мала, в сравнении с силой воздействия комлеподбивающей поверхности, то при дальнейших рассуждениях будем оперировать кинематическими понятиями без учета динамической составляющей исследуемого процесса.

Рассмотрим пример кинематики движения комлеподбивающей по-

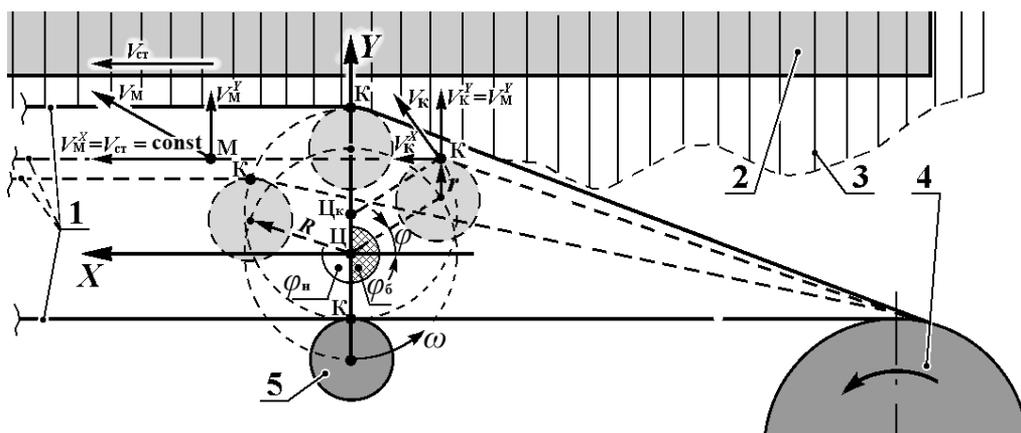
верхности под воздействием однороликового активатора (рис. 3)⁸.

Плоский ремень комлеподбивателя совершает равномерное поступательное движение под воздействием ведущего шкива 4 в направлении движения транспортера 2. Причем скорости этих движений имеют одинаковые направления и значения, равные $V_{ст}$. Возвратно-поступательные движения рабочей поверхности 1 в направлении осей стеблей задают с помощью активаторов 5.

Постоянное соблюдение условия (1) происходит в результате комплексного воздействия шкива 4 и активаторов 5 на комлеподбивающую поверхность 1. Поскольку ролики активаторов 5 свободно вращаются на своих осях, то они не оказывают влияния на характер движения КП в направлении оси X .

⁷ ГОСТ 33734-2016. Техника сельскохозяйственная. Комбайны и машины для уборки льна. Методы испытаний. М., 2017.

⁸ Зинцов А. Н. Обоснование и разработка процессов и машин для раздельной уборки льна-долгунца : дис. ... д-ра. техн. наук. М., 2008. 347 с.



Р и с. 3. Расчетная схема движения рабочей поверхности комбеподбивателя:
1 – рабочая поверхность; 2 – комлевой транспортер; 3 – стебли льна; 4 – ведущий шкив; 5 – активатор

F i g. 3. The design diagram of the movement of the working surface of the device for striking the butt of plants: 1 – working surface; 2 – butt conveyor; 3 – flax stems; 4 – driving pulley; 5 – activator

Благодаря такой конструкции рабочая поверхность 1 относительно движущегося слоя совершает незатухающие гармонические колебания только в направлении осей стebelей (ось Y), и вся энергия удара будет расходоваться только на выполнение полезной работы по сдвиганию стеблей в осевом направлении. При этом встречный удар возможен в той части периода, когда направление движения поверхности 1 совпадает с положительным направлением оси Y (рис. 3). Для определения вероятности нанесения встречного удара проанализируем движение точки M комбеподбивающей поверхности 1.

Движение точки M в координатной плоскости $ЦХУ$ зависит от характера движения точки K контакта ролика с КП. В произвольном положении ролика точка K имеет координаты:

$$X_K = -R \cdot \cos \varphi, Y_K = R \cdot \sin \varphi + r, (3)$$

где R – радиус кривошипа активатора; φ – угол поворота кривошипа от исходного положения ($X = -R$; $Y = 0$); r – радиус ролика.

Угол φ изменяется пропорционально угловой скорости вращения активатора ω и времени t :

$$\varphi = \omega \cdot t. (4)$$

С учетом соотношения (4) получаем уравнения движения точки K :

$$\begin{aligned} X_K &= -R \cdot \cos(\omega \cdot t), \\ Y_K &= R \cdot \sin(\omega \cdot t) + r. \end{aligned} (5)$$

Для определения траектории точки K представим уравнения ее движения в виде

$$\cos(\omega \cdot t) = -\frac{X_K}{R}; \sin(\omega \cdot t) = \frac{Y_K - r}{R}. (6)$$

Сложив почленно квадраты этих уравнений, получим

$$\frac{(Y_K - r)^2}{R^2} + \frac{X_K^2}{R^2} = 1. (7)$$

Это означает, что точка K совершает круговые движения с радиусом R относительно центра $Ц_K$ с координатами $X = 0$ и $Y = r$. Очевидно, что за счет постоянного контакта ролика активатора

с ремнем, размах A удара будет равен двум радиусам кривошипа активатора.

Поскольку ролики активатора не способны оказывать воздействия на комлеподбивающую поверхность в направлении оси X , любая ее точка M будет совершать поступательное движение в указанном направлении с постоянной скоростью V_M^X независимо от положения кривошипа. Причем указанная особенность роликов позволит максимально обеспечить выполнение условия (1), и скорость V_M^X будет всегда равняться скорости $V_{ст}$ комлевого и вершинного конвейеров комлеподбивателя. Тогда движение точки M в направлении оси X будет описано выражением

$$X_M = V_{ст} \cdot t. \quad (8)$$

В результате неразрывного контакта КП с роликом точка M будет совершать свое движение относительно слоя стеблей, копируя движение ролика в направлении оси Y :

$$Y_M = Y_K = R \cdot \sin(\omega \cdot t) + r. \quad (9)$$

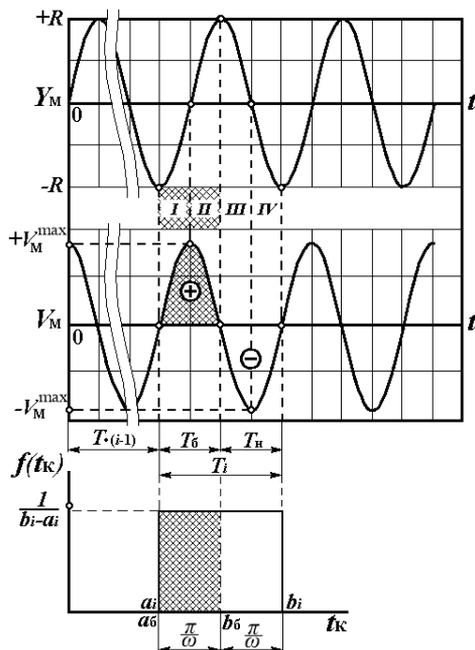
Далее определяем горизонтальную и вертикальную составляющие скорости точки M :

$$V_M^X = \dot{X}_M = V_{ст}, \quad (10)$$

$$V_M^Y = \dot{Y}_M = R \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t). \quad (11)$$

Поскольку работа комлеподбивателя производится с постоянным соблюдением условия (1), то все дальнейшие исследования кинематики движения точки M его рабочей поверхности будем выполнять только относительно оси Y . С учетом сказанного вероятность нанесения эффективных ударов определяем с помощью графического анализа зависимостей (9) и (11) (рис. 4). При этом анализировать движение точки M будем относительно центра вращения Π_K точки K контакта ролика

с комлеподбивающей поверхностью (рис. 3).



Р и с. 4. Схема к определению вероятности нанесения эффективных встречных ударов по комлям растений

F i g. 4. Scheme for determining the probability of inflicting effective counter strikes on the butt of plants

Выделим на графиках четыре фазы движения КП под воздействием ролика активатора:

I – точка M комлеподбивающей поверхности движется вверх по закону синуса из положения с ординатой $Y_M = -R$ с ускорением до первого среднего положения с ординатой $Y_M = 0$, и вектор ее скорости V_M растет в положительном направлении оси Y от нуля до максимального значения $+V_M^{\max}$;

II – точка M продолжает движение к верхней точке $Y_M = +R$ с замедлением, и скорость ее падает с максимального значения $+V_M^{\max}$ до нуля;

III – точка M опускается с ускорением из верхней точки до следующего среднего положения $Y_M = 0$, и вектор ее

скорости в отрицательном направлении оси Y изменяется от нуля до максимума $-V_M^{\max}$;

IV – точка M продолжает опускаться с замедлением из среднего положения до нижнего $Y_M = -R$, а ее скорость в отрицательном направлении оси Y падает до нуля.

С учетом знака вектора скорости точки M все фазы объединяем в две группы:

– положительную ($T_6 = I + II$), когда вектор скорости V_M имеет положительное направление и благоприятное для нанесения встречного удара по комлям стеблей (заштрихованные фазы);

– отрицательную ($T_{н6} = III + IV$), когда вектор скорости V_M имеет отрицательное направление, то есть неблагоприятное для нанесения удара (незаштрихованные фазы).

Графики движения и скорости точки M , представленные на рисунке 4, указывают на очевидное равенство обеих групп, и поэтому их сумма составит длительность периода i -го движения КП:

$$T_i = T_6 + T_{н6}. \quad (12)$$

Выразим длительность периода через угловую скорость активатора:

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (13)$$

С учетом равенства групп их длительности будут равны

$$T_6 = T_{н6} = \frac{\pi}{\omega}. \quad (14)$$

Найдем вероятность контакта слоя стеблей с КП в положительную группу фаз ($a_6 \dots b_6$):

$$P_K^6 = \{a_6 < t_K < b_6\} = \frac{b_6 - a_6}{b_i - a_i} = \frac{T_6}{T_i}. \quad (15)$$

⁹ Там же ; ГОСТ 33734-2016.

Геометрически эта вероятность представляет собой заштрихованную площадь на рисунке 4.

Таким образом, нанесение эффективных ударов возможно только в половине случаев $P_K^6 = 0,5$, а в остальной половине эффективность контакта будет значительно ниже из-за одинакового направления скоростей движения комлеподбивающей поверхности и смещения стеблей под воздействием силы тяжести.

Повысить активность комлеподбивания возможно путем наклона КП на некоторый угол α . Проанализируем кинематику такого движения точки M (рис. 5)⁹.

Из-за отсутствия у роликов активаторов транспортирующего воздействия на КП в направлении оси X анализ кинематики движения точки M будем проводить, как и в предыдущем случае, только в направлении оси Y .

Отсчет угла φ поворота активатора будем производить от прямой $O-O$, проведенной под углом α через центр вращения Π и параллельной КП. С учетом угла α и $\varphi = \omega \cdot t$ движение точки K контакта ролика с КП в направлении оси Y

$$Y_K = R \cdot \sin(\omega \cdot t - \alpha) + r \cdot \cos \alpha. \quad (16)$$

Для соблюдения условия (1) ремень 3 движется под воздействием шкива b с постоянной скоростью

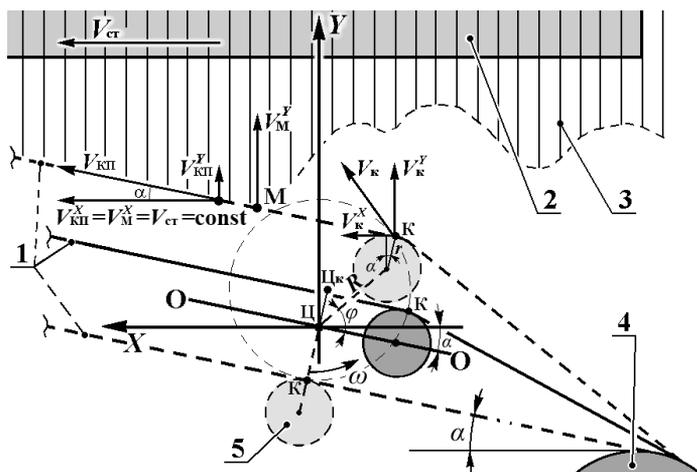
$$V_{кп} = \frac{V_{ст}}{\cos \alpha} = \text{const}, \quad (17)$$

а проекция вектора этой скорости на ось Y будет равна

$$V_{кп}^Y = V_{ст} \cdot \tan \alpha. \quad (18)$$

Тогда движение любой точки M в направлении оси Y будет описано выражением

$$Y_M = R \cdot \sin(\omega \cdot t - \alpha) + r \cdot \cos \alpha + t \cdot V_{ст} \cdot \tan \alpha, \quad (19)$$



Р и с. 5. Расчетная схема движения рабочей поверхности комлеподбивателя, выполненной под наклоном: 1 – рабочая поверхность; 2 – комлевой транспортер; 3 – стебли льна; 4 – ведущий шкив; 5 – активатор

Fig. 5. Design diagram of the movement of the working surface of the device for striking the butt of plants, performed at an inclination: 1 – working surface; 2 – butt conveyor; 3 – flax stems; 4 – driving pulley; 5 – activator

а скорость этой точки

$$V_M^Y = \dot{Y}_M = R \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t - \alpha) + V_{ct} \cdot \tan \alpha. \quad (20)$$

Графическая интерпретация зависимостей (19) и (20) представлена на рисунке 6.

В наклонной конструкции точка К контакта ролика с ремнем КП также будет совершать движения по окружности радиусом R относительно центра $Ц_K$ с новыми координатами $X = r \cdot \sin \alpha$ и $Y = r \cdot \cos \alpha$ (рис. 5).

Наклон КП на угол α вызовет увеличение размаха A_α ударных воздействий (кривая 2 на графике $Y_M(t)$ рисунка 6) по сравнению с размахом A_0 в горизонтальном исполнении комлеподбивающего конвейера при $\alpha = 0$ (кривая 1) на величину

$$\Delta A^{(+)} = A_\alpha - A_0. \quad (21)$$

При этом размах ударов комлеподбивающей поверхности, имеющей наклон α , будет равен

$$A_\alpha = 2 \cdot \frac{R}{\cos \alpha} + T_6^\alpha \cdot V_{ct} \cdot \tan \alpha, \quad (22)$$

где T_6^α – длительность положительной группы фаз с учетом наклона КП на угол α .

С учетом выражения (22) и $A_0 = 2R$ увеличение размаха под влиянием угла α будет равно

$$\Delta A^{(+)} = 2 \cdot \frac{R}{\cos \alpha} + T_6^\alpha \cdot V_{ct} \cdot \tan \alpha - 2R. \quad (23)$$

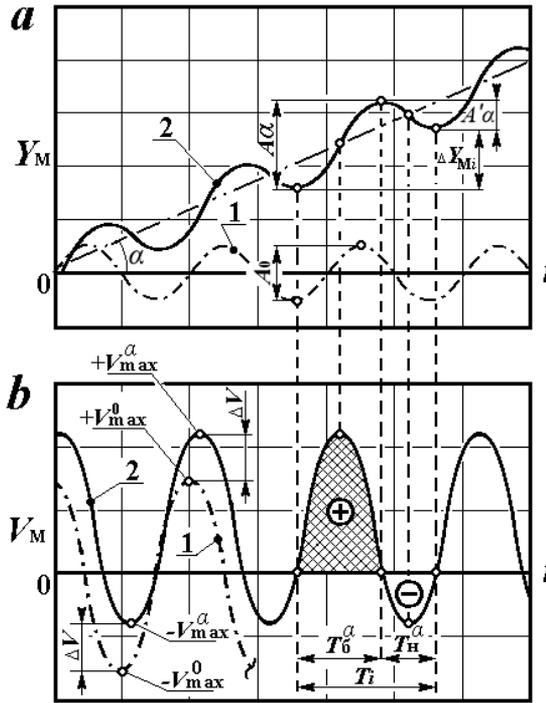
Наклон α вызвал также сокращение обратного размаха A'_α точки М в отрицательной группе фаз на величину

$$\Delta A^{(-)} = A_0 - A'_\alpha. \quad (24)$$

Величина обратного размаха будет равна

$$A'_\alpha = 2 \cdot \frac{R}{\cos \alpha} - T_{н6}^\alpha \cdot V_{ct} \cdot \tan \alpha, \quad (25)$$

где $T_{н6}^\alpha$ – длительность отрицательной группы фаз.



Р и с. 6. Графики пути (а) и скорости (b) точки М наклонной колеподбивающей поверхности
 F i g. 6. Graphs of the path (a) and speed (b) of the point M of the inclined surface for impacts on the butt of plant stems

С учетом выражения (25) сокращение величины обратного размаха под влиянием угла α

$$\Delta A^{(-)} = 2R - 2 \cdot \frac{R}{\cos \alpha} + T_{нб}^{\alpha} \cdot V_{ст} \cdot \tan \alpha. \quad (26)$$

Сравнение (22) и (25) показало, что размах удара КП, расположенной под наклоном α , больше ее обратного движения на величину

$$\Delta Y_{Mi} = \frac{2\pi}{\omega} \cdot V_{ст} \cdot \tan \alpha.$$

Анализ полученных зависимостей (21)–(26) выявил следующие положительные изменения в кинематике новой конструкции КП:

– увеличенный размах ударов повышает эффективность работы КП за счет расширения $\Delta A^{(+)}$ возможной величины продольного сдвига стеблей за каждое воздействие без изменения радиуса активатора;

– уменьшение размаха обратных движений $\Delta A^{(-)}$ при $\omega = \text{const}$ и $V_{КП} = \text{const}$ сокращает время между положительными фазами на величину $\Delta T = \frac{\pi}{\omega} - T_{нб}^{\alpha}$ и увеличивает вероятность эффективных ударов.

Под влиянием наклона α скоростной режим работы КП также приобрел положительные изменения в виде увеличения максимальной скорости с $+V_{max}^0$ до $+V_{max}^{\alpha}$ на величину $\Delta V = V_{ст} \cdot \tan \alpha$ (рис. 6). Аналогичные изменения

произошли и с отрицательной скоростью КП в сторону снижения ее максимального значения $-V_{\max}^Y$. Это означает, что в отрицательной группе фаз скорость возможного контакта слоя стеблей с КП также несколько возрастет.

Очевидно, что положительные изменения произойдут и с вероятностью нанесения эффективного удара. Для оценки полученного эффекта необходимо сопоставить продолжительность T_6^α положительной группы с величиной периода T_i .

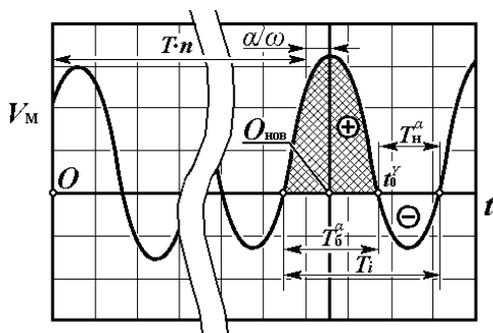
Каждая группа фаз на графике $V_M(t)$ (рис. 6) начинается и заканчивается в точках пересечения кривой 2 и оси t . В этих точках проекция вектора скорости КП на ось Y равна нулю:

$$R \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t - \alpha) + V_{\text{ст}} \cdot \tan \alpha = 0. \quad (27)$$

Для определения T_6^α перенесем начало координат на графике $V_M(t)$ (рис. 7) из точки O в точку $O_{\text{нов}}$ с новыми координатами $t = T \cdot n + \frac{\alpha}{\omega}$ и $V_M = 0$, где n – любое натуральное целое число.

При этом выражение (27) примет вид

$$R \cdot \omega \cdot \cos \omega t + V_{\text{ст}} \cdot \tan \alpha = 0. \quad (28)$$



Р и с. 7. Схема к определению вероятности нанесения эффективных встречных ударов по комлям растений наклонной поверхностью

Fig. 7. Scheme for determining the likelihood of an inclined surface of effective counter-impacts on the butt of plants

В рамках одного полного воздействия ролика активатора определим

момент времени t_0^Y , при котором вектор скорости V_M первый раз меняет свое направление с положительного на отрицательное, то есть $V_{\max}^Y = 0$:

$$t_0^Y = \frac{1}{\omega} \arccos\left(-\frac{V_{\text{ст}} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right). \quad (29)$$

Очевидно, что время t_0^Y является половиной длительности T_6^α , то есть:

$$T_6^\alpha = \frac{2}{\omega} \arccos\left(-\frac{V_{\text{ст}} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right). \quad (30)$$

Поскольку вероятность контакта комлей стеблей с КП в течение положительной группы фаз ее скорости имеет распределение по закону равномерной плотности, то, с учетом формул (15), (13) и (30), получаем модель, связывающую вероятность нанесения эффективных ударов с основными кинематическими параметрами и режимами работы комлеподбивателя:

$$P_K^6 = \frac{1}{\pi} \arccos\left(-\frac{V_{\text{ст}} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right). \quad (31)$$

Соответственно, контакт комлей с КП в отрицательную группу фаз будет происходить с вероятностью

$$P_K^{н6} = 1 - \frac{1}{\pi} \arccos\left(-\frac{V_{\text{ст}} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right). \quad (32)$$

Несмотря на выявленные положительные изменения в кинематике предложенного устройства с однорольковыми активаторами, плавный характер исследуемого процесса в начале каждой положительной группы фаз обуславливает недостаточную активность комлеподбивания.

Для выявления возможности активизации движений КП была проанализирована по аналогичной методике кинематика предложенного устройства с использованием двух- и трехроликовых активаторов (рис. 2b, 2c).

Положительное влияние наклона КП на кинематику исследуемого процесса послужило причиной применения данного технического решения в конструкциях комлеподбивателя с двух- и трехроликовыми активаторами.

Графики пути и скорости КП под воздействием двухроликовых активаторов в направлении оси Y представлены на рисунке 8.

Мгновенные изменения траектории и скорости КП в точках k_1 и k_2 заметно активизируют процесс комлеподбивания. В движениях КП появились резко выраженные ударные воздействия, произошло увеличение длительности T_6 благоприятной для удара или положительной фазы на $\frac{\alpha}{\omega}$ секунд, и на такую же величину сократилась T_n отрицательная фаза.

Длительность положительной фазы определяется моментом времени t_0^Y , при котором скорость V_M^Y принимает нулевое значение, а ее вектор изменяет свое направление с положительного на отрицательное:

$$T_6^\alpha = \frac{1}{\omega} \arccos\left(-\frac{V_{ct} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right) + \frac{\alpha}{\omega}. \quad (33)$$

Отмеченное перераспределение времени в пользу положительной фазы вызовет пропорциональные изменения вероятности нанесения эффективного удара, которая, с учетом выражения (15), будет определяться по формуле

$$P_K^6 = \frac{1}{\pi} \left(\arccos\left(-\frac{V_{ct} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right) + \alpha \right). \quad (34)$$

Соответственно, вероятность контакта стеблей с КП в отрицательную фазу будет

$$P_K^n = 1 - \frac{1}{\pi} \left(\arccos\left(-\frac{V_{ct} \cdot \tan \alpha}{R \cdot \omega}\right) + \alpha \right). \quad (35)$$

Сопоставив выражения (31) и (34), видим, что двухроликовая конструкция активатора обеспечит увеличение вероятности нанесения эффективного встречного удара КП по комлям стеблей на величину (%)

$$\Delta P_K^6 = \frac{\alpha}{\pi} \cdot 100. \quad (36)$$

Для практического расчета вероятности P_K^6 нанесения эффективного удара выбираем числовые значения параметров с использованием номограммы¹⁰.

Результаты графических исследований и проведенных расчетов показали, что применение двух роликов в конструкции каждого активатора в совокупности с наклоном комлеподбивающей поверхности вызовет ряд положительных изменений в процессе комлеподбивания:

- вероятность встречных ударов возрастет на 12,4 % и достигнет 0,624;
- мгновенные изменения траектории и скорости КП в начале каждого ее движения в направлении оси Y вызовут ярко выраженные встречные ударные воздействия с повышенной скоростью;
- уменьшится скорость КП в неблагоприятной группе фаз поворота активатора.

Формула (35) указывает на наличие вероятности контакта стеблей с КП в отрицательную фазу. Анализ поведения слоя в этом случае показал, что стеблевая масса после наступления такого контакта будет полностью копировать движение комлеподбивающей поверхности без заметного изменения своей растянутости. Описанный характер взаимного движения слоя и КП – следствие

¹⁰ Зинцов А. Н. Обоснование и разработка процессов и машин...

действия силы тяжести и является положительным, поскольку он создает наилучшие условия для очередного удара с максимальным размахом A_α и высокой скоростью $V_{\text{нач}} \rightarrow +V_{\text{max}}$ (рис. 8). Даже если в указанное время контакт стеблей с КП не наступил, следующий контакт наступит с достаточно высокой эффективностью. При этом начальная скорость удара $V_{\text{нач}}$ будет еще более близкой к своему максимуму. Из сказанного следует, что применение двухроликовых активаторов позволит произвести достаточно эффективное комлеподбивание и в случае контакта стеблей с КП в отрицательную фазу.

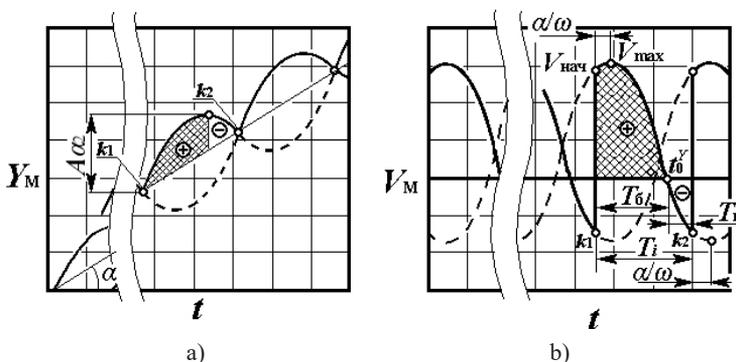
Для обоснования целесообразности применения трех роликов в конструкции активаторов (рис. 2с) проведено графоаналитическое исследование характера движения КП по аналогичной методике. Результаты показали, что увеличение количества роликов не изменит характер движения КП, но уменьшит размах и скорость ее ударов, увеличит металлоемкость конструкции. Следовательно, применять больше двух роликов в одном активаторе нецелесообразно.

С учетом полученных результатов и для обоснования параметров и режи-

мов предложенного устройства с двухроликовыми активаторами (рис. 1) проведены экспериментальные исследования рассмотренного выше процесса, реализуемого при работе оборачивателя-комлеподбивателя ОКП-1,5К. В итоге получена математическая модель процесса уменьшения относительной растянутости стеблей в ленте Δ в зависимости от плотности стеблевой массы ρ , количества n и размаха A ударов комлеподбивающей поверхности:

$$\Delta = 4,470 + 1,210 \cdot n + 0,421 \cdot A + 0,091 \cdot \rho + 0,110 \cdot n \cdot A - 0,325 \cdot n^2 - 0,368 \cdot A^2. \quad (37)$$

Значения коэффициентов регрессии убедительно свидетельствуют о главенствующем влиянии количества n и размаха A ударов на эффективность комлеподбивания. Установлено, что наибольший эффект от комлеподбивания ($\Delta = 5,6\%$ и увеличение выработки длинного волокна на 2,5–3,0 %) обеспечивается в зоне максимальных значений факторного пространства, то есть при нанесении четырех ударов с размахом 0,02–0,03 м. Наименьшие значения коэффициентов регрессии в уравнении



Р и с. 8. Схема к определению вероятности нанесения эффективных встречных ударов по колям растений под воздействием активаторов с двумя роликами:

а) траектория точки М рабочей поверхности; б) скорость точки М

Fig. 8. Scheme for determining the likelihood of inflicting effective counter strikes on the butt of plants using two-roller activators: a) trajectory of point M of the working surface; b) speed of point M

(37) имеют плотность ρ стеблевой массы. Отмеченный факт является положительным, поскольку он свидетельствует о возможности эффективного комлеподбивания стеблей в лентах в широком диапазоне скоростей движения машинных агрегатов от 5,70 до 9,72 км/ч.

Обсуждение и заключение

Низкий выход длинного волокна при переработке тресты на льнозаводах чаще всего является следствием большой растянутости стеблей в ленте (слое). Уменьшать растянутость наиболее удобно при оборачивании ленты стеблей путем нанесения ударов по комлям растений в направлении их осей. Для этого необходимо использовать подборщик-оборачиватель, конструкция которого содержит наклонный комлеподбиватель конвейерного типа.

Максимальный эффект обеспечит удар, направление которого совпадает с направлением осей стеблей и противоположно их смещению под действием силы тяжести в наклонном комлеподбивателе. При этом скорость движения комлеподбивающей поверхности относительно слоя тресты в поперечном к осям стеблей направлении должна иметь постоянное нулевое значение. Указанный режим может быть реализован конвейером с роликовыми активаторами.

Условия производства льнопродукции характеризуются значительной неравномерностью, и поэтому слой стеблей может иметь существенные различия по своим структурным параметрам. Поэтому при разработке процесса

комлеподбивания нельзя рассматривать слой стеблей и его поведение в виде жесткой материальной точки с известными и постоянными свойствами. В результате проведенных графоаналитических изысканий получена вероятностная модель, связывающая основные кинематические параметры и режимы работы предлагаемого устройства с вероятностью нанесения эффективных ударов по комлям стеблей.

Практические расчеты с использованием полученной модели показали, что применение двухроликовой конструкции активаторов в совокупности с наклоном КП вызовет ярко выраженные ударные воздействия, повысит их скорость, увеличит вероятность нанесения эффективных встречных ударов на 12,4 % и тем самым обеспечит интенсификацию процесса комлеподбивания. Дальнейшее увеличение количества роликов в активаторах будет ослаблять достигнутый эффект.

В результате экспериментальных исследований установлено, что наибольший эффект от комлеподбивания (уменьшение растянутости стеблей в слое $\Delta = 5,6$ %, что дает увеличение выработки длинного волокна на 2,5–3,0 %) во время оборачивания лент стеблей обеспечивается при нанесении четырех ударов с размахом 0,02–0,03 м. Установлена также возможность эффективного комлеподбивания стеблей в лентах в широком диапазоне скоростей движения машинных агрегатов от 5,70 до 9,72 км/ч.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Akin D. E. Linen Most Useful: Perspectives on Structure, Chemistry, and Enzymes for Retting Flax [Электронный ресурс] // International Scholarly Research Notices. 2013. doi: <https://doi.org/10.5402/2013/186534>
2. Основные проблемы научного обеспечения льноводства / Р. А. Ростовцев [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 3. С. 45–52. doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52>

3. Поздняков Б. А. Актуальные направления совершенствования системы машин для уборки льна-долгунца // Техника и оборудование для села. 2019. № 8. С. 2–6. doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-8-2-6>
4. Зинцов А. Н., Рымарь О. Н., Вакарчук С. И. Устройство для уменьшения растянутости ленты стеблей льна // Сельский механизатор. 2019. № 6. С. 8–11. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41263687> (дата обращения: 30.12.2021).
5. Ковалев М. М., Перов Г. А., Просолов С. В. Анализ работы делителей в трудных условиях уборки // Техника и оборудование для села. 2020. № 11. С. 20–24. doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-11-20-24>
6. Зинцов А. Н. О повышении эффективности комлеподбивания стеблей в лентах льна-долгунца // Вестник АПК Верхневолжья. 2017. № 1. С. 67–72. URL: https://www.yaragrovuz.ru/images/Vestnik_APK/vAPK_2017_1_37.pdf (дата обращения: 29.12.2021).
7. Галкин А. В., Фадеев Д. Г., Ушаповский И. В. Исследование качественных характеристик льноволокна в зависимости от конструкции очесывающего аппарата // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 3. С. 389–399. doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.389-399>
8. Goudenhooff C., Bourmaud A., Baley C. Flax (*Linum usitatissimum* L.) Fibers for Composite Reinforcement: Exploring the Link Between Plant Growth, Cell Walls Development, and Fiber Properties [Электронный ресурс] // Front. Plant Sci. 2019. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00411>
9. Research on New Technology of Fiber Flax Harvesting / J. Mańkowski [et al.] // Journal of Natural Fibers. 2017. Vol. 15, Issue 1. P. 53–61. doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1302390>
10. A Method for Determining Stretching Patterns of a Group of Stems in Plant Materials / Yu. F. Lachuga [et al.] // Russian Agricultural Sciences. 2021. Vol. 47. P. 182–187. doi: <https://doi.org/10.3103/S1068367421020129>
11. Исследование инновационного процесса комлеподбивания стеблей в слое при оборачивании лент льна-долгунца / А. Н. Зинцов [и др.] // Наука в Центральной России. 2021. № 4. С. 40–50. doi: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-3-40-50>
12. Start Dynamics of Vibrating Machines with Unbalanced Drive Considering Its Elasticity / N. P. Yaroshevich [et al.] // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2018. Issue 3. P. 100–106. doi: <https://dx.doi.org/10.29202/nvngu/2018-3/8>
13. Heller K. The Technologies of Fibrous Crops (Flax and Hemp) Growing and Processing in Sustainable and Multifunctional Development of Agriculture // Fragmenta Agronomica. 2007. Vol. 24. P. 181–186. URL: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PL2008000488> (дата обращения: 11.01.2021).
14. Research of the Dynamic Model of the Flax Stems Line Arranging Mechanism / O. O. Nalobina [et al.] // INMATEH – Agricultural Engineering. 2017. Vol. 53, Issue 3. P. 51–56. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35717513> (дата обращения: 11.01.2021).
15. Blekhman I. I., Vasil'kov V. B., Yaroshevich N. P. On Some Opportunities for Improving Vibration Machines with Self-Synchronizing Inert Vibration Exciters // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2013. Vol. 42, Issue 3. С. 192–195. doi: <http://dx.doi.org/10.3103/S1052618813030023>
16. Blekman L. I., Yaroshevich N. P. Upon Drive Dynamics of Vibratory Machines with Inertia Excitation // Obogashchenie Rud. 2017. Issue 4. P. 49–53. doi: <https://doi.org/10.17580/or.2017.04.09>
17. Подборщик-оборачиватель лент льна : патент 2122309 Российская Федерация / Смирнов Н. А., Зинцов А. Н., Соколов В. Н. № 94023112 ; заявл. 15.06.1994 ; опубл. 27.11.1998. 7 с.
18. Выравниватель стеблей льна : патент 2683726 Российская Федерация / Зинцов А. Н., Соколов В. Н., Рымарь О. Н., Вакарчук С. И. № 2018121595 ; заявл. 13.06.2018 ; опубл. 01.04.2019. 8 с.

Поступила 29.12.2021; одобрена после рецензирования 20.01.2022; принята к публикации 10.02.2022

Об авторах:

Зинцов Александр Николаевич, профессор кафедры тракторов и автомобилей Костромской ГСХА (156530, Российская Федерация, Костромская обл., пос. Караваяво, ул. Учебный городок, д. 34), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3443-2015>, zintsov_a@mail.ru

Ковалев Михаил Михайлович, главный научный сотрудник Федерального научного центра лубяных культур (170041, Российская Федерация, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 17/56), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2424-4205>, Researcher ID: AAT-4775-2021, m.kovalev@fncl.ru

Перов Геннадий Анатольевич, ведущий научный сотрудник Федерального научного центра лубяных культур (170041, Российская Федерация, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 17/56), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5830-6817>, Researcher ID: AAB-5326-2022, g.perov@fncl.ru

Заявленный вклад авторов:

А. Н. Зинцов – подготовка начального текста с последующей доработкой, проведение исследований, анализ результатов, визуализация.

М. М. Ковалев – научное руководство, анализ и доработка текста.

Г. А. Перов – подготовка и анализ литературных данных, проведение критического анализа исследований, доработка текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Akin D.E. Linen Most Useful: Perspectives on Structure, Chemistry, and Enzymes for Retting Flax. *International Scholarly Research Notices*. 2013. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.5402/2013/186534>
2. Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Ushchapovsky I.V., Popov R.A. The Main Problems of Scientific Support of Flax Growing. *Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2020; 14(3):45-52. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52>
3. Pozdnyakov B.A. Up-to-Date Areas of Improving the System of Machines for Harvesting Fiber Flax. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2019; (8):2-6. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-8-2-6>
4. Zintsov A.N., Rymar O.N., Vakarchuk S.I. Device for Reducing the Length of the Ribbon of Stalks Flax. *Selskiy Mekhanizator* = Rural Mechanic. 2019; (6):8-11. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41263687> (accessed 30.12.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
5. Kovalev M.M., Perov G.A., Prosolov S.V. Analysis of Separator Operation in Difficult Harvesting Conditions. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2020; (11):20-24. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-11-20-24>
6. Zintsov A.N. About Raising Effectivity of Stem Tapes of Fiber Flax. *Vestnik APK Verkhnevolzhya* = Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga Region. 2017; (1):67-72. Available at: https://www.yaragrovuz.ru/images/Vestnik_APK/vAPK_2017_1_37.pdf (accessed 29.12.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
7. Galkin A.V., Fadeev D.G., Ushchapovsky I.V. Studying Quality Characteristics of Flax Fiber Depending on Deseeding Device Design. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2018; 28(3):389-399. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.389-399>
8. Goudenhooff C., Bourmaud A., Baley C. Flax (*Linum usitatissimum* L.) Fibers for Composite Reinforcement: Exploring the Link Between Plant Growth, Cell Walls Development, and Fiber Properties. *Front. Plant Sci*. 2019. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00411>
9. Mańkowski J., Maksymiuk W., Spsychalski G., et al. Research on New Technology of Fiber Flax Harvesting. *Jornal of Natural Fibers*. 2017; 15(1):53-61. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1302390>

10. Lachuga Yu.F., Kovalev M.M., Perov G.A., Galkin A.V. A Method for Determining Stretching Patterns of a Group of Stems in Plant Materials. *Russian Agricultural Sciences*. 2021; 47:182-187. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.3103/S1068367421020129>
11. Zintsov A.N., Kovalev M.M., Sokolov V.N., Perov G.A. Investigation of the Innovative Process of Combing Stems in a Layer When Wrapping Flax Ribbons. *Nauka v tsentralnoy Rossii = Science in the Central Russia*. 2021; (4):40-50. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-3-40-50>
12. Yaroshevich N.P., Zabrodets I.P., Dutchak B.I., Yaroshevich T.S. Start Dynamics of Vibrating Machines with Unbalanced Drive Considering Its Elasticity. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018; (3):100-106. (In Eng.) doi: <https://dx.doi.org/10.29202/nvngu/2018-3/8>
13. Heller K. The Technologies of Fibrous Crops (Flax and Hemp) Growing and Processing in Sustainable and Multifunctional Development of Agriculture. *Fragmenta Agronomica*. 2007; 24:181-186. Available at: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PL2008000488> (accessed 11.01.2021). (In Eng.)
14. Nalobina O.O., Gerasymchuk O.P., Puts V.S., Marchuk M.M. Research of the Dynamic Model of the Flax Stems Line Arranging Mechanism. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2017; 53(3):51-56. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35717513> (accessed 11.01.2021). (In Eng.)
15. Blekhan I.I., Vasil'kov V.B., Yaroshevich N.P. On Some Opportunities for Improving Vibration Machines with Self-Synchronizing Inert Vibration Exciters. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2013; 42(3):192-195. (In Eng.) doi: <http://dx.doi.org/10.3103/S1052618813030023>
16. Blekman L.I., Yaroshevich N.P. Upon Drive Dynamics of Vibratory Machines with Inertia Excitation. *Obogashchenie Rud*. 2017; (4):49-53. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.17580/or.2017.04.09>
17. Smirnov N.A., Zintsov A.N., Sokolov V.N. [Flax Ribbon Picker]. Patent 2,122,309 Russian Federation. 1998 November 27. 7 p. (In Russ.)
18. Zintsov A.N., Sokolov V.N., Rymar O.N., Vakarchuk S.I. [Flax Stem Leveller]. Patent 2,683,726 Russian Federation. 2019 April 01. 8 p. (In Russ.)

Submitted 29.12.2021; approved after reviewing 20.01.2022; accepted for publication 10.02.2022

About the authors:

Aleksandr N. Zintsov, Professor of the Chair of Tractors and Automobiles, Kostroma State Agricultural Academy (34 Uchebnyy Gorodok St., Karavaevo, Kostroma Oblast 156530, Russian Federation) Dr. Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3443-2015>, zintsov_a@mail.ru

Mikhail M. Kovalev, Chief Scientist, Federal Scientific Center for Bast Crops (17/56 Komsomolskiy Prospect, Tver 170041, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2424-4205>, Researcher ID: [AAT-4775-2021](https://orcid.org/0000-0003-2424-4205), m.kovalev@fncl.ru

Gennady A. Perov, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Bast Crops (17/56 Komsomolskiy Prospect, Tver 170041, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5830-6817>, Researcher ID: [AAB-5326-2022](https://orcid.org/0000-0002-5830-6817), g.perov@fncl.ru

Contribution of the authors:

A. N. Zintsov – preparation of the initial text with subsequent refinement, research, analysis of results, visualization.

M. M. Kovalev – scientific guidance, analysis and revision of the text.

G. A. Perov – preparation and analysis of literary data, conducting a critical analysis of research, finalizing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.



Основы разработки автоматизированных машин для возделывания, уборки и послеуборочной обработки овощных культур и картофеля с цифровыми системами управления

А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв*, А. Г. Аксенов,
М. А. Мосяков, Н. В. Сазонов
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
(г. Москва, Российская Федерация)

* sibirev2011@yandex.ru

Аннотация

Введение. Ускоренное внедрение современной электроники способствует повышению эффективности сельскохозяйственной деятельности. Цель исследования – разработка автоматизированных машин для возделывания, уборки и послеуборочной обработки овощных культур и картофеля с цифровыми системами управления.

Материалы и методы. Описана методика проведения аналитических исследований разработки автоматизированных машин для обработки почвы, посадки, уборки и послеуборочной обработки с автоматизацией отдельных технологических операций. Данная методика базируется на комплексной оценке качества выполнения технологических операций на основе количественных критериев оптимизации.

Результаты исследования. Установлено, что для разработки системы управления и контроля технологического процесса необходимо обеспечивать автоматическую регулировку основных технологических параметров машин. К показателям оценки машин для посадки следует отнести равномерность плотности почвы при заделке посадочного материала, при регистрации силового воздействия рабочего органа на почвенный слой ниже или выше заданных границ поля допуска плотности почвы. Для уборочных машин важным критерием является изменение и поддержание частоты вибрации интенсификаторов сепарации, а для машин для сортирования – распознавание товарной продукции с помощью системы технического зрения в виде камеры.

Обсуждение и заключение. Результаты проведенных исследований по разработке алгоритмов и программно-аппаратных средств функционирования отдельных элементов автоматизированных машин позволили обеспечить реализацию сегментов автоматизации по основным операциям производства сельскохозяйственных культур: обработка почвы, посев/посадка, уборка и послеуборочная обработка.

Ключевые слова: сельскохозяйственные машины, автоматизация, цифровая система управления, плотность почвы, глубина обработки, частота вращения, техническое зрение, показатели качества

Финансирование: исследование выполнено при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации СП-1004.2021.1.

© Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Мосяков М. А., Сазонов Н. В., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Основы разработки автоматизированных машин для возделывания, уборки и послеуборочной обработки овощных культур и картофеля с цифровыми системами управления / А. С. Дорохов [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 1. С. 145–173. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.145-173>

Original article

Basis of Developing Automated Machines with Digital Control Systems for Cultivating, Harvesting and Postharvest Processing of Vegetable Crops and Potatoes

**A. S. Dorokhov, A. V. Sibirev*, A. G. Aksenov,
M. A. Mosyakov, N. V. Sazonov**

*Federal Scientific Agroengineering Center VIM
(Moscow, Russian Federation)*

* sibirev2011@yandex.ru

Abstract

Introduction. The accelerated deployment of modern electronics contributes to the efficiency of agricultural activities. The aim of the study is to develop automated machines with digital control systems for cultivating, harvesting and post-harvest processing of vegetable crops and potatoes.

Materials and Methods. The article describes the technique of analytical studying the development of automated machines for cultivating, planting, harvesting and post-harvesting with automation in separate technological operations according to the technique of comprehensive assessment of performance quality and stability of technological operations on the basis of quantitative optimization criteria.

Results. It is found that for the development of control and monitoring system of the technological process, it is necessary to provide automatic adjustment of the main technological parameters of the machines. These parameters should include the uniformity of soil density when seeding down, recording the force impact of the working body on the soil layer below or above the specified limits of the soil density toleration, changing and maintaining the vibration frequency of separation intensifiers, identifying commercial products through the vision system in the form of a camera, respectively.

Discussion and Conclusion. The results of the study on the development of algorithms and hardware-software means of the functioning of automated machine individual elements have resulted in ensuring the implementation of automation segments on the main operations of crop production: tillage, seeding/planting, harvesting and post-harvest processing.

Keywords: agricultural machines, automation, digital control system, soil density, tillage depth, rotational speed, technical vision, quality indicators

Funding: The study was supported by the Council for Grants of the President of the Russian Federation SP-1004.2021.1.

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A. G., et al. Basis of Developing Automated Machines with Digital Control Systems for Cultivating, Harvesting and Postharvest Processing of Vegetable Crops and Potatoes. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2022; 32(1):145-173. doi: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202201.145-173>

Введение

Функционирующие элементы сельскохозяйственных машин должны обладать современными оптическими, электронными и механическими устройствами [1–3]. Антропогенное воздействие должно быть сведено к минимуму [4–6]. Для разработки и изготовления современных машинно-технологических комплексов с цифровыми системами автоматического контроля и управления необходимы рекомендации по эксплуатации технических средств для предпосадочной обработки почвы, посева/посадки, уборки и послеуборочной обработки овощных культур и картофеля [7–9].

Цель исследования – разработать автоматизированные машины для возделывания, уборки и послеуборочной обработки овощных культур и картофеля с цифровыми системами управления.

Обзор литературы

В научной литературе описан ряд конструктивных решений по управлению техническими системами функционирующих элементов машин для производства овощных культур. Они позволяют с помощью одного терминала управлять прицепными и навесными машинами. Для тяжелых условий уборки почвы разработано разделительное устройство с двухступенчатой подъемной цепью, в котором длина двухуровневой подъемной цепи составляла 3,1 м, скорость движения машины 1,2 м/с, скорость подъемной цепной линии 1,5 м/с, полнота сепарации картофеля 98,1 %, а степень повреждения 1,1 % [9–11].

Для повышения эффективности разделения в комбинированном комбайне для сбора картофеля разработано вертикальное круговое транспортное устройство для разделения со средней степенью повреждения 1,46 % и уровнем примесей 2,57 % [3]. А. Б. Калинин исследовал влияние коэффициента отражения, вызванного высотой падения, на повреждение картофеля, а также выявил

основные факторы, влияющие на повреждение картофеля [12].

Цель всех вышеупомянутых исследований заключается в снижении потерь качества корнеплодов и картофеля за счет уменьшения количества и интенсивности воздействий в процессе уборки [5]. Взаимодействия картофеля между собой обычно происходят на разделительных устройствах в процессе уборки урожая, где могут быть большие разрывы, повреждения и синяки. Это приводит к большим экономическим потерям для производителей [6]. В связи с этим возникает необходимость в фундаментальных исследованиях механизмов повреждения картофеля [7].

Разработано новое устройство для сепарации картофеля в картофелеуборочном комбайне с двухвибрационным устройством регулировки интенсивности [8; 9]. Для повышения качества уборки были проведены эксперименты по разделению картофеля и почвы в условиях различной интенсивности вибрации. Анализ поверхности отклика помог достичь желаемых характеристик разделения. В таблице 1 систематизированы основные положительные и отрицательные воздействия функциональных параметров технологического и цифрового обеспечения технологий и комплексов машин для производства корнеклубнеплодов и лука.

Обзор литературы свидетельствует о том, что задачи автоматизации решались поэтапно. Это объясняется ограниченностью материальных и трудовых ресурсов. В техническом отношении развитие автоматизации сельскохозяйственного производства характеризовалось переходом от релейно-контактной к электронной, а в последние годы к микропроцессорной технике. Это сопровождалось внедрением автоматизированных информационных технологий, обеспечивающих более высокий уровень отдачи на вложенные ресурсы.

Таблица 1
Table 1

Систематизация функциональных параметров технологического и цифрового обеспечения технологий и комплексов машин для производства овощных корнеплодов, картофеля и лука
Systematization of functional parameters of technological and digital support for technologies and complexes of machines to produce vegetable roots, potatoes and onions

№	Система технологического и цифрового обеспечения технологий и комплексов машин / System of technological and digital support of technologies and machine complexes	Положительные тенденции использования / Positive usage trends	Отрицательные тенденции использования / Negative usage trends
1	Система автоматизации привода навесного оборудования (Qblue Connect / Qblue connect implement drive automation)	Дистанционное управление прицепными и навесными машинами / Remote control of trailed and mounted machines	Невозможность использования на участках с недостаточным сигналом для приема и передачи данных от станций мобильных операторов / Unable to use in areas with insufficient signal to receive and transmit data from the stations of mobile operator
2	Система автоматизации рядовых сеялок USC / USC seed drills automation system	Контроль посева, варьирование нормы высева и схемы распределения семян в синхронизации со скоростью движения посевного агрегата / Control of the sowing process, varying the seeding rate and the seed distribution pattern in synchronization with the speed of the seeding unit	Отсутствие возможности принимать решения по результатам контроля выполнения технологического процесса посева семян овощных культур / Lack of decision-making based on the results of monitoring the implementation of the technological process of sowing vegetable seeds
3	Система автоматического контроля глубины посева Smart Depth / Automatic seeding depth control system Smart Depth	Автоматический контроль глубины заделки семян относительно текущих условий почвы в зависимости от их влажности / Providing automatic control of the seeding depth of seeds relative to the current soil conditions, depending on their moisture content	Ограниченность использования на участках с повышенной влажностью почвы, что обусловлено увеличением интенсивности переувлажнения сошниковых групп для выявления оптимального места внесения семян / Limited use in areas with high soil moisture, which is due to an increase in the intensity of movement of the coulters/groups to identify the optimal place
4	Система цифровых камер Smart View / Smart View digital camera system	Мониторинг процессов очистки и сортировки на уборочных машинах / Monitoring of cleaning and sorting processes on harvesting machines	Низкая эксплуатационная надежность из-за слабой системы контроля и видеофиксации процесса уборки корнеклубнеплодов / Low operational reliability due to contamination of the monitoring system and video recording of the process of harvesting root and tuber crops
5	Автоматические электронные стационарные делители товарной продукции от минеральных примесей и сортирования / Automatic electronic stationary separators of commercial products from mineral impurities and sorting	Сканирование множества объектов с разных ракурсов; распознавание формы, геометрических параметров и других отличительных признаков объекта с расширенным шаблоном программного обеспечения; распознавание признаков болевой корнеклубнеплодов; обнаружение примесей и инородных тел в потоке / Scanning of multiple objects from different angles; recognition of shape, geometric parameters and other distinctive features of the object with an advanced software template; recognition of signs of root crop diseases; detection of impurities and foreign bodies in the flow	Необходимость предварительного сортирования продукта на отдельные размерные фракции; при увеличении влажности смеси из корнеклубнеплодов и примесей разница между дизэлектрическими постоянными товарной продукции и комками почвы начинает уменьшаться, что приводит к ложному срабатыванию устройств отделения; высокая материалоемкость и энергоёмкость технологического процесса / The need to pre-sort the product into separate size fractions; with increasing humidity of the mixture of root crops and impurities, the difference between the dielectric constants of commercial products and clumps of soil begins to decrease, which leads to false operation of separation devices; high material and energy intensity of the technological process

Автоматизация растениеводства сегодня принципиально отличается от уровня начала 1950 – конца 1980-х гг. Информационные методы и системы и телекоммуникационные технологии в агропромышленном комплексе вышли на новый уровень.

Материалы и методы

Эффективность работы машинно-технологического комплекса производства овощных культур зависит от конструктивных, режимных, технологических параметров функционирующих элементов, а также от физико-механических свойств взаимодействующего материала и определяется показателями качества отдельной операции [13–15].

Объектом управления выступает механизм изменения глубины обработки, который представляет собой механизм регулировки опорного колеса (рис. 1).

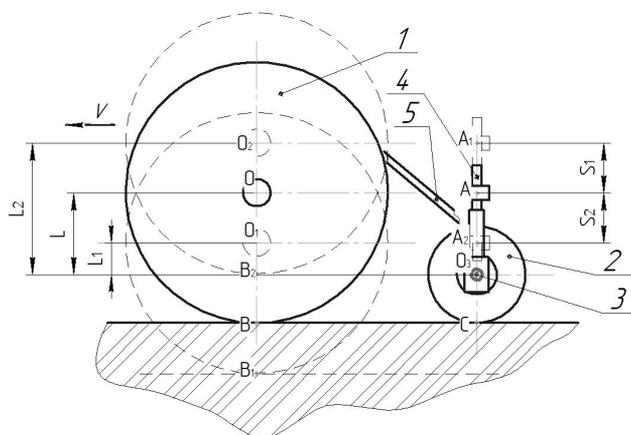
Возмущением G , действующим на объект управления, является изменение расстояния L между осью O вращения колеса 1 энергетического средства и осью вращения O_3 опорных колес 2 машины для обработки почвы.

Изменение расстояния L в большую L_2 или меньшую L_1 сторону компенсируется перемещением штока актуатора из точки A в точку A_2 или A_1 на расстояние S_2 или S_1 соответственно. При обработке для поддержания профилированной (выровненной) предпосевной/предпосадочной подготовки почвы должно соблюдаться условие

$$L = OB. \quad (1)$$

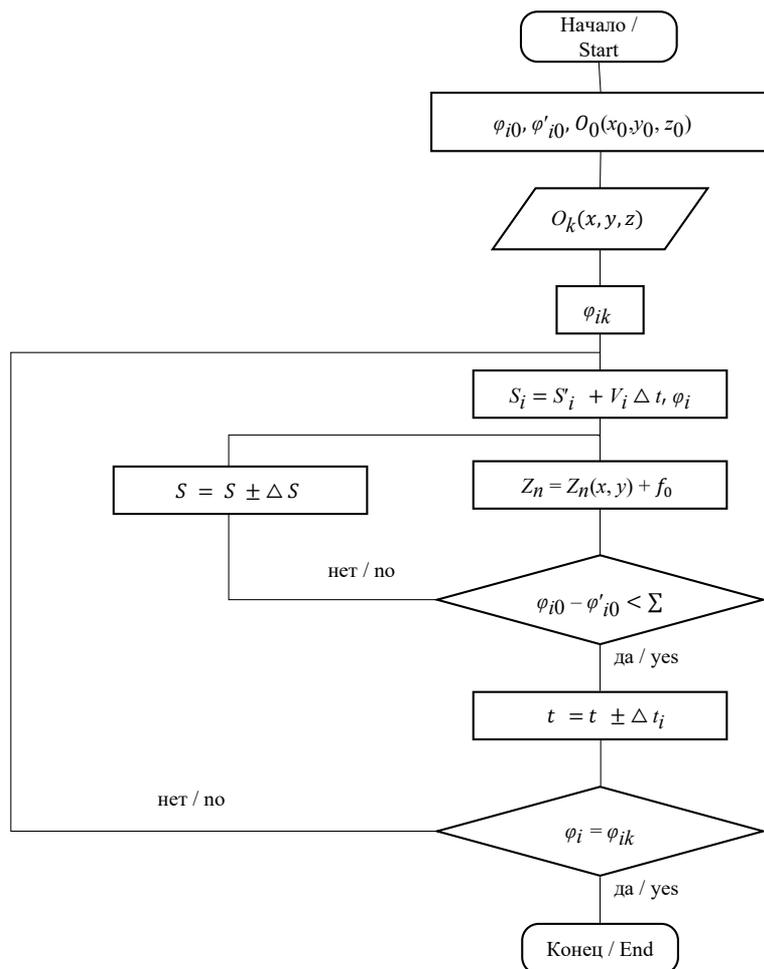
Алгоритм формирования программы управления линейными актуаторами регулирования глубины хода рабочих органов построен из условия идеального отслеживания траектории $O_0O_1O_2$ (рис. 2).

Система управления рабочими процессами машины для посева/посадки семян лука, чеснока, моркови, столовой свеклы и картофеля автоматически регулирует равномерность плотности почвы при заделке семенного/посадочного материала. Необходимо определение и регистрация силового воздействия рабочего органа на почвенный слой соответственно ниже или выше заданных границ поля допуска плотности почвы (рис. 3).



Р и с. 1. Автоматическая система контроля регулирования глубины хода рабочих органов: 1 – колесо энергетического средства; 2 – колесо опорное почвообрабатывающей машины; 3 – датчик лазерный; 4 – электроцилиндр; 5 – устройство навесное

Fig. 1. Automatic control system for adjusting the depth of motion of the working tools: 1 – wheel of the power plant; 2 – support wheel of the tillage machine; 3 – laser sensor; 4 – electric cylinder; 5 – hinged device



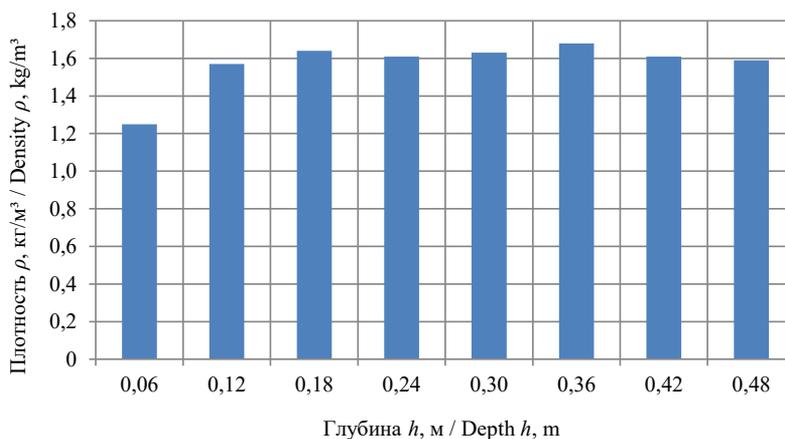
Р и с. 2. Алгоритм формирования программы управления линейными актуаторами регулирования глубины хода рабочих органов
 F i g. 2. Algorithm for making the control program for linear actuators for adjusting the depth of motion of the working tools

Задание и контроль плотности регулируемого дискового заделывающего органа осуществляется автоматически посредством бортового компьютера:

$$\Delta y / y = \delta \rho_{n2} + K_m \cdot 1 / f_m, \quad (2)$$

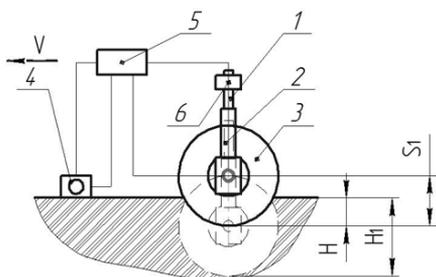
где ρ_{n2} – плотность почвы после прохода сошника, г/см³; K_m – коэффициент преобразования тензодатчика плотности почвы в частоту электрического сигнала; f_m – частота электрического

сигнала на выходе из тензодатчика, Гц [2]. В связи с тем, что заделка посевного/посадочного материала овощных культур осуществляется на глубину от 3 до 5 см, необходимо более тщательно определить интервалы изменения плотности и влажности почвы в указанном интервале посева овощных культур для наиболее распространенных в Центральной России и Среднем Поволжье типов почвы – выщелоченного чернозема [16; 17].



Р и с. 3. Изменение среднего значения плотности почвы по глубине обработки
F i g. 3. Change in the average value of soil density at the depth of processing

Следовательно, конструкция сошниковой группы посадочной машины и режимы работы для обеспечения оптимального уплотненного ложа должны обеспечить плотность семенного ложа $\rho_n = 1,3-1,4$ г/см³ на глубине посева семян (3–5 см). Это происходит благодаря вертикальному перемещению штока электроцилиндра в соответствии с разработанным алгоритмом перемещения (рис. 4).



Р и с. 4. Схема изменения вертикального перемещения прикатывающих рабочих органов посадочной машины: 1 – шток электроцилиндра; 2 – электроцилиндр; 3 – прикатывающий рабочий орган; 4 – датчик плотности почвы; 5 – микроконтроллер; 6 – реле ограничения подъема штока электроцилиндра

F i g. 4. Scheme of changing the vertical movement of the rolling-down working tools of the planting machine: 1 – electric cylinder rod; 2 – electric cylinder; 3 – rolling working body; 4 – soil density sensor; 5 – microcontroller; 6 – relay for limiting the rise of the rod of the electric cylinder

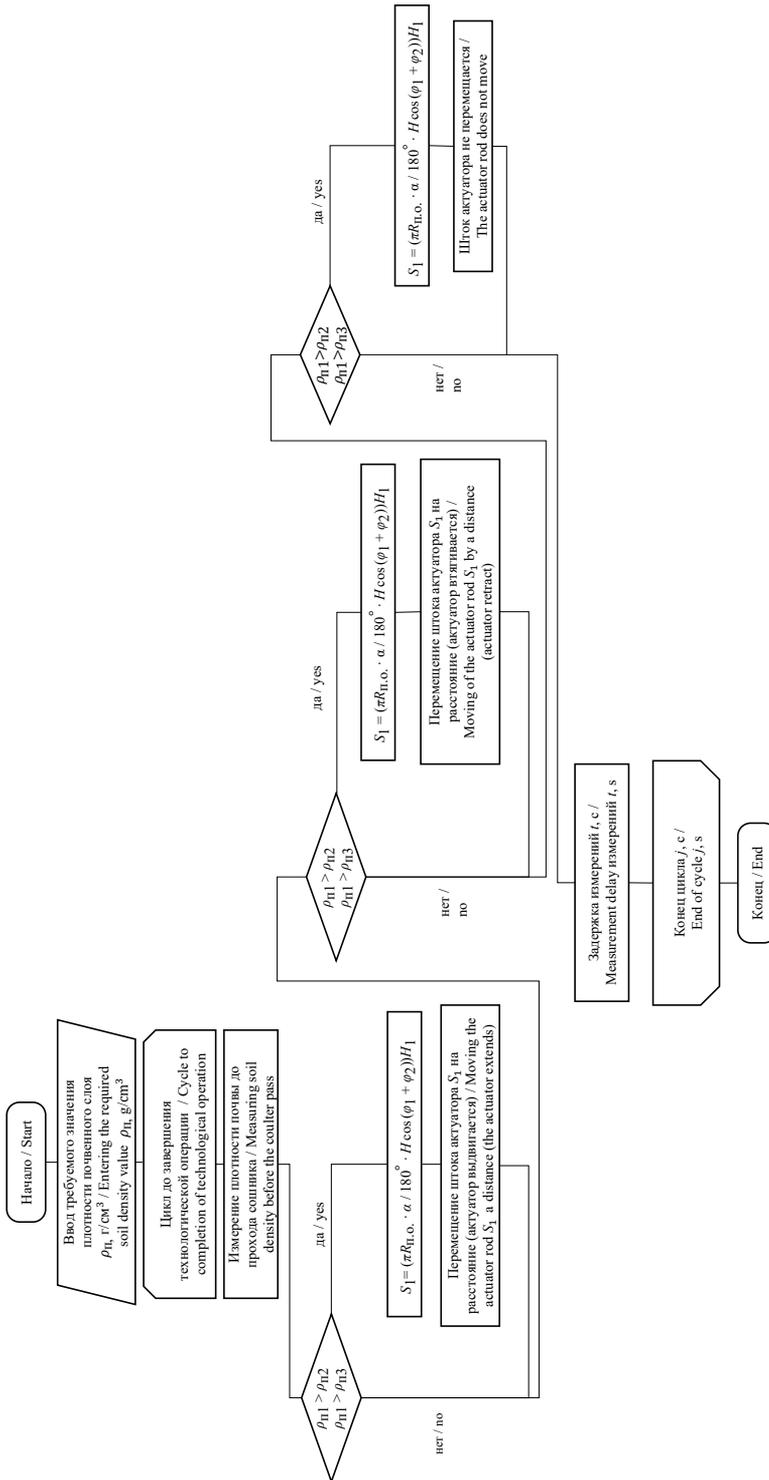
Для разработки алгоритма функционирования изменения силового воздействия прикатывающих катков посевных и посадочных машин необходимо установить функциональную зависимость между плотностью ρ_n и влажностью W почвы:

$$\rho_n = f(W). \quad (3)$$

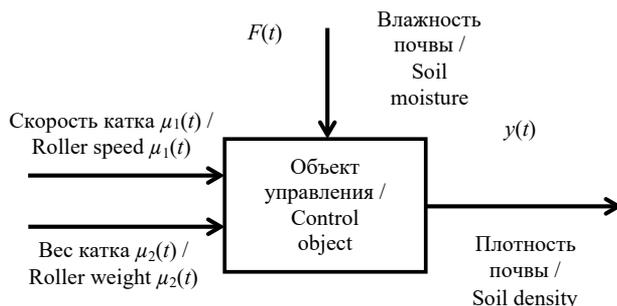
Для выполнения функциональной зависимости (3) необходимо, чтобы ход S_1 штока 1 (рис. 4) электроцилиндра 2 обеспечивал силовое воздействие прикатывающих рабочих органов 3 на слой почвы $\rho_n = 1,3-1,4$ г/см³ при изменении ее влажности $W = 14-26$ % в соответствии с алгоритмом вертикального перемещения прикатывающих рабочих органов посевной/посадочной машины (рис. 5).

Схема управления конструкцией прикатывающего катка представлена на рисунке 6.

Однако известно, что плотность ρ_n почвы изменяется в зависимости от ее влажности W . Следовательно, необходимо определить функциональную зависимость плотности почвы от влажности, представленной выражением (3), что необходимо для программирования микроконтроллера 5 (рис. 4) автоматической системы контроля.



Р и с. 5. Блок-схема алгоритма вертикального перемещения прикатывающих рабочих органов посевной/посадочной машины
 Fig. 5. Block diagram of the vertical movement algorithm of the press-on working bodies of the seeding/planting machine



Р и с. 6. Функциональная схема прикатывающего катка с автоматической системой контроля

F i g. 6. Functional diagram of a press wheel with an automatic control system

Исследования по определению плотности почвы до посева и после, с учетом влажности, проведены в 2020 году в Пензенской области на базе ИП «Бодягин В. И.» (табл. 2).

Графическая интерпретация функциональной зависимости плотности до ρ_{n1} и после ρ_{n2} воздействия прикатывающих катков от влажности почвы представлена на рисунке 7.

Корреляционная связь между плотностью почвы до ρ_{n1} и после ρ_{n2} посева в зависимости от влажности посевного слоя W выражается уравнением параболических функций:

$$\begin{aligned} \rho_{n1} &= 0,27 + 0,11W - 0,22W^2, \\ \rho_{n2} &= 0,95 + 0,06W - 0,002W^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Силовое воздействие прикатывающих катков на посевной/посадочный слой почвы обеспечивается в результате верти-

кального перемещения штока электроцилиндра в соответствии с разработанным алгоритмом перемещения (рис. 5).

Автоматическая система контроля (АСК) рабочего процесса машины для уборки лука должна обеспечивать автоматическую регулировку и контроль

- изменения и поддержания частоты вращения интенсификаторов сепарации в зависимости от фактической урожайности и физико-механических свойств вороха;

- изменения поступательной скорости движения и угла наклона сепарирующих устройств в зависимости от фактической урожайности и физико-механических свойств вороха.

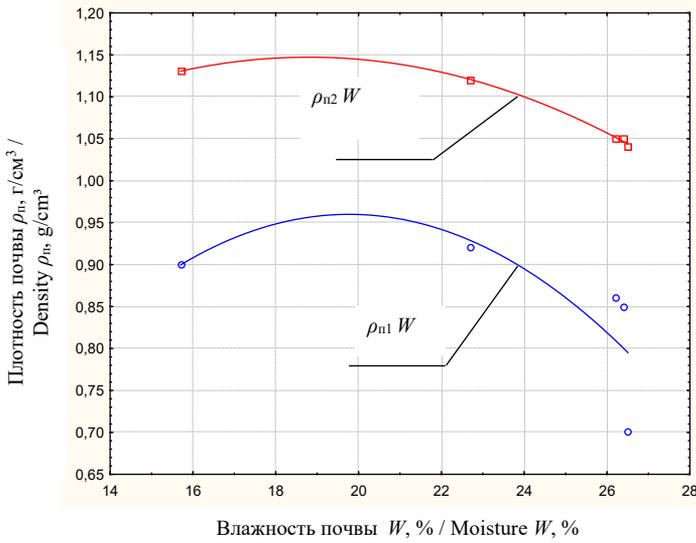
Функциональная схема автоматической системы контроля режимных и технологических параметров сепарирующей системы машины для уборки лука представлена на рисунке 8.

Т а б л и ц а 2

T a b l e 2

Плотность почвы по горизонтам (после посева)
Soil density along the horizons (after sowing)

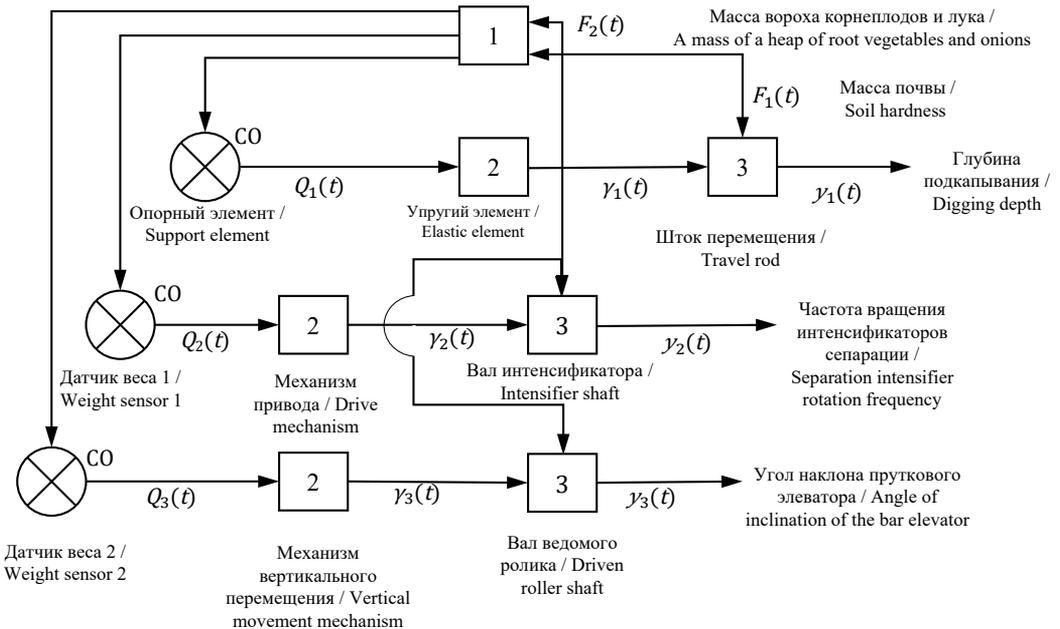
Количество опытов / Number of experiments	Плотность, г/см ³ / Density, g/sm ³				
	Горизонты почвы, м / Soil horizons, m				
	0–0,01	0,01–0,02	0,02–0,03	0,03–0,04	0,04–0,05
1	1,05	1,06	1,08	1,13	1,14
2	1,04	1,07	1,06	1,12	1,15
3	1,05	1,03	1,03	1,12	1,12
Среднее значение / Average value	1,04	1,05	1,05	1,12	1,13



Р и с. 7. Зависимость плотности от влажности

F i g. 7. Dependence of density on moisture

Лемех подкапывающий / Digging ploughshare



Р и с. 8. Функциональная схема системы автоматического контроля режимных и технологических параметров сепарирующей системы машины для уборки лука: 1 – измерительный орган; 2 – рабочий орган; 3 – объект управления

F i g. 8. Functional diagram of the system for automatic control of operating and technological parameters of the separating system of the onion harvesting machine: 1 – measuring body; 2 – working body; 3 – control object

В каждый момент времени происходит изменение возмущающего воздействия $F_2(t)$ (массы вороха лука), которое воспринимается измерительным органом (ИО) (датчик веса) 1 и передается на сравнивающий орган – блок управления (БУ). Если измеряемая величина больше определенного значения, то сигнал поступает на рабочий орган (РО) (механизм вертикального перемещения) 2 и передается на объект управления (ОУ) (вал ведомого ролика и вал интенсификатора) 3, изменяющий управляемую величину $y_2(t)$ и $y_3(t)$ (рис. 8).

В случае если возмущающее воздействие $F_2(t)$, воспринимаемое ИО, на сходе с первого пруткового элеватора отличается от требуемого значения массы вороха корнеплодов и лука, то сигнал передается на сравнивающий орган БУ. Далее он поступает на РО и передается на ОУ[5].

Конструктивно-технологическая схема автоматизированной сепарирующей системы машины для уборки лука представлена на рисунке 9.

При определении подачи вороха лука на подкапывающий лемех вос-

пользуемся функциональной зависимостью, выведенной в одном из предыдущих исследований коллектива авторов:

$$Q_{\text{Вп}} = m \cdot V_{\text{л}} / L, \quad (5)$$

где m – масса луко-почвенного вороха, кг; $V_{\text{л}}$ – поступательная скорость движения уборочной машины, м/с; L – длина подкапывающего лемеха, м [14].

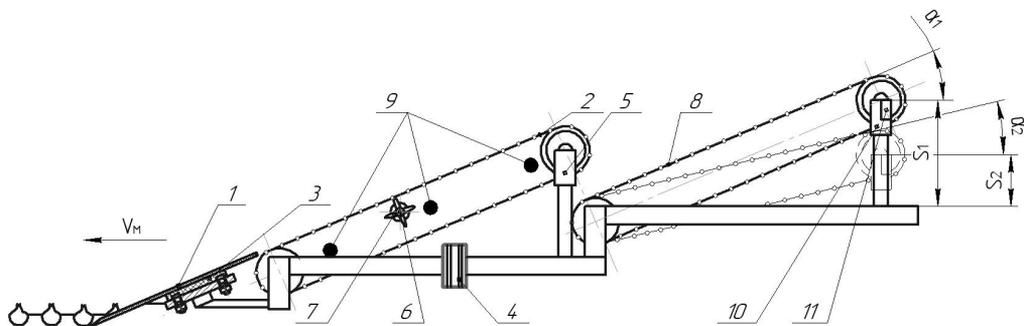
Изменение положения пруткового элеватора в горизонтальной плоскости обеспечивается смещением опорного вала по опорной стойке на расстояние S_1 согласно аналитической зависимости

$$S_1 = (L_{\text{эл}} - D_{\text{вед}} / 2 + D_{\text{пр}} / 2) \cdot \sin \alpha_2, \quad (6)$$

где $L_{\text{эл}}$ – длина пруткового элеватора, м; $D_{\text{вед}}$ – диаметр ведомого вала барабана пруткового элеватора, м; $D_{\text{пр}}$ – диаметр приводного вала барабана пруткового элеватора, м.

Частота вращения интенсификаторов сепарации в зависимости от массы вороха, поступающего на очистку от механических примесей,

$$n_{\text{ин}} = (30 \cdot (Q_{\text{В.эл}} \cdot L_{\text{эл}}) / m) \cdot \pi, \quad (7)$$



Р и с. 9. Схема автоматизированной сепарирующей системы машины для уборки лука: 1 – лемех подкапывающий; 2, 8 – прутковый элеватор; 3 – датчик веса подкапывающего лемеха; 4 – микроконтроллер; 5 – опорная стойка пруткового элеватора; 6 – интенсификаторы сепарации; 7 – электродвигатели привода интенсификаторов; 9 – датчик инерционный; 10 – реле ограничения подъема; 11 – электроцилиндр

F i g. 9. Diagram of the automated separating system of the onion harvester: 1 – burrowing share; 2, 8 – bar elevator; 3 – weight sensor of the digging share; 4 – microcontroller; 5 – support post of the bar elevator; 6 – separation intensifiers; 7 – electric motors for driving intensifiers; 9 – inertial sensor; 10 – lifting limit relay; 11 – electric cylinder

где $Q_{В.эл}$ – сход вороха лука, кг; m – масса вороха лукович на прутковом элеваторе, кг; $L_{эл}$ – длина пруткового элеватора, м.

Для повышения качества сортирования корнеклубнеплодов и лука по размерному признаку необходимо разработать систему автоматического контроля режимных и технологических параметров. Она позволит исключить ручное сортирование на переборочных столах линии для послеуборочной обработки.

Качественное сортирование корнеклубнеплодов необходимо обеспечить при совершенствовании процесса распознавания сортируемого материала на рабочей поверхности с помощью системы технического зрения.

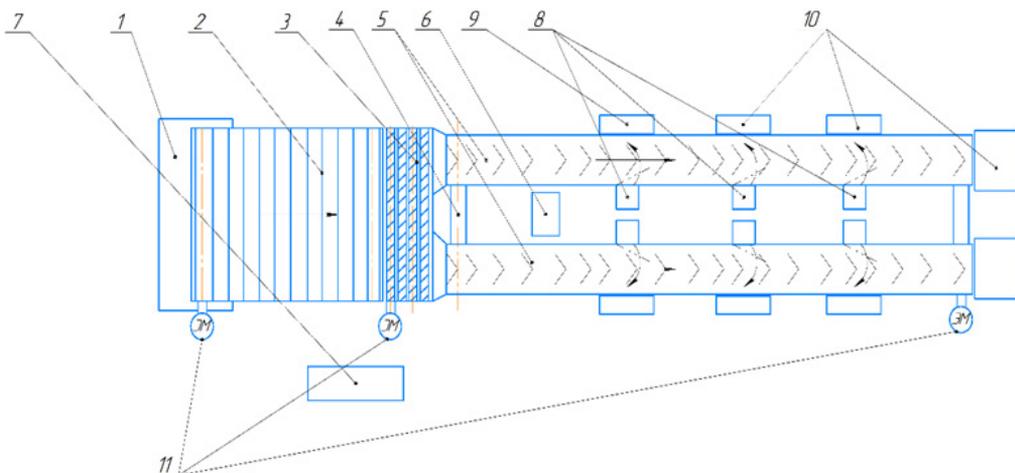
Комплекс машин для послеуборочной обработки корнеклубнеплодов и лука с системой контроля параметров отдельных функционирующих элементов представлен на рисунке 10 [18–21].

Для распознавания некондиционной товарной продукции разработана

блок-схема функционирования электронной системы линии (рис. 11).

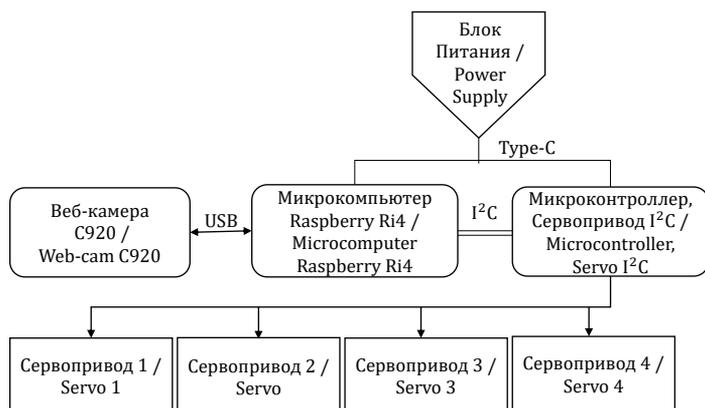
Сортирование корнеклубнеплодов обеспечивается за счет разделения поврежденной и товарной продукции при скатывании по специальным лоткам. Поступательное движение передаточных транспортеров, а также спиральных очистителей вороха осуществляется при силовой нагрузке электродвигателей. Поток корнеклубнеплодов разделяется транспортерным устройством, представленным двухполосной резиновой лентой, рабочая поверхность которой имеет технологические выступы под углом 45° относительно осевой линии.

Данное конструктивное исполнение позволяет распознавать некондиционную товарную продукцию и перемещать качественную к исполнительным механизмам представленными упруго-пластичными элементами [21; 22].



Р и с. 10. Конструктивно-технологическая схема линии для сортирования корнеклубнеплодов и лука с системой автоматического контроля режимных и технологических параметров: 1 – приемный бункер; 2 – передаточный транспортер; 3 – спиральный очиститель вороха; 4 – транспортерное сортировочное устройство; 5 – транспортерные ленты; 6 – камера; 7 – блок управления; 8 – исполнительные механизмы; 9, 10 – лотки; 11 – электродвигатели

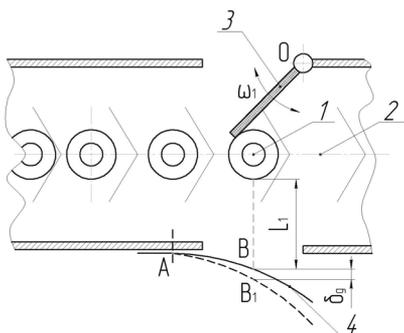
F i g. 10. Structural and technological scheme of a line for sorting root and tuber crops and onions with an automatic control system for operating and technological parameters: 1 – receiving hopper; 2 – transfer conveyor; 3 – spiral heap cleaner; 4 – conveyor sorting device; 5 – conveyor belts; 6 – camera; 7 – control unit; 8 – executive mechanisms; 9, 10 – trays; 11 – electric motors



Р и с. 11. Блок-схема автоматизированной линии сортировки корнеклубнеплодов и лука

F i g. 11. Block diagram of an automated line for sorting root and tuber crops and onions

Рабочая поверхность исполнительного механизма уменьшает повреждения корнеклубнеплодов при повышении силы взаимодействия для перемещения их в лотки (рис. 12).



Р и с. 12. Взаимодействие луковицы с исполнительным механизмом:

1 – луковица; 2 – лента транспортерная;
3 – механизм исполнительный; 4 – лоток упругий

F i g. 12. Interaction of the onion bulb with the actuator: 1 – onion; 2 – conveyor belt; 3 – executive mechanism; 4 – elastic tray

Для проверки разработанных алгоритмов функционирования систем автоматического контроля режимных и технологических параметров машин для производства овощных корнеплодов, картофеля и лука необходимо выполнить экспериментальные исследования в лабораторных и производственных

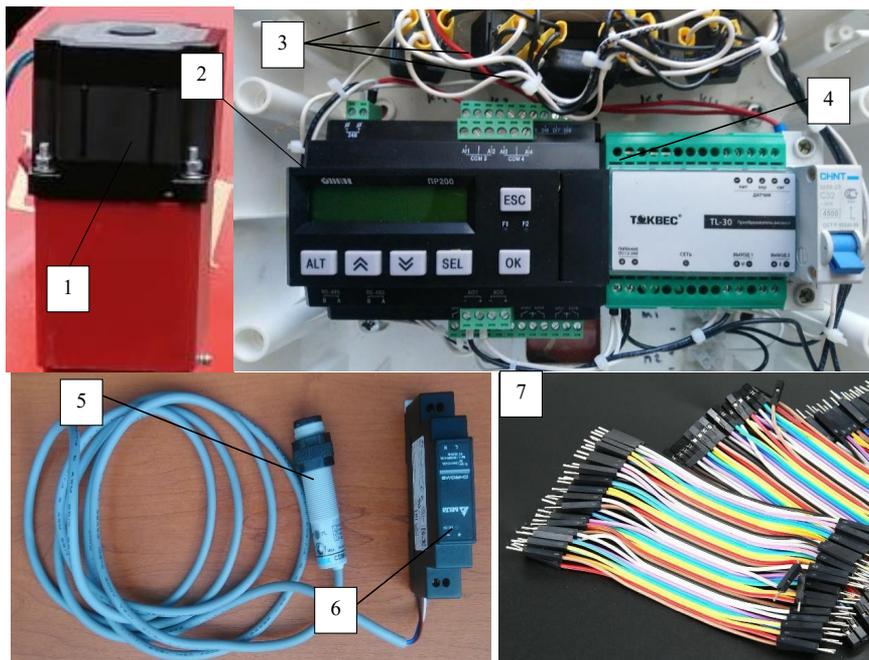
условиях. Важно изготовить разрабатываемые системы и установить на машинно-технологические комплексы.

Результаты исследования

Общий вид программно-аппаратных средств системы автоматического контроля регулирования глубины хода рабочих органов машины для предпосевной/предпосадочной обработки почвы представлен на рисунке 13.

Для проверки разработанных алгоритмов функционирования системы автоматического контроля регулирования глубины хода рабочих органов машины для предпосадочной обработки почвы необходимо выполнить экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях. Результаты позволили установить разработанную систему (рис. 14).

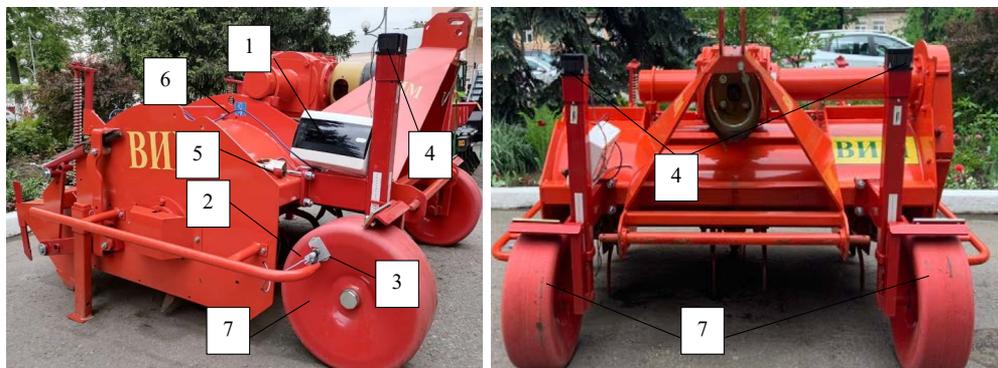
В связи с тем, что объектом исследований является технологический процесс предпосадочной обработки почвы с цифровой системой автоматического контроля и управления при сохранении конструктивных параметров почвообрабатывающей машины, установленными заводом-изготовителем, основными факторами, влияющими на равномерность глубины обработки почвы при проведении экспериментальных



Р и с. 13. Программно-аппаратные средства системы автоматического контроля регулирования глубины хода рабочих органов машины для предпосевной/предпосадочной обработки почвы:

- 1 – двигатель шаговый; 2 – микроконтроллер; 3 – реле ограничения подъема;
- 4 – преобразователь веса; 5 – фотодатчик отражения от световозвращателя; 6 – блок питания;
- 7 – провода соединительные

Fig. 13. Software and hardware of the automatic control system for adjusting the depth of travel of the working tools of the machine for pre-sowing/pre-planting soil cultivation: 1 – stepper motor; 2 – microcontroller; 3 – lifting limit relay; 4 – weight converter; 5 – photosensor of reflection from the reflector; 6 – power supply unit; 7 – connecting wires



Р и с. 14. Общий вид культиватора ГПК-2-01 для обработки почвы, оснащенного системой автоматического контроля регулирования глубины обработки почвы: 1 – блок управления; 2 – фотодатчик отражения от световозвращателя; 3 – световозвращатель; 4 – двигатель шаговый; 5 – муфта разъемная; 6 – провода соединительные; 7 – колесо опорное

Fig. 14. General view of the GPK-2-01 cultivator for tillage, equipped with an automatic control system for adjusting the depth of tillage: 1 – control unit; 2 – photosensor of reflection from the reflector; 3 – reflector; 4 – stepper motor; 5 – detachable clutch; 6 – connecting wires; 7 – support wheel

исследований, являлась поступательная скорость движения $V_{до}$ агрегата для обработки почвы и частота вращения $n_{до}$ фрезерного барабана.

Критерием оптимизации при проведении экспериментальных исследований стала равномерность глубины обработки, то есть расстояние от поверхности необработанного поля до дна борозды, образованной рабочим органом.

Зависимость критерия оптимизации от исследуемых параметров представлена на рисунках 15 и 16.

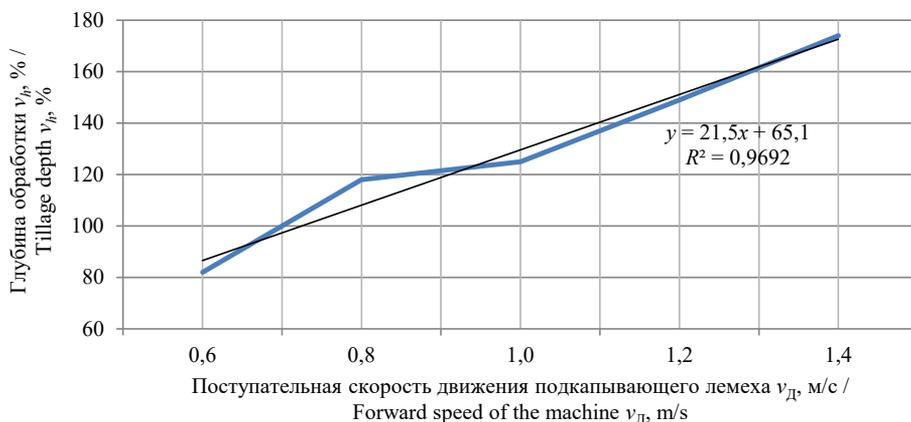
Результаты статистической обработки экспериментальных исследований представлены на рисунках 16 и 17. Они позволяют получить основные статистические характеристики эксперимента: значение табличного t -критерия, $t_{0,05} = 3,66$; табличное значение критерия Фишера при 5-процентном уровне значимости для полученного уравнения $F_T = 5,32$; расчетное значение критерия Фишера при 5-процентном уровне значимости для полученного уравнения $F = 2,2$.

С учетом полученных результатов можно указать следующие оптимальные значения основных параметров комбинированного почвообрабатываю-

щего агрегата: поступательная скорость движения машины $v_d = 1,1$ м/с, частота вращения фрезерного барабана $n_{до} = 148$ мин⁻¹ при значениях коэффициента вариации глубины обработки v_h в пределах от 13 до 17 %.

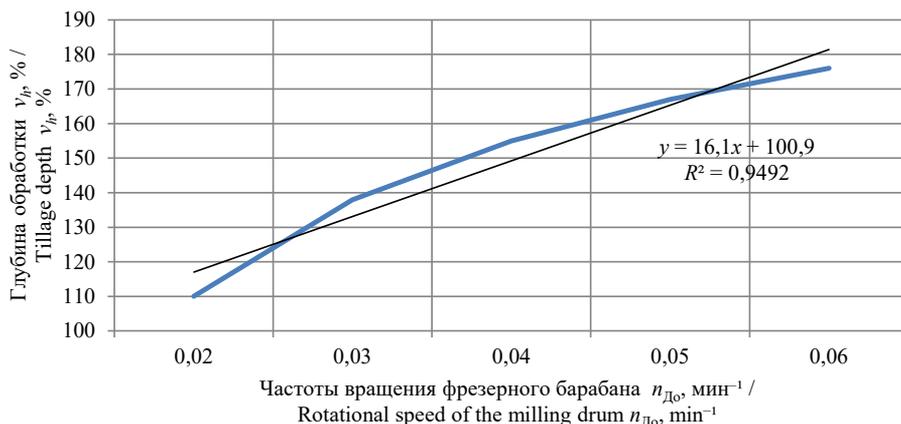
Результаты экспериментальных исследований системы предпосевной/предпосадочной обработки почвы с автоматической системой контроля регулирования глубины хода рабочих органов почвообрабатывающих машин позволили определить, что равномерность обработки почвы по глубине составляет не менее 90 %, отклонение глубины обработанного слоя – не более ± 1 см; глыбистость – не более 10–15 %; максимальная высота оставшихся гребней – до 3 см.

Результаты исследований, представленные на рисунках 4–7, позволили разработать систему автоматического контроля плотности почвы при посадке чеснока. Она состоит из основных аппаратно-программных средств: актуаторов поддержания и заглубления прикатывающих рабочих органов, микроконтроллера, блока управления, тензодатчика определения силового воздействия, датчика влажности почвы, блока питания (рис. 17).



Р и с. 15. График зависимости коэффициента вариации глубины обработки (v_h , %) от поступательной скорости движения машины (v_d , м/с) при $n_{до} = \text{const}$

F i g. 15. Graph of the dependence of the coefficient of variation of the tillage depth (v_h , %) on the forward speed of the machine (v_d , m/s) at $n_{до} = \text{const}$



Р и с. 16. График зависимости коэффициента вариации глубины обработки (v_h , %) от частоты вращения фрезерного барабана ($n_{до}$, мин^{-1}) при $v_d = \text{const}$

F i g. 16. The graph of the dependence of the coefficient of variation of the depth of processing (v_h , %) of the rotational speed of the milling drum ($n_{до}$, мин^{-1}) at $v_d = \text{const}$



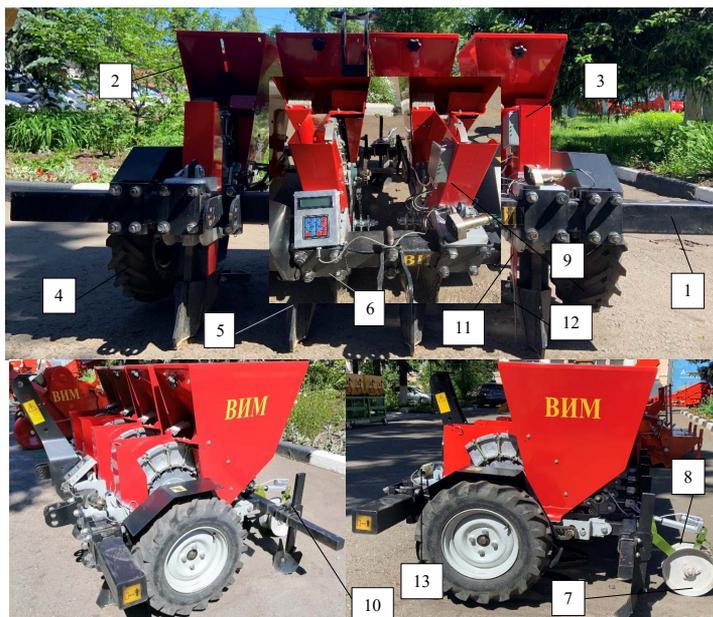
Р и с. 17. Программно-аппаратные средства системы автоматического контроля плотности почвы посадочной машины: 1 – электроцилиндр; 2 – микроконтроллер; 3 – блок управления; 4 – тензодатчик; 5 – провода соединительные

F i g. 17. Software and hardware of the automatic soil density control system of the planting machine: 1 – electric cylinder; 2 – microcontroller; 3 – control unit; 4 – strain gauge; 5 – connecting wires

С использованием программно-аппаратных средств проведены эксперименты по проверке алгоритмов работы линейных актуаторов в лабораторных условиях Федерального научного агроинженерного центра ВИМ. Результаты позволили установить разработанную систему автоматического контроля

плотности почвы машины для посадки чеснока (рис. 18).

Для регулирования силового воздействия на слой почвы при посадке внесены изменения в бороздозакрывающие рабочие органы, а именно: выполнен демонтаж одной секции заделывающих рабочих органов б, представленных



Р и с. 18. Общий вид машины для посадки чеснока: 1 – брус поперечный опорный; 2 – бункер; 3 – высаживающий аппарат; 4 – опорно-приводные колеса; 5 – сошник; 6 – бороздозакрывающий рабочий орган; 7 – прикатывающий каток; 8 – электроцилиндр; 9 – микроконтроллер; 10 – блок управления; 11 – тензодатчик; 12 – датчик влажности почвы; 13 – муфта разъемная

F i g. 18. General view of the machine for planting garlic: 1 – transverse support bar; 2 – bunker; 3 – planting device; 4 – supporting and driving wheels; 5 – opener; 6 – furrow-closing working body; 7 – a rolling rink; 8 – electric cylinder; 9 – microcontroller; 10 – control unit; 11 – strain gauge; 12 – soil moisture sensor; 13 – split clutch

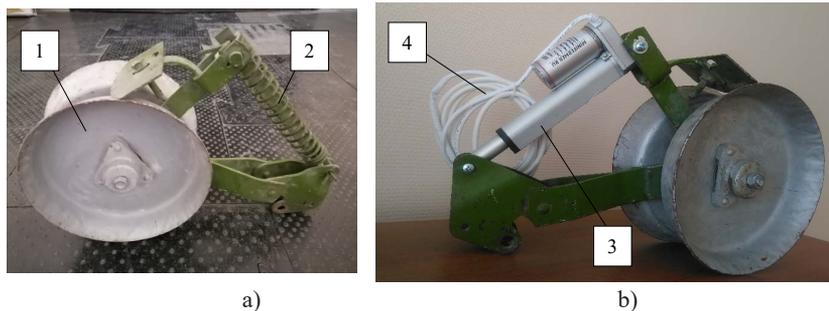
пассивными загортачами (рис. 18), и установлены прикатывающие катки (рис. 19). Они совершают вертикальное перемещение в соответствии с разработанным алгоритмом (рис. 5).

Кроме того, результаты экспериментальных исследований по определению плотности почвы прикатывающим катком с АСК свидетельствуют о том, что размах вариации изменяется в пределах 17 %, а средне линейное отклонение 4,7 % при воздействии электроцилиндра на почвенный слой 7 000 Н/м (рис. 20).

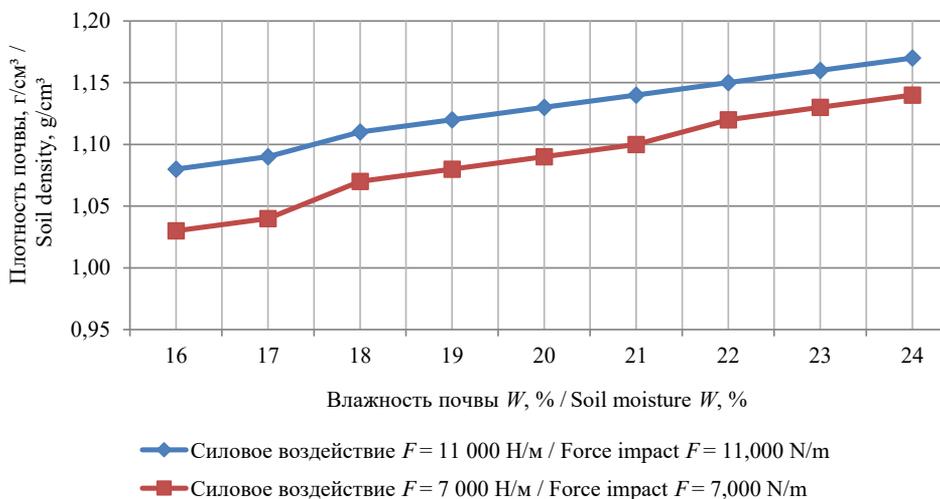
После посадки чеснока произведены замеры плотности почвы с пятикратной повторностью за исследуемыми участками посадочных секций бороздозакрывающих рабочих органов. Результаты

сравнительных исследований (табл. 3) изменения равномерности уплотнения почвы свидетельствуют о повышении показателя в результате изменения конструктивной схемы заделывающего устройства посадочной машины.

Для реализации алгоритма управления линейными актуаторами системы автоматического контроля регулирования и контроля угла наклона пруткового элеватора α и частоты вращения интенсификаторов сепарации $n_{\text{ин}}$ необходимы основные аппаратно-программные средства для расположения в конструкции уборочной машины (рис. 21), а именно: тензометрический датчик веса подкапывающего лемеха (рис. 22), линейные актуаторы поддержания и изменения вертикального положения барабана



Р и с. 19. Общий вид: а) прикатывающий механизм с пружинным механизмом; б) прикатывающий механизм с электроцилиндром; 1 – каток прикатывающий; 2 – пружинный упругий механизм; 3 – электроцилиндр; 4 – провода соединительные
 F i g. 19. General view: а) a rolling mechanism with a spring mechanism; б) a rolling mechanism with an electric cylinder; 1 – rolling roller; 2 – spring elastic mechanism; 3 – electric cylinder; 4 – connecting wires



Р и с. 20. Результаты экспериментальных исследований зависимости влажности почвы на степень уплотнения посевного слоя
 F i g. 20. Results of experimental studies of the dependence of soil moisture on the degree of compaction of the seed layer

Т а б л и ц а 3
 T a b l e 3

Результаты измерения плотности почвы
Results of measuring soil density

Вид бороздозакрывающего рабочего органа / View of the furrow-closing working body	Средняя плотность по посевному слою, кг/м³ / Average density over the sowing layer, kg/m³		
	0–20 мм / 0–20 mm	20–40 мм / 20–40 mm	40–60 мм / 40–60 mm
Полозovidный загортач / Sliver harvester	990	1 120	1 430
Прикатывающий каток с автоматической системой контроля плотности / Packer roller with automatic density control	1 120	1 340	1 760

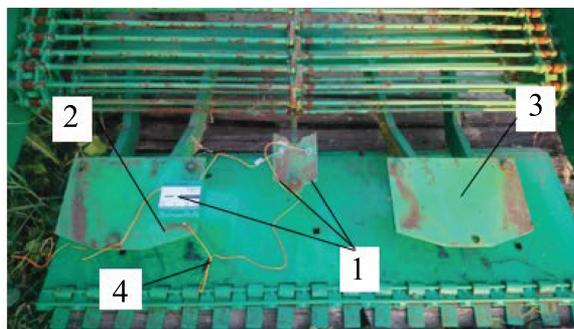


Р и с. 21. Общий вид машины для уборки корнеплодов и лука с системой автоматического контроля регулирования угла наклона полотна пруткового элеватора и частоты вращения встряхивателей:

1 – рама; 2 – приемный лемех для подкапывания/подбора корнеплодов и луковиц; 3 – колеса опорные; 4 – основной сепарирующий прутковый элеватор; 5 – дополнительный прутковый элеватор; 6 – каток-ложеобразователь; 7 – плита регулировочная встряхивателя; 8 – лоток сужающий; 9 – электроцилиндры; 10 – датчик веса лемеха подкапывающего; 11 – микроконтроллер

F i g. 21. General view of a machine for harvesting root crops and onions with an automatic control system for adjusting the angle of inclination of the bar elevator web and the frequency of rotation of the shakers:

1 – frame; 2 – receiving ploughshare for digging/picking up root crops and onion bulbs; 3 – supporting wheels; 4 – main separating bar elevator; 5 – additional bar elevator; 6 – bed former; 7 – shaker adjusting plate; 8 – narrowing tray; 9 – electric cylinders; 10 – weight sensor of the undercut share; 11 – microcontroller



Р и с. 22. Тензометрический датчик веса подкапывающего лемеха: 1 – датчик веса; 2 – преобразователь весовой; 3 – плита опорная; 4 – соединительные провода

F i g. 22. Strain gauge weight sensor of the undercut share: 1 – weight sensor; 2 – weight converter; 3 – support plate; 4 – connecting wires

пруткового элеватора, микроконтроллер, драйвер моторов, бесконтактный лазерный датчик, блок питания, а также шаговые электродвигатели привода интенсификаторов сепарации и частоты

вращения, которые предназначены для контроля частоты вращения (скорости) привода электродвигателей и их аварийного отключения при снижении частоты вращения относительно установленного

предельного значения, а также для контроля скорости линейного перемещения пруткового элеватора.

Для реализации алгоритма управления линейными актуаторами системы автоматического контроля регулирования угла наклона пруткового элеватора и частоты вращения интенсификаторов сепарации необходимо провести исследование по определению подачи вороха лука на сепарирующие рабочие органы и массы просеянных почвенно-растительных примесей в зависимости от глубины подкапывания [23].

Проверка показателей качества работы уборочной машины в полевых условиях выполнялась при изменении параметров в следующих пределах:

- глубина погружения в почву подкапывающего лемеха $h_{л} = 0,02-0,06$ м;
- поступательная скорость движения машины для уборки лука $v_{к} = 1,0-1,8$ м/с;
- поступательная скорость движения полотна пруткового элеватора $v_{эл} = 1,55-1,67$ м/с.

Результаты статистической обработки экспериментальных исследований качества уборки лука позволили получить графические зависимости полноты сепарации вороха лука v и повреждений луковец Π от исследуемых параметров при получении аналитической зависимости

$$\begin{cases} v = 103,32 - 324 \cdot h_{л} + 3000,8 \cdot h_{л}^2, \\ \Pi = 1,52 - 3,28 \cdot h_{л} - 71,42 \cdot h_{л}^2. \end{cases} \quad (8)$$

Графическая зависимость на рисунке 23 свидетельствует о снижении полноты сепарации и повреждениях товарной продукции (1,1 %) при увеличении глубины подкапывания более 0,02 м при значении качества очистки 98 %.

Увеличение поступательной скорости движения машины для уборки корнеплодов и лука $v_{к}$ способствует

повышению повреждений до 1,6 % и полноты сепарации более 97 % в интервале значений исследуемого параметра от 0,9 до 1,8 м/с, что отображает аналитическая зависимость

$$\begin{cases} v = 115,29 - 23,7 \cdot v_{к} + 6,78 \cdot v_{к}^2, \\ \Pi = 1,39 - 0,85 \cdot v_{к} + 0,53 \cdot v_{к}^2. \end{cases} \quad (9)$$

Величина смещения распределения полноты сепарации и повреждений луковец на прутковом элеваторе с регулируемым углом наклоном полотна

$$\begin{aligned} X_{смv} &= X_0 - \frac{(X_2 - X_0)}{2} = \\ &= 96,5 - \frac{(96,8 - 96,5)}{2} = 96,35 \%. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{см\Pi} &= X_0 - \frac{(X_2 - X_0)}{2} = \\ &= 1,0 - \frac{(1,2 - 1,0)}{2} = 0,9 \%. \end{aligned}$$

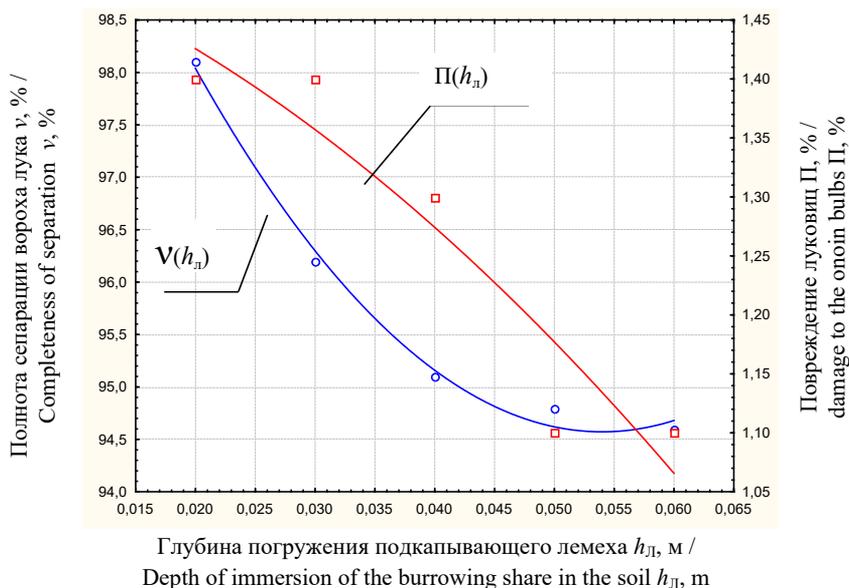
Среднее значение полноты сепарации и повреждений

$$\begin{aligned} X_{срv} &= \frac{\sum_{j=0}^{N-1} X_j}{N} = 98,0 \%, \\ X_{ср\Pi} &= \frac{\sum_{j=0}^{N-1} X_j}{N} = 1,95 \%. \end{aligned}$$

Среднеквадратическое отклонение полноты сепарации и повреждений

$$\begin{aligned} \text{Stdev}(x_v) &= \sqrt{\frac{\sum_{j=0}^{N-1} (X_{ср} - X_j)^2}{N-1}} = 1,67. \\ \text{Stdev}(x_{\Pi}) &= \sqrt{\frac{\sum_{j=0}^{N-1} (X_{ср} - X_j)^2}{N-1}} = 0,293. \end{aligned}$$

Коэффициент вариации полноты сепарации и повреждений



Р и с. 23. Зависимость полноты сепарации v , %, и повреждений луковиц $П$, %, сепарирующего пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна от глубины $h_{л}$ погружения подкапывающего лемеха в почву

Fig. 23. Dependence of the completeness of separation v , %, and damage to the onion bulbs $П$, %, of the separating bar elevator with an adjustable angle of inclination of the web on the depth $h_{л}$ of immersion of the burrowing share in the soil

$$v_v = \frac{\text{Stdev}(x)}{X_{CP} - X_{CM}} = \frac{1,67}{98,0 - 96,35} = 0,311.$$

$$T_{П} = qt \left(1 - \frac{\alpha}{2}, v \right) = 1,001.$$

$$v_{п} = \frac{\text{Stdev}(x)}{X_{CP} - X_{CM}} = \frac{0,293}{1,95 - 0,9} = 0,238.$$

Математическое ожидание $M(X)$ нормального закона распределения сепарации вороха лука и его повреждений на прутковом элеваторе с регулируемым углом наклона полотна

$$M(X_v) = 0,2,$$

$$M(X_{п}) = 0,3.$$

Квантиль распределения Стьюдента

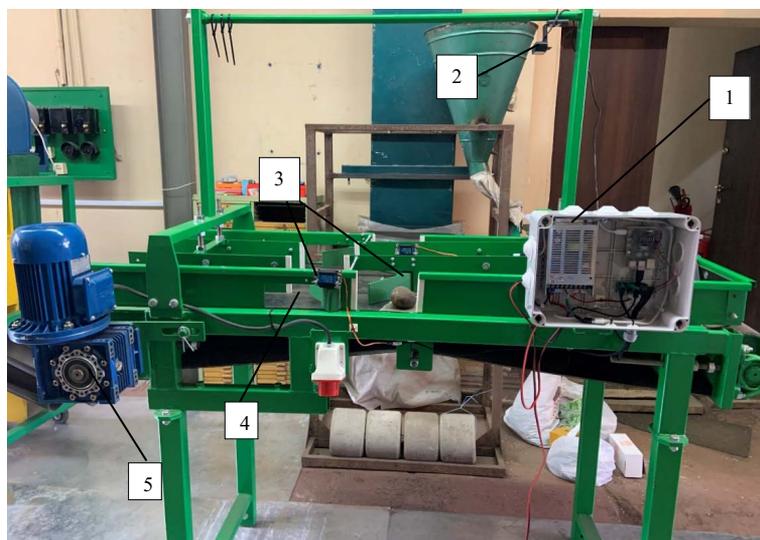
$$T_v = qt \left(1 - \frac{\alpha}{2}, v \right) = 2,012,$$

Общий вид линии для послеуборочной обработки картофеля, лука, моркови и столовой свеклы с автоматической системой контроля, а также сортировочного стола представлен на рисунке 24.

При проведении производственных исследований линии для сортирования корнеклубнеплодов и лука с системой автоматического контроля режимных и технологических параметров по определению оптимального значения поступательной скорости движения транспортера сортировального стола $v_{ТР}$ устанавливались подача луковиц $Q_{л} = 6,5$ кг/с и время срабатывания исполнительного механизма сортирования $t_{л} = 1,4$ с (рис. 25).



a)



b)

Р и с. 24. Общий вид линии для послеуборочной обработки картофеля, лука, моркови и столовой свеклы с автоматической системой контроля: а) 1 – приемный бункер; 2 – передаточный транспортер; 3 – спиральный очиститель вороха; 4 – стол сортировочный; 5 – транспортерные ленты; 6 – электродвигатели; б) 1 – блок управления; 2 – камера; 3 – исполнительные механизмы; 4 – лотки; 5 – электродвигатель привода транспортерной ленты

F i g. 24. General view of the line for post-harvest processing of onion bulbs, carrots and beets with an automatic control system: а) 1 – receiving hopper; 2 – transfer conveyor; 3 – spiral heap cleaner; 4 – sorting table; 5 – conveyor belts; 6 – electric motors; б) 1 – control unit; 2 – camera; 3 – actuators; 4 – trays; 5 – conveyor belt drive electric motor



Р и с. 25. Программно-аппаратные средства автоматической системы контроля линии для послеуборочной обработки корнеплодов, картофеля и лука: 1 – микроконтроллер Arduino Mega 2560; 2 – блок питания; 3 – сервопривод SG90; 4 – исполнительный механизм; 5 – газоразрядная лампа высокого давления «ДНaТ-400»; 6 – кронштейн крепления камеры; 7 – веб-камера Logitech HD Pro C920

Fig. 25. Software and hardware of the automatic line control system for post-harvest processing of root crops, potatoes and onion bulbs: 1 – microcontroller Arduino Mega 2560; 2 – power supply unit; 3 – SG90 servo drive; 4 – actuator; 5 – high pressure gas discharge lamp DNaT-400; 6 – camera mounting bracket; 7 – webcam Logitech HD Pro C920

Результаты статистической обработки экспериментальных исследований позволили получить графическую (рис. 26) и аналитическую (10) зависимости показателей качества сортирования от режимных параметров разработанной системы автоматического контроля и управления.

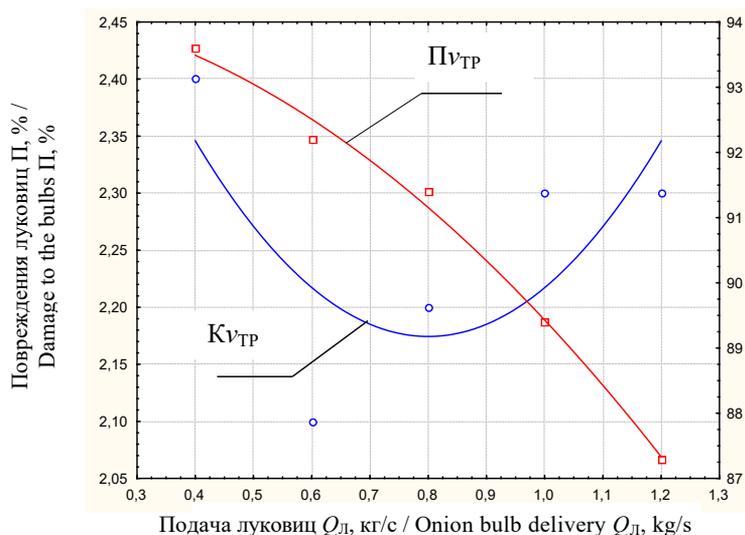
$$\begin{cases} \Pi = 2,86 - 1,71v_{\text{ТР}} + 1,07v_{\text{ТР}}^2, \\ \text{К} = 94,34 - 0,27v_{\text{ТР}} - 4,64v_{\text{Д}}^2. \end{cases} \quad (10)$$

Максимальная точность сортирования товарной продукции более 91 % определяется числовыми значениями технологических параметров при адекватности математической модели

выражения (10). Они определяются сравнением расчетного и табличного критериев Фишера ($F_{\text{T}} = 2,1 > F = 1,97$) в интервале значения поступательной скорости движения транспортера сортировального стола, равной 1,2 м/с, при повреждении лукович 2,3 %, что соответствует агротехническим требованиям к послеуборочной обработке.

Обсуждение и заключение

Результаты проведенных аналитических и экспериментальных исследований по разработке алгоритмов и программно-аппаратных средств функционирования отдельных элементов машин для возделывания, уборки и послеуборочной обработки овощных



Р и с. 26. Зависимость точности сортирования и повреждений луковиц от поступательной скорости движения транспортера сортировального стола

Fig. 26. Dependence of sorting accuracy and damage to bulbs on the forward speed of the conveyor of the sorting table

культур и картофеля с цифровыми системами управления позволили автоматизировать ряд систем:

1. Система автоматического контроля глубины обработки почвы. Для этого внесены изменения в механизм регулировки опорного колеса, совершающего вертикальное перемещение в соответствии с разработанным алгоритмом.

2. Система контроля машины для посадки чеснока. Она автоматически регулирует равномерность плотности почвы при заделке посадочного материала при определении и регистрации силового воздействия рабочего органа на почвенный слой соответственно ниже или выше заданных границ поля допуска плотности почвы.

3. Система контроля режимных и технологических параметров машины для уборки лука. Она позволяет повысить качество уборки в результате регулирования частоты вибрации интенсификаторов сепарации, поступательной скорости движения и угла наклона сепарирующих устройств в зависимости от

фактической урожайности и физико-механических свойств вороха.

4. Система контроля линии для послеуборочной обработки картофеля, лука, моркови и столовой свеклы. Она повышает качество сортирования луковиц в результате использования системы технического зрения в виде камеры с зоной покрытия всей рабочей поверхности двух транспортерных лент, блока управления и исполнительных механизмов с упруго-эластичными рабочими органами, которые двигаются благодаря электроприводам.

Результаты исследований по аналитическому обоснованию системы предпосевной/предпосадочной обработки почвы позволили разработать автоматическую систему контроля регулирования глубины хода рабочих органов почвообрабатывающих машин, выполнить полевые исследования и определить, что равномерность обработки почвы по глубине составляет не менее 90 %, отклонение глубины обработанного слоя не более ± 1 см; глыбистость

не более 10–15 %, максимальная высота оставшихся гребней до 3 см.

Аналитические исследования технологического процесса посева овощных культур позволили разработать систему автоматического контроля посева/посадки, позволяющую регулировать равномерность плотности почвы при заделке семенного материала, а также определять и регистрировать силовое воздействие рабочего органа на почвенный слой соответственно ниже или выше заданных границ поля допуска плотности почвы. Высокие показатели равномерности распределения луковиц вдоль рядка (19 %) достигаются при поступательной скорости движения посадочной машины, равной 1,05 м/с.

Результаты проведенных производственных исследований машины для уборки корнеплодов и лука, оснащенной прутковым элеватором с ре-

гулируемыми углом наклона полотна и частотой вращения интенсификаторов сепарации, показали качественное выполнение сепарации вороха лука при поступательной скорости движения пруткового элеватора $v_{эл} = 1,7$ м/с, машины для уборки корнеплодов и лука $v_k = 1,0$ м/с. Полнота сепарации 98,4 %, повреждения луковиц 1,7 %.

Представлены результаты проведенных лабораторных исследований линии для послеуборочной обработки лука, оснащенной системой автоматического контроля. Она позволяет обеспечить точность сортирования луковиц более чем на 90 %. Данный показатель обеспечивается в результате использования системы технического зрения в виде камеры с зоной покрытия всей рабочей поверхности двух транспортерных лент при следующих оптимальных значениях: $Q_{л} = 8,0–8,5$ кг/с, $v_{тр} = 0,62–0,75$ м/с, $t_{л} = 1,9–2,3$ с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Azizi P., Dehkordi N. S., Farhadi R. Design, Construction and Evaluation of Potato Digger with Rotary Blade // Cercetari Agronomice in Moldova. 2014. № 47. P. 5–13. URL: <https://clck.ru/bnNAf> (дата обращения: 08.08.2021).
2. Abd El-Rahman M. M. A. Development and Performance Evaluation of a Simple Grading Machine Suitable for Onion Sets // Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering. 2014. Vol. 2, Issue 2. P. 213–226. doi: <https://doi.org/10.21608/jssae.2011.55418>
3. Akdemir B., Ulger P., Arin S. Mechanized Planting and Harvesting of Onion // Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America. 1993. Vol. 24, Issue 4. P. 23–26. URL: https://www.researchgate.net/publication/289056030_Mechanized_planting_and_harvesting_of_onion (дата обращения: 08.08.2021).
4. Jothi Shanmugam C., Senthilkumar G. Indigenous Development of Low Cost Harvesting Machine // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, Issue 5. P. 4489–4490. URL: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/tp_2017/jeas_0817_6236.pdf (дата обращения: 08.08.2021).
5. Pasaman B., Zakharchuk V. The Determination of the Parameters of a Ploughshare-Rotor Potato Digger // ECONTECHMOD. 2012. no. 2. P. 43–47. URL: <http://www.journals.pan.pl/dlibra/publication/98931/edition/85237/content> (дата обращения: 08.08.2021).
6. Advances in Machine Vision Applications for Automatic Inspection and Quality Evaluation of Fruits and Vegetables / S. Cubero [et al.] // Food and Bioprocess Technology. 2011. Vol. 4. P. 287–502. doi: <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0411-8>
7. Dai F., Zhao W., Sun W. Design and Experiment of Combined Operation Machine for Potato Harvesting and Plastic Film Pneumatic Auxiliary Collecting // Transactions of the CSAM. 2018. Vol. 49, Issue 3. P. 104–113. doi: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.009>

8. Devsh K., Ashok T. Performance Evaluation of Tractor Drawn Potato Digger Cum-Elevator // International Journal of Agricultural Science and Research. 2017. Vol. 7, Issue 2. P. 433–448. URL: https://www.academia.edu/34605957/PERFORMANCE_EVALUATION_OF_TRACTOR_DRAWN_POTATO_DIGGER_CUM_ELEVATOR (дата обращения: 08.08.2021).
9. Stability Tests of Two-Finger Tomato Grasping for Harvesting Robots / Z. Li. [et al.] // Biosystems Engineering. 2013. Vol. 116, Issue 2. P. 163–170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.07.017>
10. Energy Efficiency of Potato Production Practices for Bioethanol Feedstock in Northern Japan [Электронный ресурс] / N. Koga [et al.] // European Journal of Agronomy. 2013. Vol. 44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.07.001>
11. Luxury Absorption of Potassium by Potato Plants / W. Q. Kang [et al.] // American Journal of Potato Research. 2014. Vol. 91. P. 573–578. doi: <https://doi.org/10.1007/s12230-014-9386-8>
12. Выбор и обоснование параметров экологического состояния агроэкосистемы для мониторинга технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур / А. Б. Калинин [и др.] // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 37. С. 315–319. URL: <https://spbgau.ru/files/nid/3847/39.pdf> (дата обращения: 08.08.2021).
13. Дорохов А. С., Мосяков М. А., Сазонов Н. В. Автоматизированная линия для послуборочной обработки корнеплодов и картофеля // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 1. С. 22–26. doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-1-22-26>
14. Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г. Теоретические исследования технологического процесса работы пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21, № 1. С. 52–61. doi: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.52-61>
15. A Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine / D. Indrāja [et al.] // Journal of Information and Computational Science. 2019. Vol. 9, Issue 12. P. 333–337. URL: <https://www.researchgate.net/publication/339201506> (дата обращения: 08.08.2021).
16. Massah J., Lotfi A., Arabhosseini A. Effect of Blade Angle and Speed of Onion Harvester on Mechanical Damage of Onion Bulbs // Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America. 2012. Vol. 43, Issue 3. P. 60–63. URL: https://www.researchgate.net/publication/287778155_Effect_of_Blade_Angle_and_Speed_of_Onion_Harvester_on_Mechanical_Damage_of_Onion_Bulbs (дата обращения: 08.08.2021).
17. Impact of Soil Compaction on the Engineering Properties of Potato Tubers / M. K. Edriss [et al.] // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2020. Vol. 13, Issue 2. P. 163–167. URL: <https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/4818/pdf> (дата обращения: 08.08.2021).
18. Design Modification and Field Testing of Groundnut Digger / T. Asghar [et al.] // Asian Journal of Science and Technology. 2014. Vol. 5, Issue 7. P. 389–394. URL: https://www.researchgate.net/publication/274373280_DESIGN_MODIFICATION_AND_FIELD_TESTING_OF_GROUNDNUT_DIGGER (дата обращения: 08.08.2021).
19. Линия для послуборочного сортирования клубней картофеля, корней и плодов овощей : патент 2711780 Российская Федерация / Дорохов А. С. [и др.]. № 2019134036 ; заявл. 24.10.2019 ; опублик. 22.01.2020.
20. Zhou L., Chalana V., Kim Y. PC-Based Machine Vision System for Real-Time Computer-Aided Potato Inspection // International Journal of Imaging Systems and Technology. 1998. Vol. 9, Issue 6. P. 423–433. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-1098\(1998\)9:6<423::AID-IMA4>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-1098(1998)9:6<423::AID-IMA4>3.0.CO;2-C)
21. Heinemann P. H., Pathare N. P., Morrow C. T. An Automated Inspection Station for Machine-Vision Grading of Potatoes // Machine Vision and Applications. 1996. Vol. 9. P. 14–19. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01246635>
22. Rios-Cabrera R., Lopez-Juarez I., Sheng-Jen H. ANN Analysis in a Vision Approach for Potato Inspection // Journal of Applied Research and Technology. 2008. Vol. 6, Issue 2. P. 106–119. doi: <https://doi.org/10.22201/icat.16656423.2008.6.02.521>
23. 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. Vol. 6. P. 396–402. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Design-%2C-Development-and->

Evaluation-of-an-Online-Golmohammadi-Bejaei/fa144c6e0da9b61ba2a6e9af943de7a59c6cc9b0 (дата обращения: 08.08.2021).

Поступила 11.08.2021; одобрена после рецензирования 26.10.2021; принята к публикации 10.12.2021

Об авторах:

Дорохов Алексей Семенович, заместитель директора по научно-организационной работе Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>, Researcher ID: H-4089-2018, dorokhov@rgau-msha.ru

Сибирёв Алексей Викторович, старший научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, Researcher ID: M-6230-2016, sibirev2011@yandex.ru

Аксенов Александр Геннадьевич, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), доктор технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>, Researcher ID: V-5572-2017, 1053vim@mail.ru

Мосяков Максим Александрович, старший научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>, Researcher ID: A-8482-2019, maks.mosyakov@yandex.ru

Сазонов Николай Викторович, младший научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4899-9197>, Researcher ID: ABE-4241-2021, sazonov_nikolay@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

А. С. Дорохов – формулирование основной концепции исследования.

А. В. Сибирёв – литературный и патентный анализ, подготовка начального варианта текста и формирование выводов.

А. Г. Аксенов – разработка методологии исследования.

М. А. Мосяков – разработка блок-схемы.

Н. В. Сазонов – разработка программного обеспечения.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Azizi P., Dehkordi N.S., Farhadi R. Design, Construction and Evaluation of Potato Digger with Rotary Blade. *Cercetari Agronomice in Moldova*. 2014; (47):5-13. Available at: <https://clck.ru/bnNAf> (accessed 08.08.2021). (In Eng.)

2. Abd El-Rahman M.M.A. Development and Performance Evaluation of a Simple Grading Machine Suitable for Onion Sets. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2014; 2(2):213-226. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.21608/jssae.2011.55418>

3. Akdemir B., Ulger P., Arin S. Mechanized Planting and Harvesting of Onion. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America*. 1993; 24(4):23-26. Available at: https://www.researchgate.net/publication/289056030_Mechanized_planting_and_harvesting_of_onion (accessed 08.08.2021). (In Eng.)

4. Jothi Shanmugam C., Senthilkumar G. Indigenous Development of Low Cost Harvesting Machine. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017; 12(5):4489-4490. Available at: http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/tp_2017/jeas_0817_6236.pdf (accessed 08.08.2021). (In Eng.)

5. Pasaman B., Zakharchuk V. The Determination of the Parameters of a Ploughshare-Rotor Potato Digger. *ECONTECHMOD*. 2012; (2):43-47. Available at: <http://www.journals.pan.pl/dlibra/publication/98931/edition/85237/content> (accessed 08.08.2021). (In Eng.)
6. Cubero S., Aleixos N., Moltó E., et al. Advances in Machine Vision Applications for Automatic Inspection and Quality Evaluation of Fruits and Vegetables. *Food and Bioprocess Technology*. 2011; 4:287-502. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0411-8>
7. Dai F., Zhao W., Sun W. Design and Experiment of Combined Operation Machine for Potato Harvesting and Plastic Film Pneumatic Auxiliary Collecting. *Transactions of the CSAM*. 2018; 49(3):104-113. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.009>
8. Devsh K., Ashok T. Performance Evaluation of Tractor Drawn Potato Digger Cum-Elevator. *International Journal of Agricultural Science and Research*. 2017; 7(2):433-448. Available at: https://www.academia.edu/34605957/PERFORMANCE_EVALUATION_OF_TRACTOR_DRAWN_POTATO_DIGGER_CUM_ELEVATOR (accessed 08.08.2021). (In Eng.)
9. Li Z., Li P., Yang H., Wang Y. Stability Tests of Two-Finger Tomato Grasping for Harvesting Robots. *Biosystems Engineering*. 2013; 116(2):163-170. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.07.017>
10. Koga N., Kajiyama T., Senda K., et al. Energy Efficiency of Potato Production Practices for Bioethanol Feedstock in Northern Japan. *European Journal of Agronomy*. 2013; 44. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.07.001>
11. Kang W.Q., Fan M., Ma Z., et al. Luxury Absorption of Potassium by Potato Plants. *American Journal of Potato Research*. 2014; 91:573-578. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1007/s12230-014-9386-8>
12. Kalinin A.B., Smelik V.A., Teplinsky I.Z., Pervukhina O.N. Choice and Justification Parameters of Ecological State in the Agroecosystem for Monitoring Technology Process Growing Agricultural Crops. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University. 2015; (37):315-319. Available at: <https://spbgau.ru/files/nid/3847/39.pdf> (accessed 08.08.2021). (In Russ., abstract in Eng.)
13. Dorokhov A.S., Mosyakov M.A., Sazonov N.V. Automated Line for Post-Harvest Processing of Root Crops and Potatoes. *Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2020; 14(1):22-26. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-1-22-26>
14. Dorokhov A.S., Sibiriev A.V., Aksenov A.G. Theoretical Studies of the Technological Process of a Rod Elevator with an Adjustable Inclination Angle of the Apron. *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020; 21(1):52-61. (In Russ., abstract in Eng.) doi: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.52-61>
15. Indrajia D., Ajkhilesh J., Vishal P., et al. A Review Paper Based on Design and Development of an Onion Harvesting Machine. *Journal of Information and Computational Science*. 2019; 9(12):333-337. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/339201506> (accessed 08.08.2021). (In Eng.)
16. Massah J., Lotfi A., Arabhosseini A. Effect of Blade Angle and Speed of Onion Harvester on Mechanical Damage of Onion Bulbs. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America*. 2012; 43(3):60-63. Available at: https://www.researchgate.net/publication/287778155_Effect_of_Blade_Angle_and_Speed_of_Onion_Harvester_on_Mechanical_Damage_of_Onion_Bulbs (accessed 08.08.2021). (In Eng.)
17. Edris M.K., Al-Gaadi K.A., Hassaballa A.A., et al. Impact of Soil Compaction on the Engineering Properties of Potato Tubers. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2020; 13(2):163-167. Available at: <https://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/4818/pdf> (accessed 08.08.2021). (In Eng.)
18. Asghar T., Ghafoor A., Munir A., et al. Design Modification and Field Testing of Groundnut Digger. *Asian Journal of Science and Technology*. 2014; 5(7):389-394. Available at: https://www.researchgate.net/publication/274373280_DESIGN_MODIFICATION_AND_FIELD_TESTING_OF_GROUNDNUT_DIGGER (accessed 08.08.2021). (In Eng.)
19. Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Kolchin N.N., et al. [Line for Postharvest Sorting of Potato Tubers, Roots and Fruits of Vegetables]. Patent 2,711,780 Russian Federation. 2020 January 22. (In Russ.)
20. Zhou L., Chalana V., Kim Y. PC-Based Machine Vision System for Real-Time Computer-Aided Potato Inspection. *International Journal of Imaging Systems and Technology*. 1998; 9(6):423-433. (In Eng.) doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-1098\(1998\)9:6<423::AID-IMA4>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-1098(1998)9:6<423::AID-IMA4>3.0.CO;2-C)

21. Heinemann P.H., Pathare N.P., Morrow C.T. An Automated Inspection Station for Machine-Vision Grading of Potatoes. *Machine Vision and Applications*. 1996; 9:14-19. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.1007/BF01246635>

22. Rios-Cabrera R., Lopez-Juarez I., Sheng-Jen H. ANN Analysis in a Vision Approach for Potato Inspection. *Journal of Applied Research and Technology*. 2008; 6(2):106-119. (In Eng.) doi: <https://doi.org/10.22201/icat.16656423.2008.6.02.521>

23. 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; 6:396-402. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Design-%2C-Development-and-Evaluation-of-an-Online-Golmohammadi-Bejaei/fa144c6e0da9b61ba2a6e9af943de7a59c6cc9b0> (accessed 08.08.2021). (In Eng.)

Submitted 11.08.2021; approved after reviewing 26.10.2021; accepted for publication 10.12.2021

About the authors:

Aleksey S. Dorokhov, Deputy Director on Scientific and Organizational Work, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), Corresponding Member of RAS, Dr.Sci. (Engr.), Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>, Researcher ID: [H-4089-2018](https://orcid.org/0000-0002-4758-3843), dorokhov@rgau-msha.ru

Alexey V. Sibirev, Senior Researcher of the Department of Technology and Machines in Vegetable Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, Researcher ID: [M-6230-2016](https://orcid.org/0000-0002-9442-2276), sibirev2011@yandex.ru

Aleksandr G. Aksenov, Leading Researcher of the Department of Technology and Machines in Vegetable Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), Dr.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>, Researcher ID: [V-5572-2017](https://orcid.org/0000-0002-9546-7695), 1053vim@mail.ru

Maxim A. Mosyakov, Senior Researcher of the Department of Technology and Machines in Vegetable Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), Cand.Sci. (Engr.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>, Researcher ID: [A-8482-2019](https://orcid.org/0000-0002-5151-7312), maks.mosyakov@yandex.ru

Nikolay V. Sazonov, Junior Researcher of the Department of Technology and Machines in Vegetable Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4899-9197>, Researcher ID: [ABE-4241-2021](https://orcid.org/0000-0002-4899-9197), sazonov_nikolay@mail.ru

Contribution of the authors:

A. S. Dorokhov – formulation of the basic concept of research.

A. V. Sibirev – literary and patent analysis, preparation of the initial version of the text and formation of conclusions.

A. G. Aksenov – development of a research methodology.

M. A. Mosyakov – development of a block diagram.

N. V. Sazonov – software development.

All authors have read and approved the final manuscript.

Информация для авторов и читателей

Научный журнал «Инженерные технологии и системы» публикует оригинальные научные исследования, способствующие развитию науки в области инженерных систем и технологий.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по научным специальностям и соответствующим им отраслям науки:

01.03.02 Приборы и методы экспериментальной физики

01.03.06 Оптика

01.03.13 Электрофизика, электрофизические установки

04.03.01 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

04.03.02 Электротехнологии, электрооборудование и электроснабжение агропромышленного комплекса

Не допускается направление в редакцию уже опубликованных статей или статей, отправленных на публикацию в другие журналы. **В случае обнаружения одновременной подачи рукописи в несколько изданий опубликованная статья будет ретрагирована (отозвана из печати).** Мониторинг несанкционированного цитирования осуществляется с помощью систем «Антиплагиат» и CrossCheck.

Журнал приветствует статьи, имеющие потенциально высокий импакт-фактор и/или содержащие материал о значительных достижениях в указанных направлениях. Особое внимание следует уделить качеству перевода. Желательно, чтобы он был выполнен носителем английского языка.

При подготовке статьи к публикации в журнале «Инженерные технологии и системы» необходимо учесть следующие пункты:

1. Указать **УДК**.

2. **Заголовок статьи** должен кратко и точно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного исследования. *Приводится на русском и английском языках.*

3. **Аннотация** (200–250 слов) выполняет функцию расширенного названия статьи и повествует о ее содержании. В ней должны быть четко обозначены следующие составные части:

1) Введение (Introduction);

2) Материалы и методы (Materials and Methods);

3) Результаты исследования (Results);

4) Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion).

Приводится на русском и английском языках.

4. **Ключевые слова** (5–10) являются поисковым образом научной статьи. В связи с этим они должны отражать основные положения, достижения, результаты, терминологию научного исследования. *Приводятся на русском и английском языках.*

5. **Благодарности**. В этом разделе следует упомянуть людей, помогавших автору подготовить настоящую статью, организации, оказавшие финансовую поддержку. Хорошим тоном считается выражение благодарности анонимным рецензентам. *Приводятся на русском и английском языках.*

6. **Основной текст** статьи излагается на русском или английском языках.

1) Введение – постановка научной проблемы, ее актуальность, связь с важнейшими задачами, которые необходимо решить, значение для развития определенной отрасли науки или практической деятельности.

2) Обзор литературы. Необходимо описать основные (последние по времени) исследования и публикации, на которые опирается автор; современные взгляды на проблему; трудности при разработке данной темы; выделить нерешенные вопросы в пределах общей проблемы, которым посвящена статья.

3) Материалы и методы. В данном разделе описываются процесс организации эксперимента, примененные методики, использованная аппаратура; даются подробные сведения об объекте исследования; указывается последовательность выполнения исследования и обосновывается выбор используемых методов (наблюдение, опрос, тестирование, эксперимент, лабораторный опыт и т. д.).

4) Результаты исследования. Это основной раздел, цель которого – при помощи анализа, обобщения и разъяснения данных доказать рабочую гипотезу (гипотезы). Результаты должны быть изложены кратко, но при этом содержать достаточно информации для оценки сделанных выводов. Также должно быть обосновано, почему для анализа были выбраны именно эти данные.

5) Обсуждение и заключение. В заключении суммируются результаты осмысления темы, делаются выводы, обобщения и рекомендации, вытекающие из работы, подчеркивается их практическая значимость, а также определяются основные направления для дальнейшего исследования в этой области.

7. **Список использованных источников** (оформляется в соответствии с требованиями ГОСТа Р 7.0.5–2008). Ссылаться нужно в первую очередь на оригинальные источники из научных журналов, включенных в глобальные индексы цитирования. Желательно использовать 30–40 источников. Из них за последние 3 года – не менее 20, иностранных – не менее 15. Следует указать DOI или адрес доступа в сети Интернет. *Оформляется на русском и английском языках.*

8. **Об авторах.** Ф.И.О., организация(и), адрес организации(й) (требуется указать все места работы автора, в которых выполнялись исследования (постоянное место, место выполнения проекта и др.)), должность и ученое звание, ORCID, Researcher ID, электронная почта, телефон, почтовый адрес для отправки авторского экземпляра. *Приводится на русском и английском языках.*

9. **Заявленный вклад соавторов.** В конец рукописи необходимо включить примечания, в которых разъясняется фактический вклад каждого соавтора в выполненную работу. *Приводится на русском и английском языках.*

10. **Техническое оформление.**

1) Редакция принимает тексты, сохраненные в формате .doc, .docx, .rtf. Желательно использовать шрифт Times New Roman, кегль 14 и интервал 1,5 строки. Расстановка переносов вручную не допускается. Запрещается использовать двойные пробелы в тексте, а также выполнять отступы (красная строка), используя пробелы.

2) Формулы набираются сочетанием основного шрифта и шрифта Symbol (исключение для дробей, сумм, квадратного корня) в Microsoft Equation 3.0 (Редактор формул в Microsoft Word) или Math Type 6. Латинские знаки в формулах и обозначениях (как в тексте, так и на рисунках) набираются курсивом. Формулы нумеруются в круглых скобках. Нумеровать следует только те формулы и уравнения, на которые есть ссылка в последующем изложении.

3) Все названия, подписи и структурные элементы графиков, таблиц, схем и т. д. оформляются на русском и английском языках.

4) Рисунки могут быть представлены в растровом или векторном формате с разрешением не ниже 300 dpi. Они должны допускать редактирование текста и возможность изменения размеров. Все графические данные помещаются в текст статьи, а также высылаются дополнительно в виде отдельных файлов. Разнохарактерные иллюстрации необходимо приводить к единому стилю графического исполнения, соблюдая единообразие их оформления. Графики, схемы и диаграммы необходимо оформлять в Microsoft Excel.

При подаче статьи в редакцию автор соглашается с положениями прилагаемого лицензионного договора.

Важным этапом в процессе отбора статьи является рецензирование. В журнале «Инженерные технологии и системы» принято «двойное слепое» (рецензент и автор не знают имен друг друга) рецензирование статей. Рецензент на основании анализа статьи принимает решение о рекомендации ее к публикации или о ее отклонении. В случае несогласия автора статьи с замечаниями рецензента его мотивированное заявление рассматривается редакционной коллегией.

Политика редакционной коллегии журнала базируется на современных юридических требованиях в отношении клеветы, авторского права, законности и плагиата, поддерживает Кодекс этики научных публикаций, сформулированный Комитетом по этике научных публикаций, и строится с учетом этических норм работы редакторов и издателей, закрепленных в Кодексе поведения и руководящих принципах наилучшей практики для редактора журнала и Кодексе поведения для издателя журнала, разработанных Комитетом по публикационной этике (COPE).

«Инженерные технологии и системы» – журнал открытого доступа, то есть все содержание находится в свободном доступе бесплатно для пользователя в соответствии с определением ВОАИ открытого доступа. Материалы журнала доступны по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная.

Журнал распространяется по подписке, заявкам высших учебных заведений, учреждений образования и отдельных лиц. Подписной индекс – 70539.

Сенин Петр Васильевич – главный редактор. Тел.: +7 (8342) 23-32-60.

Левцев Алексей Павлович – заместитель главного редактора. Тел.: +7 (8342) 25-41-01.

Гордина Светлана Викторовна – ответственный секретарь. Тел.: +7 (8342) 48-14-24.

Information for authors and readers of the journal

Engineering Technologies and Systems journal accepts unpublished earlier original research results promoting the development of science in the field of engineering systems and technologies.

The journal is included in the List of the leading peer-reviewed scientific journals and publications, where basic scientific results of dissertations for the degree of Doctor and Candidate of Sciences should be published for scientific specialties and branches of science:

Instruments and Methods of Experimental Physics

Optics

Electrophysics, Electrophysical Installations

Technologies, Machinery and Equipment for Agro-Industries

Electrotechnics, Electrical Equipment and Power Supply in Agro-Industries

It is not allowed to submit papers that have already been published or sent for publication to other journals. **In the case of multiple submission of a manuscript, the published article will be retracted.** Monitoring of unauthorized citation is implemented by means of Antiplagiat and CrossCheck systems.

The journal gives preference to the articles with potentially high impact factor and/or containing materials about significant achievements in the specified areas of science. Special attention should be paid to the quality of the translation. Preferably it should be made by a native English speaker.

To submit an article in the journal *Engineering Technologies and Systems* you should know:

1. It is necessary to indicate the **Universal Decimal Classification (UDC)** code.

2. **The title of the article** should accurately reflect the content of the article, the subject matter and the results of the research conducted.

The title should be written in Russian and English.

3. **The abstract** (200–250 words) serves as an enhanced title of the article and briefly presents its content. The abstract consists of the following components:

1) Introduction;

2) Materials and Methods;

3) Results;

4) Discussion and Conclusion.

The abstract should be written in Russian and English.

4. **Keywords** (5–10) make the search profile of the scientific article. In this regard, they should reflect the main provisions, achievements, results and terminology of the scientific research.

Keywords should be written in Russian and English.

5. **Acknowledgements.** In this section the author may mention the people who helped them to prepare the article or the organizations that provided financial support. It is considered good style to express gratitude to anonymous reviewers.

Acknowledgements should be written in Russian and English.

6. **The main body** of the article should be written in Russian or in English.

1) **Introduction.** It contains formulation of the scientific problem, its relevance, connection with the most important tasks to be solved, the importance for the development of a particular area of science or practical activities.

2) **Literature Review.** It is necessary to describe the main (recent) pieces of research and publications relied upon by the author, modern views on the problem, difficulties in solving the problem as well as to highlight the unresolved issues within the general problem of the article.

3) **Materials and Methods.** This section describes the process of designing the experiment, the methods and equipment used; it gives detailed information about the subject and sequence of the research, justifies the choice of the methods used (observation, survey, testing, experiment, etc.).

4) **Results.** This is the main section, the purpose of which is to prove the working hypothesis (hypotheses) by analyzing, generalizing and explaining the data. The results should be brief, but they should provide sufficient information to evaluate the conclusions drawn. It should also be justified why the particular data were chosen for the analysis.

5) **Discussion and Conclusion.** In conclusion, the results of understanding the topic should be summarized; conclusions, generalizations and recommendations arising from the work should be made, their practical significance should be emphasized and the main directions for further research in the studied area should be determined.

7. **References** should be given in accordance with the requirements of the *GOST R 7.0.5–2008* standard. The original sources from scientific journals included in the global citation indices should be cited first of all. It is desirable to refer to 30–40 sources. Of these, at least 20 sources should be those published over the past 3 years and at least 15 foreign ones. DOI or the URL of the source should be indicated.

References should be written in Russian and English.

8. Information **about the author(s)** includes: the author's first name and last name, the name of the institution and its address (it is required to specify all the institutions where the author works and where the research was conducted (permanent place of work, the place where the project was done, etc.)). The author's position and academic title, ORCID, Researcher ID, e-mail, phone number, postal address for sending a personal copy of the journal issue.

Information about the authors should be written in Russian and English.

9. **Contribution of the authors.** At the end of the manuscript, the authors should include notes that explain the actual contribution of each co-author to the work performed.

Contribution of the authors should be written in Russian and English.

10. **Manuscript Format Guidelines.**

1) The manuscript should be typed in the Microsoft Word text processing program for Windows (.doc, .docx, .rtf): sheet size – A4, Times New Roman font, font size – 14, line spacing – 1.5. Manual hyphenation is not allowed. It is forbidden to use double spaces in the text, as well as to indent (red line) using spaces.

2) Formulas are typed by combining the main font and the Symbol font (exception for fractions, sums, square root) in Microsoft Equation 3.0 (Formula Editor in Microsoft Word) or Math Type 6. Latin symbols in formulas and notation (both in the text and in the figures) typed in italics. Formulas are numbered in parentheses. Only those formulas and equations referenced in the following presentation should be numbered.

3) All titles, signatures and structural elements of graphs, tables, charts, etc., are to be provided in Russian and English.

4) Figures can be presented in raster or vector format with a resolution of at least 300 dpi. They should allow text editing and resizability. All graphic data are placed in the text of the article, as well as sent additionally as separate files. Diverse illustrations should be brought to a single style of graphic performance, while respecting the uniformity of their design. Graphs, charts and diagrams must be drawn up in Microsoft Excel.

When submitting an article to the journal, the author agrees with the provisions of the attached license agreement.

As part of the submission, the journal will peer review your article before deciding whether to publish it. *Engineering Technologies and Systems* journal uses double-blind review, which means that both the reviewer and author identities are concealed from the reviewers, and vice versa. On the basis of the analysis of the article, the reviewer makes a decision whether to recommend the article for publication or reject it. If the author disagrees with the reviewer's comments, their reasoned statement shall be considered by the Editorial Board.

Editorial staff's policy is based on modern legal requirements concerning libel, copyright, legitimacy, plagiarism, ethical principles, kept in community of leading scientific issues publishers. Journal's editorial policy is based upon traditional ethical principles of Russian academic periodicals; it supports Academic Periodicals Ethical Codex, stated by Committee on Publication Ethics (Russia, Moscow) and it is formed in account of standards of ethics of editors' and publishers' work confirmed by Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors and Code of Conduct for Journal Publishers, developed by Committee on Publication Ethics (COPE).

Engineering Technologies and Systems is an open access journal, which means that all content is freely available without charge to the user or his/her institution. Users are allowed to read, download, copy, distribute, print, search, or link to the full texts of the articles, or use them for any other lawful purpose, without asking prior permission from the publisher or the author in accordance with the BOAI definition of open access. All the materials of the journal are made available under a Creative Commons "Attribution" 4.0 license.

The journal is distributed on the basis of a subscription, requests of higher education institutions, educational institutions and individuals. The subscription index is 70539.

Petr V. Senin – Editor-in-Chief. Tel.: +7 (8342) 233260.

Alexey P. Levitsev – Deputy Editor-in-Chief. Tel.: +7 (8342) 254101.

Svetlana V. Gordina – Executive Editor. Tel.: +7 (8342) 481424.

Редактор – *А. Д. Карпов*
Перевод *С. В. Голованова, Н. Н. Плеханковой*
Компьютерная верстка *Е. П. Гординой*
Информационная поддержка *Р. В. Карсева*

Территория распространения – Российская Федерация, зарубежные страны.

Подписано в печать 15.03.2022 г. Дата выхода в свет 31.03.2022 г.

Формат $70 \times 100 \frac{1}{16}$. Усл. печ. л. 14,63.

Тираж 1 000 экз. 1 завод – 250 экз. Заказ № 276. Свободная цена.

Адрес типографии: 430005, Российская Федерация, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Советская, д. 24
(Издательство федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва»)



Editor *A. D. Karpov*
Translation *S. V. Golovanov, N. N. Plekhankova*
Desktop publishing *E. P. Gordina*
Informational support *R. V. Karasev*

Distributed in Russian Federation and foreign countries.
Signed to print 15.03.2022. Date of publishing 31.03.2022.
Sheet size $70 \times 100 \frac{1}{16}$. Conventional printed sheets 14.63.
Number of copies 1 000. Factory 1 – 250 copies. Order no. 276. Free price.

Address of Printing House: 24 Sovetskaya St., Saransk 430005, Republic of Mordovia, Russian Federation
(Publishing House of National Reserch Mordovia State University)



Уважаемые читатели!

Вы можете приобрести выпуск журнала, оплатив в банке прилагаемую квитанцию.
Для своевременной отправки номера пришлите копию платежного документа, ФИО
и адрес получателя на e-mail vestnik_mrsu@mail.ru

Извещение	<i>Форма № ПД-4</i>	
	УФК по Республике Мордовия (ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва» л/с 20096Х35120) КПП 132601001	
Кассир	(наименование получателя платежа)	
	1326043499	03214643000000010900
	(ИНН получателя платежа) 40102810345370000076	(номер счета получателя платежа)
	корреспондентский счет	
	Отделение-НБ РЕСПУБЛИКА МОРДОВИЯ	
	БАНКА РОССИИ//УФК по Республике	
	Мордовия г. Саранск	БИК 018952501
	(наименование банка получателя платежа)	
	КБК 00000000000000000440	ОКТМО 89701000
	за реализацию журнала «Инженерные технологии и системы»	
(наименование платежа)		
(номер лицевого счета (код) плательщика)		
Ф.И.О. плательщика: _____		
Адрес плательщика: _____		
Сумма платежа: 500 руб. 00 коп. Сумма платы за услуги: _____ руб. _____ коп		
Итого _____ руб. _____ коп. “ _____ ” _____ 20 ____ г.		
С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка ознакомлен и согласен.		
Подпись плательщика _____		
Квитанция Кассир	УФК по Республике Мордовия (ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва» л/с 20096Х35120) КПП 132601001	
	(наименование получателя платежа)	
	1326043499	03214643000000010900
	(ИНН получателя платежа) 40102810345370000076	(номер счета получателя платежа)
	корреспондентский счет	
	Отделение-НБ РЕСПУБЛИКА МОРДОВИЯ	
	БАНКА РОССИИ//УФК по Республике	
	Мордовия г. Саранск	БИК 018952501
	(наименование банка получателя платежа)	
	КБК 00000000000000000440	ОКТМО 89701000
за реализацию журнала «Инженерные технологии и системы»		
(наименование платежа)		
(номер лицевого счета (код) плательщика)		
Ф.И.О. плательщика: _____		
Адрес плательщика: _____		
Сумма платежа: 500 руб. 00 коп. Сумма платы за услуги: _____ руб. _____ коп.		
Итого _____ руб. _____ коп. “ _____ ” _____ 20 ____ г.		
С условиями приема указанной в платежном документе суммы, в т.ч. с суммой взимаемой платы за услуги банка ознакомлен и согласен.		
Подпись плательщика _____		

✂ - линия отреза