



ISSN 2687-1149 (Print)
ISSN 2687-1130 (Online)

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научный журнал

Том 26. № 2 / 2024

Учредитель и издатель:
**ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева**

Адрес учредителя и издателя:
127434, Российская Федерация,
г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

Свидетельство о регистрации
средства массовой информации
ПИ № ФС77-78053
от 06 марта 2020 г.

Основан в 2003 году

Периодичность: 6 номеров в год

Журнал «Вестник
федерального государственного
образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Московский государственный
агроинженерный университет
имени В.П. Горячкина» переименован
и зарегистрирован с новым названием
«Агроинженерия» 6 марта 2020 г.

Полнотекстовые версии доступны на сайте
https://www.elibrary.ru/title_profile.asp?id=8505

Редактор – *И.В. Мельникова*
Литературная обработка текста –
В.И. Марковская
Компьютерный набор и верстка –
А.С. Лаврова
Перевод на английский язык –
А.Ю. Алипчев

Адрес редакции: 127434, Москва,
Тимирязевская ул., 58, к. 336
Тел.: +7 (499) 976-07-27
E-mail: agroeng@rgau-msha.ru
<https://agroengineering.timacad.ru/jour/index>

Отпечатано в типографии
ООО «ЭйПиСиПаблшинг»
127550, г. Москва,
Дмитровское ш., д. 45, корп. 1, оф. 8
Тел.: +7 (499) 976-51-84, (985) 109-44-19

Подписано в печать 12.04.2024 г.
Формат 60 84/8
Тираж 500 экз.

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2024

Главный научный редактор

Михаил Никитьевич Ерохин, академик РАН, д-р техн. наук, профессор кафедры сопротивления материалов и деталей машин, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>, n.erohin@rgau-msha.ru

Заместитель главного научного редактора:

Алексей Семенович Дорохов, академик РАН, д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научно-организационной работе, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>, dorokhov.vim@yandex.ru

Петр Федорович Кубрушко, чл.-корр. РАО, д-р пед. наук, профессор, заведующий кафедрой педагогики и психологии профессионального образования РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0002-2142-1037>, kubrushko@rgau-msha.ru

Члены редакционного совета:

Николай Васильевич Алдошин, д-р техн. наук, профессор, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>, aldoshin@rgau-msha.ru

Алексей Юрьевич Алипчев, канд. пед. наук, доцент кафедры иностранных и русского языков РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0002-8000-4532>, alipichev@rgau-msha.ru

Алексей Сергеевич Апатенко, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой технического сервиса машин и оборудования, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>, a.apatenko@rgau-msha.ru

Виктор Иванович Балабанов, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой мелиоративные и строительные машины, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0001-6486-6485>, vbalabanov@rgau-msha.ru

Владимир Тимофеевич Водяников, д-р экон. наук, профессор кафедры организации производства, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0001-7111-9437>, vtvodyannikov@rgau-msha.ru

Сергей Михайлович Гайдар, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения и технологии машиностроения, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>, techmash@rgau-msha.ru

Сергей Николаевич Девянин, д-р техн. наук, профессор кафедры тракторов и автомобилей, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0001-6776-0432>, s.devyanin@rgau-msha.ru

Алексей Владимирович Журавлев, д-р техн. наук, доцент, проректор по науке и инновационному развитию РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0001-6776-0432>, a.zhuravlev@rgau-msha.ru

Владимир Ильич Загинайлов, д-р техн. наук, профессор кафедры электроснабжения и электротехники имени академика И.А. Будзко, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0002-2623-760X>, vzaginajlov@rgau-msha.ru

Иван Юрьевич Игнаткин, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры сопротивления материалов и деталей машин, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>, ignatkin@rgau-msha.ru

Сергей Павлович Казанцев, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов и деталей машин, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0001-6776-0432>, kazansev@rgau-msha.ru

Тамара Петровна Кобозева, д-р с.-х. наук, профессор ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0001-6776-0432>, tkobozeva@rgau-msha.ru

Алексей Иванович Купренко, д-р техн. наук, профессор кафедры технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств, Брянский государственный аграрный университет (с. Кокино Брянская обл, Россия), <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>, kuprenkoai@mail.ru

Александр Григорьевич Левшин, д-р техн. наук, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0001-8010-4448>, alevshin@rgau-msha.ru

Олег Альбертович Леонов, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой метрологии, стандартизации и управления качеством, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>, oaleonov@rgau-msha.ru

Людмила Ивановна Назарова, канд. пед. наук, доцент кафедры педагогики и психологии профессионального образования, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0001-5698-6284>, nazarova@rgau-msha.ru

Александр Геннадиевич Пастухов, д-р техн. наук, профессор кафедры технической механики и конструирования машин, Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина (п. Майский, Белгородская обл., Россия), <https://orcid.org/0000-0001-8249-8970>, pastukhov_ag@mail.ru

Ирина Вениаминовна Роберт, академик РАО, д-р пед. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ «Институт стратегии развития образования РАО» (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0001-9303-6560>, rena_robert@mail.ru

Владимир Федорович Сторчевой, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>, v.storchevov@rgau-msha.ru

Юрий Хасанович Шогенов, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, зав. сектором механизации, электрификации и автоматизации ОСХН РАН, ФГБУ «Российская академия наук» (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0002-7588-0458>, yh1961s@yandex.ru

Игорь Викторович Юдаев, д-р техн. наук, профессор кафедры применения электроэнергии, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (г. Краснодар, Россия), <https://orcid.org/0000-0002-3435-4873>, etsh1965@mail.ru

Иностранцы члены редакционного совета:

Айтжан Мухамеджанович Абдыров, д-р пед. наук, профессор Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (г. Нур-Султан, Казахстан), <https://orcid.org/0000-0002-6852-0235>, abdyrov@gambler.ru

Павел Викторович Аераменко, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой стандартизации, метрологии и инженерной графики Белорусского аграрного технического университета (г. Минск, Белоруссия), <https://orcid.org/0000-0002-8420-3977>, pavel.auramenka@bsatu.by

Снежан Иванов Божков, канд. техн. наук, проф., Институт почвоведения, агротехнологий и защиты растений им. Н. Пушкарова, Сельскохозяйственная академия (г. София, Болгария), <https://orcid.org/0000-0002-5702-4893>, bozhkov@mail.bg

Фармон Муртозевич Маматов, д-р техн. наук, профессор кафедры механизации сельского хозяйства и сервиса, Каршинский инженерно-экономический институт (г. Карши, Республика Узбекистан), <https://orcid.org/0000-0002-8916-4225>, fmamatov_50@mail.ru

Франтишек Кумхала, профессор, председатель отделения сельскохозяйственного машиностроения и строительства Чешской академии сельскохозяйственных наук, член бюро Чешской академии сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин Университета естественных наук (Прага, Чешская Республика), <https://orcid.org/0000-0002-7782-6033>, Kumhala@tf-czu.cz

Хоанг Дык Куанг, канд. хим. наук, Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр (г. Хошимин, Вьетнам), <https://orcid.org/0000-0002-6487-8782>, quanghoang1510@gmail.com

**Founder and Publisher:****Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy***Address of Founder and Publisher:*49, Timiryazevskaya str., Moscow,
127434, Russian Federation*The mass media registration certificate
ПИ No. ФС 77-78053 of March 6, 2020***Founded in 2003****Publication Frequency:**

Bimonthly

Scientific Journal "Vestnik of Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin" [Vestnik FGOU VPO "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina"] was renamed and registered under a new title on March 6, 2020.

Full versions are posted on the site
https://www.elibrary.ru/title_profile.asp?id=8505

EXECUTIVE EDITORS:*I.V. Melnikova
V.I. Markovskaya
A.S. Lavrova
A.Yu. Alipichev***Editors' office address:**58, Timiryazevskaya str., Moscow,
127434, Russian Federation
Tel.: +7 (499) 976-07-27;
E-mail: agroeng@rgau-msha.ru
<https://agroengineering.timacad.ru/jour/index>

Printed by APC Publishing LLC
office 8, 1, 45, Dmitrovskoe Ave.,
Moscow, 127550, Russia
Tel.: +7 (499) 976-51-84, (985) 109-44-19

Passed for printing 12.04.2024

Format – 60 84/8

Circulation – 500 copies.

© Federal State Budgetary Establishment
of Higher Education – Russian State
Agrarian University – Moscow Timiryazev
Agricultural Academy, 2024

*Science Editor-in-Chief***Mikhail N. Erokhin**, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor of the Department of Resistance of Materials and Machine Parts, Russian Timiryazev State Agrarian University, (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>, n.erohin@rgau-msha.ru*Deputy Science Editor-In-Chief:***Aleksei S. Dorokhov**, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor, Director Deputy for Science and Organizational Work, Federal State Budgetary Research Institution – Federal Scientific Agroengineering Center (VIM) (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>, dorokhov.vim@yandex.ru**Petr. F. Kubrushko**, Corresponding Member of the Russian Academy of Education, DSc (Ed), Deputy Scientific Editor-in-Chief, Head of the Department of Pedagogy and Psychology of Professional Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-2142-1037>, kubrushko@rgau-msha.ru*Members of the Editorial Board:***Nikolay V. Aldoshin**, DSc (Eng), Professor, Federal State Budgetary Research Institution – Federal Scientific Agroengineering Center (VIM) (Moscow, (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>, aldoshin@rgau-msha.ru**Aleksei Yu. Alipichev**, PhD (Ed), Associate Professor, Department of Foreign and Russian Languages, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-8000-4532>, alipichev@rgau-msha.ru**Aleksei S. Apatenko**, DSc (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Technical Service of Machinery and Equipment, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>, a.apatenko@rgau-msha.ru**Viktor I. Balabanov**, DSc (Eng), Professor, Head, Department of Irrigation and Construction Machinery, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-6486-6485>, vbabanov@rgau-msha.ru**Vladimir T. Vodyannikov**, DSc (Econ), Professor, Professor of the Department of Organization of Production, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-7111-9437>, vtvodyannikov@rgau-msha.ru**Sergei M. Gaidar**, DSc (Eng), Professor, Head of the Department of Materials Science and Engineering Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia) <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>, techmash@rgau-msha.ru**Sergey N. Devyanin**, DSc (Eng), Professor, Professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-6776-0432>, s.devyanin@rgau-msha.ru**Aleksei V. Zhuravlev**, DSc (Eng), Associate Professor, Vice-Rector for Science and Innovative Development, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), azhuravlev@rgau-msha.ru**Vladimir I. Zaginailov**, DSc (Eng), Professor, Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering named after Academician I.A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-2623-760X>, vzaginailov@rgau-msha.ru**Ivan Yu. Ignatkin**, DSc (Eng), Associate Professor, Professor, Department of Strength of Materials and Machine Parts, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>, ignatkin@rgau-msha.ru**Sergey P. Kazantsev**, DSc (Eng), Professor, Head of the Department of Strength of Materials and Machine Parts, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), kazansev@rgau-msha.ru**Tamara P. Kobozeva**, DSc (Ag), Professor, Federal State Budgetary Research Institution – Federal Scientific Agroengineering Center (VIM) (Moscow, Russia), tkobozeva@rgau-msha.ru**Aleksei I. Kupreenko**, DSc (Eng), Professor, Department of Technological Equipment of Animal Husbandry and Processing Industries, Bryansk State Agrarian University (Kokino, Bryansk region, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>, kupreenkoai@mail.ru**Aleksandr G. Levshin**, DSc (Eng), Professor, Head of the Department of Machinery and Tractor Operation and High Technologies in Plant Cultivation, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-8010-4448>, alevshin@rgau-msha.ru**Oleg A. Leonov**, DSc (Eng), Professor, Head of the Metrology, Standardization and Quality Management Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>, oaleonov@rgau-msha.ru**Liudmila I. Nazarova**, PhD (Ed), Associate professor, Department of Pedagogy and Psychology of Professional Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-5698-6284>, nazarova@rgau-msha.ru**Aleksandr G. Pastukhov**, DSc (Eng), Professor, Department of Technical Mechanics and Machine Design, Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin, Russia. (Mayskiy, Belgorod region, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-8249-8970>, pastukhov_ag@mail.ru**Irena V. Robert**, Full Member of the Russian Academy of Education, DSc (Ed), Professor, Chief Research Associate, the Institute for Educational Development Strategy of the Russian Academy of Education (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-9303-6560>, rena_robert@mail.ru**Vladimir F. Storchevov**, DSc (Eng), Professor, Head of the Academician I.F. Borodin Process Automation and Robotisation Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>, v.storchevov@rgau-msha.ru**Yuriy Kh. Shogenov**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Senior Research Associate, Head of the "Mechanization, Electrification and Automation" Section, Department of Agricultural Sciences, Federal State Budgetary Institution – the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-7588-0458>, yh1961s@yandex.ru**Igor V. Yudaev**, DSc (Eng), Professor, Department of Electricity Application, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, (Krasnodar, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-3435-4873>, etsh1965@mail.ru*International members of the Editorial Board:***Aytzhan M. Abdryov**, DSc (Ed), Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, (Nur-Sultan, Kazakhstan), <https://orcid.org/0000-0002-6852-0235>, abdryov@rambler.ru**Pavel V. Avramenko**, PhD (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Standardization, Metrology and Engineering Graphics, Belarusian Agrarian Technical University (Minsk, Belarus), <https://orcid.org/0000-0002-8420-3977>, pavel.auramenka@bsatu.by**Snezhana I. Bozhkov**, PhD (Eng), Professor, Institute of Soil Science, Agrotechnology and Plant Protection named after N. Pushkarov, Agricultural Academy (Sofia, Bulgaria), <https://orcid.org/0000-0002-5702-4893>, bozhkov@mail.bg**Farmon M. Mamatov**, DSc (Eng), Professor, Professor of the Agricultural Mechanization and Service Department, Karshi Institute of Engineering and Economics (Karshi, Republic of Uzbekistan), <https://orcid.org/0000-0002-8916-4225>, fmamatov_50@mail.ru**Frantisek Kumhala**, Professor, Chairman of the Agricultural Machinery and Construction Division of the Czech Academy of Agricultural Sciences, the Bureau Member of the Czech Academy of Agricultural Sciences, Head of the Department of Agricultural Machines of Czech University of Life Sciences (Prague, Czech Republic), <https://orcid.org/0000-0002-7782-6033>, Kumhala@tf-czu.cz**Quang Hoang Duc**, PhD (Chem), Russian-Vietnamese Tropical Research and Technology Centre (Ho Chi Minh, Vietnam), <https://orcid.org/0000-0002-6487-8782>, quanghoang1510@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

А.Г. Пастухов, Д.Н. Бахарев, С.Ф. Вольвак, А.Е. Бурнукин, С.А. Швыдченко Концепция обмолота кукурузы роторным молотильно-сепарирующим устройством с воздушной завесой выгрузного окна	4
Е.В. Труфляк, В.В. Алексеев, С.А. Васильев, В.П. Филиппов, Д.В. Евстифеев Интеллектуальная технология определения оптимального давления воздуха в шинах колёс сельскохозяйственных тракторов	13
С.С. Юрочка, С.О. Базаев, А.Р. Хакимов, А.А. Поликанова Бесконтактная оценка промеров головы молочных коров	20
С.В. Брагинец, О.Н. Бахчевников, К.А. Деев Исследование процесса гранулирования корма для рыб в корзинном грануляторе	27
А.Г. Левшин, Т.А. Медхн, И.Н. Гаспарян, С.Г. Теклай Влияние конфигурации и топографических особенностей поля фермы Целот (Эритрея) на производительность посевного агрегата	33
В.А. Цепляев Машина для вычесывания сорняков: эффективность обработки посевов бахчевых	42
В.Т. Водяников, А.В. Эдер Цифровизация АПК: оценка и перспективы внедрения в аграрном секторе экономики страны	49

A.G. Pastukhov, D.N. Bakharev, S.F. Volvak, A.E. Burnukin, S.A. Shvydchenko Concept of corn threshing by a rotary threshing-and-separating unit with an air curtain of the discharge port	4
E.V. Truflyak, V.V. Alekseev, S.A. Vasiliev, V.P. Filippov, D.V. Evstifeev Intelligent technology for determining the optimal air pressure in the tires of agricultural tractor wheels	13
S.S. Yurochka, S.O. Bazaev, A.R. Khakimov, A.A. Polikanova Non-contact assessment system of dairy cow exterior	20
S.V. Braginetz, O.N. Bakhchevnikov, K.A. Deev Study of fish feed pelleting process in a basket granulator	27
A.G. Levshin, T.A. Medhn, I.N. Gasparyan, S.G. Teklay Effect of field configuration and topographical features on the performance of the seeding unit of the Tselot farm (Eritrea)	33
V.A. Tseplyaev Weed extractor: the efficiency of melons and gourds cultivation	42
V.T. Vodyannikov, A.V. Eder Assessment and prospects for the digitalization of the agricultural sector of the Russian Economy	49

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

TECHNICAL SERVICE IN AGRICULTURE

С.М. Гайдар, А.М. Пикина, Н.А. Сергеева, О.М. Лапсарь Технология производства защитных антикоррозионных материалов из жиросодержащих отходов	57
О.А. Леонов, В.К. Зимогорский, Ю.Г. Вергазова, У.Ю. Антонова, Д.О. Леонов Инструментальный контроль дефектов коренных опор блока цилиндров	65

S.M. Gaidar, A.M. Pikina, N.A. Sergeeva, O.M. Lapsar' Technology for producing anticorrosive materials from fat-containing waste	57
O.A. Leonov, V.K., Zimogorskiy, Yu.G. Vergazova, U.Yu. Antonova, D.O. Leonov Instrumental control of defects in the main bearings of the cylinder block	65

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION

С.Н. Редников, В.Ф. Сторчевой, Е.Н. Ахмедьянова, Т.И. Матвеева Диагностика электротехнических компонентов гидротехнического оборудования: эффективность комплексного подхода	71
А.В. Виноградов, А.В. Хименко, А.А. Лансберг Анализ несчастных случаев в электросетевых компаниях	78

S.N. Rednikov, V.F. Storchevoy, E.N. Akhmedyanova, T.I. Matveeva Diagnostics of electrotechnical components of hydraulic equipment: efficiency of complex approach	71
A.V. Vinogradov, A.V. Khimeko, A.A. Lansberg Accident analysis in electric grid companies	78

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

THEORY AND METHODOLOGY OF PROFESSIONAL EDUCATION

Ю.А. Атапина Преемственная образовательная программа: разработка и внедрение в Университетский комплекс	86
---	----

Yu.A. Atapina Continuing education program: development and implementation at the University cluster	86
--	----

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.361.022

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-4-12>



Концепция обмолота кукурузы роторным молотильно-сепарирующим устройством с воздушной завесой выгрузного окна

А.Г. Пастухов¹, Д.Н. Бахарев², С.Ф. Вольвак³, А.Е. Бурнукин⁴, С.А. Швыдченко⁵

^{1,2,3} Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина; Белгородская область, Россия

⁴ Луганский государственный аграрный университет им. К.Е. Ворошилова; г. Луганск, Россия

⁵ Колледж метрополитена и железнодорожного транспорта; г. Санкт-Петербург, Россия

¹ pastukhov_ag@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8249-8970>

² baharevdn_82@mail.ru

³ volvak.s@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6955-7144>

⁴ andrey_243@mail.ru

⁵ schvidtschenko@mail.ru

Аннотация. Для повышения эффективности уборки кукурузы на зерно роторное молотильно-сепарирующее устройство, имеющее массивный ротор и увеличенную длину пути активной сепарации зерновой массы при обмолоте, требует совершенствования. Уменьшение размеров роторных молотильных устройств возможно путём обеспечения останавливающего воздействия на свободное зерно, летящее в выгрузное окно в конце камеры обмолота, что достигается посредством применения воздушной завесы выгрузного окна. При этом сход свободным зерном будет находиться на регламентированном уровне при уменьшенной длине ротора и, соответственно, укороченной длине пути активной сепарации зерновой массы. Останавливающее воздействие на свободно летящее в выгрузное окно зерно должно обеспечивать его перемещение в нижнюю часть зоны домолота, где целесообразно установить вибрационный участок деки, интенсифицирующий сепарацию. Управление действием воздушной завесы требует определения общей для основных ботанических групп кукурузы формы профиля зерна и его эффективной площади контакта с воздушным потоком. Проведена аппроксимация построенных в среде Компас-3D фронтальных и профильных проекций зерна зубовидной и кремнистой кукурузы, взятой из комля, середины и носка початка. Установлены значения обобщённых коэффициентов в полиномах, определяющих усреднённую геометрию для профиля зерна кукурузы и эффективной площади контакта зерна с воздушным потоком. При этом среднее значение эффективной площади контакта с воздушным потоком находится в пределах 76...82 мм². Полученные значения коэффициентов позволяют рассчитать параметры воздушной завесы выгрузного окна роторного молотильно-сепарирующего устройства для кукурузы с уменьшенной на 10...15% длиной ротора. Предложено испытать усовершенствованное роторное молотильно-сепарирующее устройство в условиях обмолота початков кукурузы с влажностью более 14% и без предварительного снятия листовой обертки.

Ключевые слова: роторное молотильно-сепарирующее устройство, устройство с воздушной завесой выгрузного окна, обмолот кукурузы, сход свободным зерном, аппроксимация, полином

Для цитирования: Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф., Бурнукин А.Е., Швыдченко С.А. Концепция обмолота кукурузы роторным молотильно-сепарирующим устройством с воздушной завесой выгрузного окна // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 2. С. 4-12. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-4-12>

ORIGINAL ARTICLE

Concept of corn threshing by a rotary threshing-and-separating unit with an air curtain of the discharge port

A.G. Pastukhov^{1✉}, D.N. Bakharev², S.F. Volvak³, A.E. Burnukin⁴, S.A. Shvydchenko⁵

^{1,2,3} Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin; Belgorod, Russia

⁴ Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov, Luhansk, Russia

⁵ College of Metro and Railway Transport; St. Petersburg, Russia

¹ pastukhov_ag@mail.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0001-8249-8970>

² baharevdn_82@mail.ru

³ volvak.s@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6955-7144>

⁴ andrey_243@mail.ru

⁵ schvidtschenko@mail.ru

Abstract. To increase the efficiency of harvesting corn for grain, some improvement is necessary in the design of the rotary threshing-and-separating unit, which has a massive rotor and an increased length of the path of active separation of grain mass during threshing. Reducing the size of rotary threshing units is possible by stopping the free grain flow into the discharge port at the output of the threshing chamber. This can be achieved by using an air curtain of the discharge port. At the same time, the free grain flow will be within regulated rates with a reduced rotor length and, accordingly, a shortened path length of the active separation of the grain mass. The stopping effect on the free-flowing grain in the discharge port should ensure its movement to the lower part of the threshing zone, where it is advisable to install a vibrating section of the deck that intensifies separation. Controlling the air curtain operation requires determining the shape of the grain profile common to the main botanical groups of corn and its effective area of contact with the air flow. The authors constructed the approximation of frontal and profile projections of dent and flint corn grains, taken from the lump, middle and toe of the cob, in the Compas-3D environment. The values of generalized coefficients in polynomials determining the averaged geometry for the corn grain profile and the effective area of grain contact with the air flow were established. At the same time, the average value of the effective area of contact with the air flow is within 76 to 82 mm². The obtained coefficient values are necessary to calculate the parameters of the air curtain of the discharge port of a rotary threshing and separating unit for corn with a rotor length reduced by 10 to 15%. The authors propose to test an improved rotary threshing and separating unit in conditions of threshing corn cobs with a moisture content of more than 14% and without previous husk removing.

Keywords: rotary threshing-and-separation unit, unit with an air curtain of the discharge port, corn threshing, free grain release, approximation, polynomial

For citation: Pastukhov A.G., Bakharev D.N., Volvak S.F., Burnukin A.E., Shvydchenko S.A. Concept of corn threshing by a rotary threshing-and-separating unit with an air curtain of the discharge port. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(2):4-12. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-4-12>

Введение

Зерновые культуры являются основой продовольственной безопасности России [1]. Одной из основных зерновых культур является кукуруза. Увеличение объёмов ее производства является перспективной многоуровневой задачей, один из уровней которой занимает уборка урожая с применением совершенных систем обмолота.

Существующие роторные молотильно-сепарирующие устройства (МСУ), установленные на самоходные комбайны, например, комбайны Ростсельмаш Torum или стационарные молотилки кукурузных початков (МКП-10, МКП-12 и МКП-30), характеризуются максимальной производительностью и способны сохранять работоспособное и технически исправное состояние при продолжительной непрерывной

работе¹. Их основным недостатком является высокая материалоемкость, вызванная необходимостью применения массивного ротора и деки.

Все роторные МСУ можно условно подразделить на 2 группы:

- с большими габаритными размерами, без заслонки верхней половины выгрузного окна (МСУ комбайна Ростсельмаш Torum², Threshing machine (sheller) MSH-25³);

¹ Петунина И.А. Обмолот початков кукурузы: Монография. Краснодар: КубГАУ, 2006. 200 с.

² Сельхозтехника Ростсельмаш. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://rostselmash.com/products/combine/torum-785/> (дата обращения: 23.10.2023).

³ ООО «Сербия продукт». Официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.serbiaproduct.rs/ru/l-g> (дата обращения: 23.10.2023).

- с уменьшенными габаритными размерами и с заслонкой верхней половины выгрузного окна (МКП-10, МКП-12, МКП-30)^{4,5}.

Наличие заслонки выгрузного окна создает противоход части обмолачиваемой массы, что позволяет использовать более короткий ротор (на 10...15%) [2-4]. Кроме того, заслонка позволяет разрушать направленный воздушный поток, создаваемый лопастями ротора в конце молотильной камеры, что минимизирует сход свободным зерном в выгрузное окно. Без заслонки обеспечивается более равномерный и контролируемый режим трения при обмолоте, но требуется применение удлиненного ротора и, соответственно, деки увеличенной площади, а это делает молотильную систему материалоемкой. Нахождение компромисса между этими двумя конструктивными решениями является важной и актуальной научной задачей.

Цель исследований: создание научных предпосылок для разработки технологического процесса обмолота кукурузы роторным молотильно-сепарирующим устройством с воздушной завесой выгрузного окна.

Материалы и методы

Общая форма профиля зерна кукурузы и его эффективная площадь контакта с воздушным потоком определялись на зёрнах кремнистой и зубовидной кукурузы, отделённых из комля, середины и носка початка. Использовались методы системного анализа и эвристического принятия инженерных решений при разработке конструкций молотильных устройств для кукурузы. Применялся способ построения фронтальных и профильных проекций зерна в среде Компас-3D с последующей аппроксимацией полученных кривых в среде Excel, усреднением коэффициентов в полиномах и 3D-моделированием искомым профилей зерна.

Результаты и их обсуждение

Применение заслонки выгрузного окна МСУ не всегда является оправданным, поскольку искусственно создаваемый противоход части обмолачиваемой массы делает процесс трения в молотильной камере хаотичным и неконтролируемым, а это сопряжено с большими затратами энергии. В результате существенный выигрыш в энергоёмкости отсутствует. Отказ от применения заслонки требует создания МСУ больших габаритных размеров. Например, МСУ комбайна Ростсельмаш Тorum имеет ротор длиной 3200 мм и диаметром 762 мм, общая

ширина молотилки составляет 1500 мм, что создает увеличенную (не менее 12,8 м) длину пути активной сепарации зерновой массы при обмолоте.

Отметим, что внушительные габаритные размеры оказывают положительное влияние на производительность МСУ. Благодаря большой производительности (до 45 т/ч) комбайны Ростсельмаш Тorum-785 являются одними из самых эффективных современных комбайнов для уборки кукурузы на зерно.

Принципиальная схема работы МСУ с заслонкой выгрузного окна представлена на рисунке 1.

В МСУ, разработанных для стационарных условий обмолота, например, семенной или продовольственной кукурузы, отказ от применения заслонки выгрузного окна приводит к необходимости разработки многоступенчатых молотилок, реализующих принцип дифференцированного обмолота. Отметим конструкцию MSH-25 «Сербия продукт», в которой последовательно установлены независимые молотильная и сепарирующая части. Машина работает весьма эффективно, однако обладает увеличенными габаритными размерами.

Обеспечить контроль за процессом обмолота можно, регулируя силу удара частотой вращения ротора и дифференцируя силу трения посредством пневмоадаптивной деки [5, 6]. МСУ с пневмоадаптивной декой разработано для стационарного обмолота семенной кукурузы без листовой обёртки и после предварительной сушки початков до влажности 14% (рис. 2). Однако это МСУ обладает всеми конструктивными элементами, позволяющими его использовать для решения более широкого диапазона задач. Например, в качестве молотилки роторного селекционного комбайна, убирающего кукурузу на зерно с влажностью, существенно более 14%, без предварительного снятия листовой обёртки.

С целью компромиссного объединения достоинств конструктивных схем, представленных на рисунках 1 и 2, предлагается в МСУ с пневмоадаптивной декой внести два конструктивных изменения. Первое – подача в верхнюю половину выгрузного окна (в противоход обмолачиваемой массе и под углом к оси ротора) направленного воздушного потока, создающего эффект воздушной завесы, которая аналогично заслонке разворачивает отделившееся от початков зерно и направляет его к отверстиям нижней части деки. Это минимизирует потерю зерна с выбрасываемой ротором незерновой массой без увеличения длины ротора. Поскольку дополнительная масса зерна сгружается в нижнюю часть зоны домолота, то для повышения ее эффективности вводится второе конструктивное изменение: в зоне домолота нижней части деки придаются дополнительные вынужденные колебания, то есть полудека становится вибрационной.

⁴ Курасов В.С., Куцеев В.В., Самурганов Е.Е. Механизация работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы: Монография. Краснодар: КубГАУ, 2013. 151 с.

⁵ Голик М.Г. Хранение и обработка початков и зерна кукурузы: Монография. М.: Колос, 1968. 337 с.

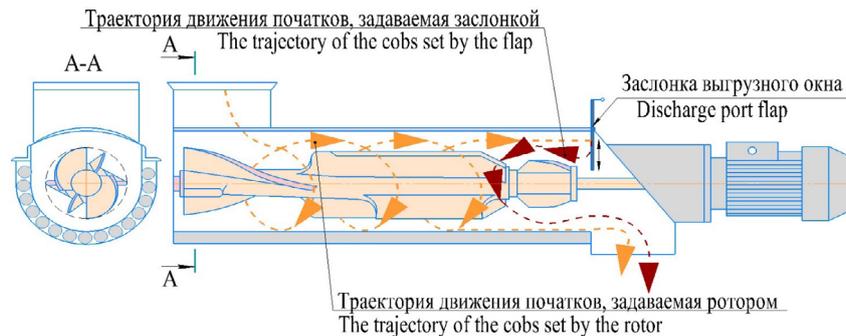


Рис. 1. Принципиальная схема работы молотильно-сепарирующего устройства с заслонкой выгрузного окна
Fig. 1. Schematic operation diagram of the threshing-and-separating unit with the discharge port air curtain

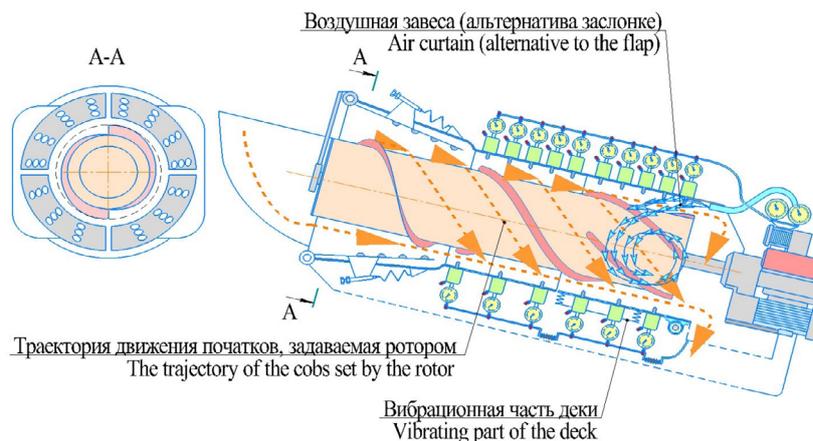


Рис. 2. Принципиальная схема модернизированного молотильно-сепарирующего устройства с пневмоадаптивной декой

Fig. 2. Schematic diagram of the upgraded threshing-and-separating unit with a pneumoadaptive deck

Указанные конструктивные изменения повысят эффективность работы МСУ с пневмоадаптивной декой при следующих условиях:

- воздушная завеса будет разрушать направленный поток воздуха, создаваемый лопастями ротора и выбрасывающий зерно в выгрузное окно, а также смещать отделившееся зерно к началу вибрирующей части деки в зоне домолота;

- вибрирующая часть деки будет обеспечивать сепарацию обмолачиваемой массы без повреждений зерна.

Ротор МСУ с пневмоадаптивной декой при стационарном обмолаоте очищенных и высушенных початков должен вращаться с частотой 154...162 мин⁻¹. В таком режиме сход свободным зерном не превышает 1% [5, 6]. В условиях прямого комбайнирования, при влажности зерна более 14% и наличия листовой обертки на початках, потребуется более высокая частота вращения ротора. При этом сход свободным зерном может выйти за регламентированные рамки. Причина данного эффекта заключается в том, что в зоне домолота часть свободного зерна, получившая ударный импульс от быстро вращающегося ротора, летит в направлении выгрузного окна и попадает в интенсивный направленный воздушный поток,

создаваемый лопастями ротора. Для исключения этого эффекта необходима воздушная завеса, обеспечивающая останавливающее воздействие на свободное зерно, летящее в выгрузное окно. Завеса должна исключить возможность вылета свободного зерна в выгрузное окно, преодолев движущую силу, вызванную ударным импульсом, и разрушив направляющее действие выходящего в выгрузное окно воздушного потока, создаваемого лопастями ротора. Теоретическое обоснование таких условий требует усреднения геометрии зерна, определяющей условия его полёта в воздушном потоке, а именно определения общего для основных ботанических групп кукурузы профиля зерна и его эффективной площади контакта с воздушным потоком [7, 8]. Это осуществлено посредством аппроксимации кривых, задающих природную форму зерна кукурузы, и последующего 3D-моделирования профилей по усреднённым значениям полученных полиномов.

Для получения кривых, задающих природную форму зерна, было отобрано по 5 початков кукурузы сорта Достойный и Эффектный. Размеры початков соответствовали среднестатистическим параметрам, заявленным оригинатором. От каждого початка было

отделено по 5 зёрен из комля, середины и носка, что позволило сформировать по 3 выборки для каждого сорта. Затем методом деления квадрата было выделено 6 зёрен, характеризующих сорт (по одному из каждой выборки). Отобранные зёрна фотографировали, создавалась цифровая фотокопия с высоким разрешением, которая накладывалась как слой

на миллиметровую сетку в программе Компас-3D с сохранением размеров и пропорций зёрен. Далее, обходя зерно по контуру, отмечали по 20 точек на миллиметровой сетке, затем фото удалялось, а контур зерна сохранялся. Соединение этих точек позволяло создать искомые фронтальные и профильные проекции (рис. 3, 4).

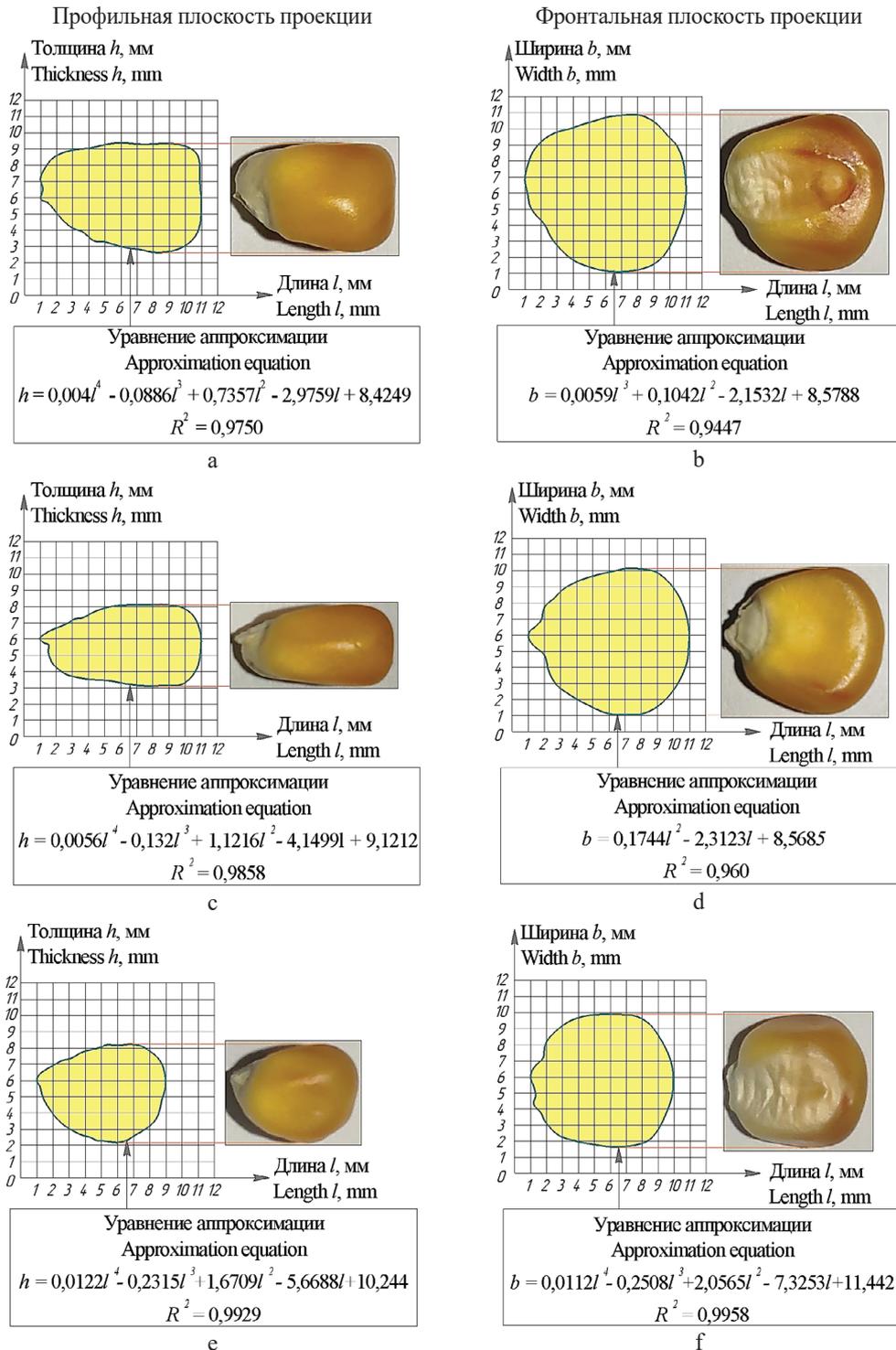


Рис. 3. Ортогональные проекции зерна кремнистой кукурузы, взятого из комля (a, b), средней части (c, d) и носка (e, f) початка

Fig. 3. Orthogonal projections of flint corn grain taken from the bottom of the corn cob (a, b), the middle of the corn cob (c, d), and the top of the corn cob (e, f)

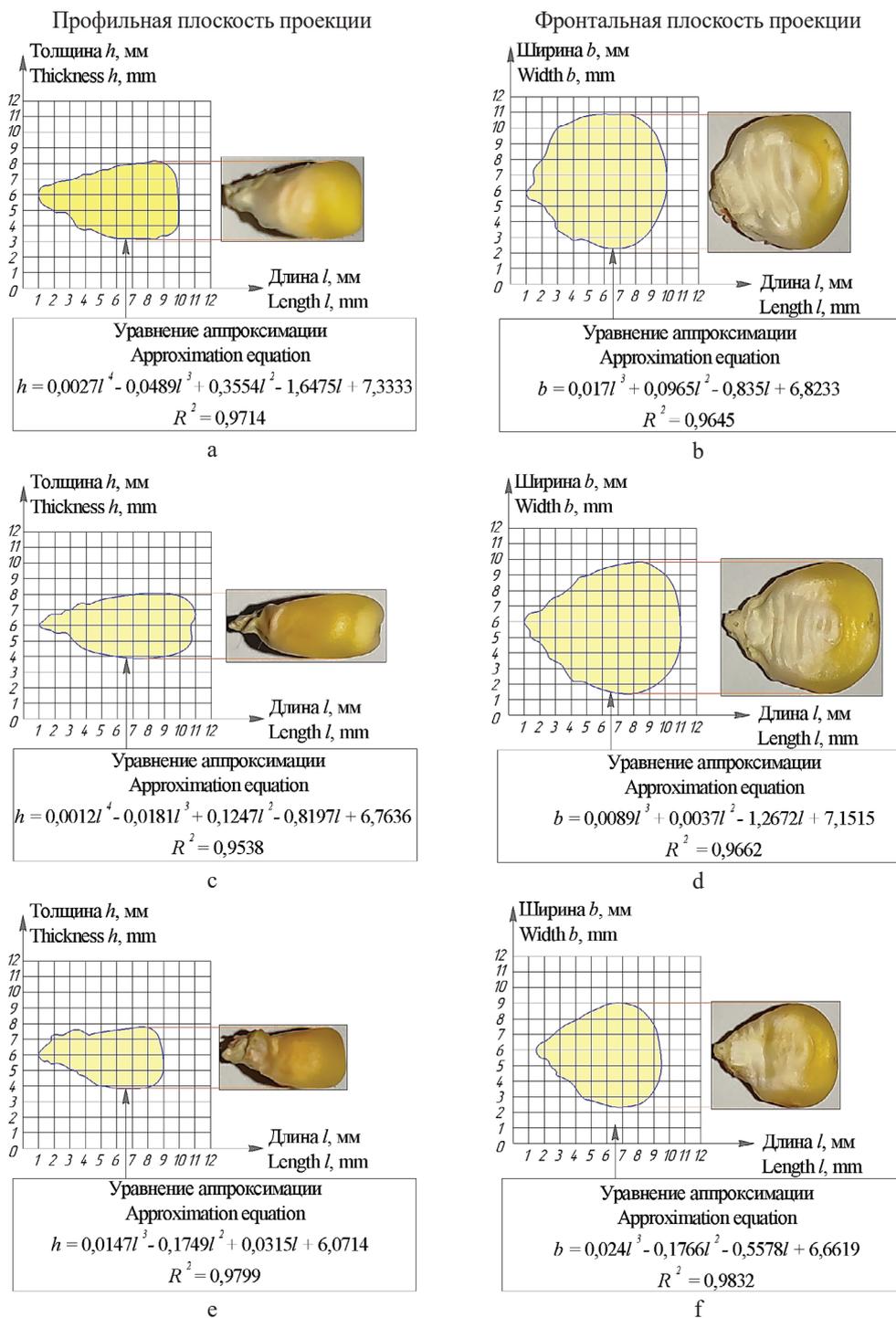


Рис. 4. Ортогональные проекции зерна зубовидной кукурузы, взятого из комля (а, б), средней части (с, д) и носка (е, ф) початка

Fig. 4. Orthogonal projections of dent corn grain taken from the bottom of the corn cob (a, b), the middle of the corn cob (c, d), and the top of the corn cob (e, f)

Аппроксимация фронтальных и профильных проекций зерна зубовидной и кремнистой кукурузы, взятой из комля, середины и носка початка, представлена на рисунках 3 и 4. Уравнения (полиномы) получены посредством функции «Параметры линии тренда» в программе Microsoft Excel. Результат усреднения коэффициентов в полученных полиномах приведен в таблице.

В результате усреднения коэффициентов получены два полинома, определяющих обобщённую форму профиля h и форму фронтальной проекции зерна кукурузы b (рис. 5, 6):

$$h = 0,0043l^4 - 0,0841l^3 + 0,6389l^2 - 2,5384l + 7,9931, \quad (1)$$

$$b = 0,0019l^4 - 0,0325l^3 + 0,3765l^2 - 2,4085l + 8,2040. \quad (2)$$

Обобщение коэффициентов уравнений аппроксимации

Generalization of coefficients from approximation equations

Зона початка Cob area	the Polynomial coefficients				
	При l^4 At l^4	При l^3 At l^3	При l^2 At l^2	При l At l	Свободный член Free member
Зерно кремнистой кукурузы в профильной плоскости проекции / Profile projection of flint corn grain					
Комель / Bottom of the corn cob	0,0040	-0,0886	0,7357	-2,9759	8,4249
Средняя часть / Middle of the corn cob	0,0056	-0,1320	1,1216	-4,1499	9,1212
Носок / Top of the corn cob	0,0122	-0,2315	1,6709	-5,6688	10,244
Среднее значение / Average value	0,0073	-0,1507	1,1761	-4,2649	9,2634
Зерно кремнистой кукурузы во фронтальной плоскости проекции / Frontal projection of flint corn grain					
Комель / Bottom of the corn cob	0	0,0059	0,1042	-2,1532	8,5788
Средняя часть / Middle of the corn cob	0	0	0,1744	-2,3123	8,5685
Носок / Top of the corn cob	0,0112	-0,2508	2,0565	-7,3253	11,442
Среднее значение / Average value	0,0037	-0,0816	0,7784	-3,9303	9,5298
Зерно зубовидной кукурузы в профильной плоскости проекции / Profile projection of dent corn grain					
Комель / Bottom of the corn cob	0,0027	-0,0489	0,3554	-1,6475	7,3333
Средняя часть / Middle of the corn cob	0,0012	-0,0181	0,1247	-0,8197	6,7636
Носок / Top of the corn cob	0	0,0147	-0,1749	0,0315	6,0714
Среднее значение / Average value	0,0013	-0,0174	0,1017	-0,8119	6,7228
Зерно зубовидной кукурузы во фронтальной плоскости проекции / Frontal projection of dent corn grain					
Комель / Bottom of the corn cob	0	0,0170	0,0965	-0,8350	6,8233
Средняя часть / Middle of the corn cob	0	0,0089	0,0037	-1,2672	7,1515
Носок / Top of the corn cob	0	0,0240	-0,1766	-0,5578	6,6619
Среднее значение / Average value	0	0,0166	-0,0255	-0,8867	6,8789
Общее среднее для двух ботанических групп / Overall average for two botanical groups					
В профильной плоскости проекции In the profile plane of projection	0,0043	-0,0841	0,6389	-2,5384	7,9931
Во фронтальной плоскости проекции In the frontal plane of projection	0,0019	-0,0325	0,3765	-2,4085	8,2040

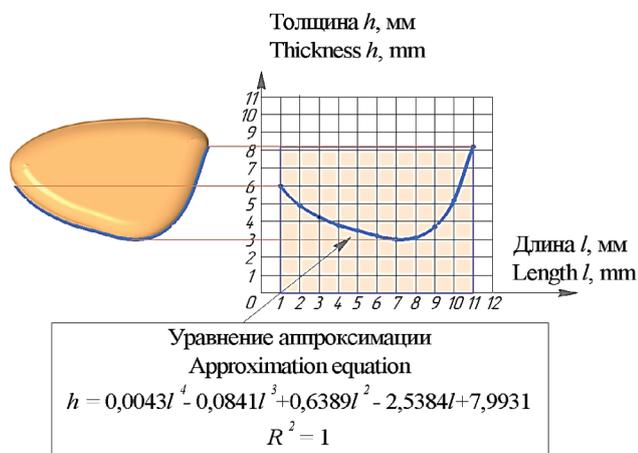


Рис. 5. Обобщённая модель профиля зерна кукурузы
Fig. 5. Averaged model of the profile of corn grain

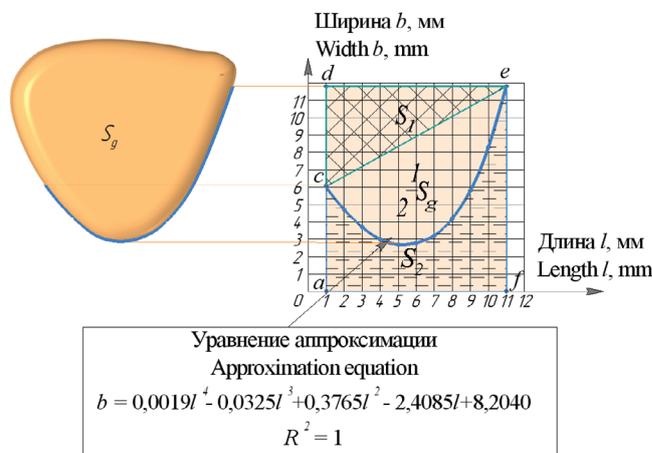


Рис. 6. Обобщённая модель фронтальной проекции зерна кукурузы
Fig. 6. Averaged model of the frontal projection of corn grain

Площадь фронтальной проекции по своей физической сути является эффективной площадью контакта зерна с воздушным потоком.

Модели сохраняют естественную симметрию зерна во фронтальной проекции и асимметрию – в его профильной проекции. Обобщённая площадь фронтальной проекции S_g зерна кукурузы по данным рисунка 6 из геометрических соображений определяется выражением:

$$S_g = 2k \cdot (S_0 - S_1 - S_2) = \\ = 2k \cdot \left(S_0 - \frac{1}{2}HL - \int_a^f (0,0019l^4 - 0,0325l^3 + \right. \\ \left. + 0,3765l^2 - 2,4085l + 8,2040) dl \right), \quad (3)$$

где k – поправка на искривление профиля в области зародыша зерна, $k = 0,90 \dots 0,95$; S_0 – прямоугольная площадь $adef$ на рисунке 6; S_1 – площадь треугольного участка cde на рисунке 6. Расстояние $cd = H$, $de = L$; S_2 – площадь фигуры, ограниченной графической интерпретацией усреднённого полинома, осью абсцисс и пределами интегрирования от a до f .

Расчёт, произведённый посредством выражения (3), показал, что в пределах интегрирования $a = 1$ мм, $f = 11$ мм, выбранных на основании анализа природных размеров зерна, среднее значение эффективной площади контакта с воздушным потоком S_g находится в пределах $76 \dots 82$ мм².

Используя знания об усреднённой геометрии зерна кукурузы, опираясь на известные математические модели, можно с достаточной точностью рассчитать

Список источников

1. Сотченко В.С. Роль кукурузы в повышении продовольственной независимости страны // Вестник Российской академии наук. 2015. Т. 85, № 1. С. 12-14. EDN: TELWMV
2. Алдошин Н.В., Бердышев В.Е., Малла Б. Обоснование режимов работы аксиально-роторных зерноуборочных комбайнов на уборке смешанных посевов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2019. № 3 (91). С. 17-22. <https://doi.org/10.34677/1728-7936-2019-3-17-22>
3. Бахарев Д.Н., Добрицкий А.А. Аналитическое обоснование размерных характеристик ротора молотильно-сепарирующего устройства для кукурузоуборочного комбайна // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2023. № 2 (38). С. 11-16. EDN: DKТОМФ
4. Жалнин Э.В., Чаплыгин М.Е. Динамика фракционно-го состава зерносомистой массы, обмолачиваемой в молотильном аппарате зерноуборочного комбайна // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 2. С. 249-262. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.249-262>
5. Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н. Молотильно-сепарирующее устройство для первичного семеноводства кукурузы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 1. С. 34-39. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-1-34-39>
6. Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф., Черников Р.В. Пневматическая система дифференцированного обмолота кукурузы // Сельскохозяйственные

требуемую скорость воздуха в завесе, определить уточнённые значения коэффициента парусности, скорости витания и т.д. [9-12].

Предложенный концептуальный подход к процессу обмолота кукурузы расширяет возможности применения молотильно-сепарирующего устройства с пневмоадаптивной декой.

Выводы

1. Уменьшить габаритные размеры роторного молотильно-сепарирующего устройства для кукурузы на $10 \dots 15\%$ можно за счёт применения воздушной завесы верхней половины выгрузного окна и вибрационной активизации нижней полудеки домолочивающей части.
2. Посредством воздушной завесы можно создать условия, при которых разрушается направленный поток воздуха, создаваемый лопастями ротора, а отделившееся зерно смещается к началу вибрирующей части деки в зоне домолота.
3. Полученные модели для расчёта параметров воздушной завесы выгрузного окна роторного молотильно-сепарирующего устройства учитывают профиль зерна кукурузы и его эффективную площадь контакта с воздушным потоком, среднее значение которой составляет $76 \dots 82$ мм².
4. Для проверки предложенной концепции обмолота кукурузы на практике предлагаемую конструкцию молотильно-сепарирующего устройства целесообразно испытать в условиях обмолота початков кукурузы с влажностью более 14% и без предварительного снятия листовой обертки.

References

1. Sotchenko V.S. The role of corn in increasing the country's food independence. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2015;85(1):12-14. (In Russ.)
2. Aldoshin N.V., Berdyshchev V.Ye., Mala Bahaa. Determining operating modes of axial-rotary combine harvesters for harvesting mixed crops. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019;3(91):17-22. (In Russ.) <https://doi.org/10.34677/1728-7936-2019-3-17-22>
3. Bakharev D.N., Dobritskiy, A.A. Analytical justification of the dimensional characteristics of the rotor of a threshing and separating unit for a corn harvester *Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives*. 2023;2(38):11-16. (In Russ.)
4. Zhalnin E.V., Chaplygin, M.E. Dynamics of fractional composition of grain-and-straw mass being threshed in the threshing mechanism of a combine harvester. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(2):249-262. (In Russ.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.249-262>
5. Pastukhov A.G., Bakharev D.N. Maize threshing and separating device for primary seed production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020;14(1):34-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-1-34-39>
6. Pastukhov A.G., Bakharev D.N., Volvak S.F., Chernikov R.V. Pneumatic system of variable-force corn threshing. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2019;13(4):42-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-4-42-47>
7. Pastukhov A.G., Bakharev D.N. Procedure for engineering calculation of a set of technical tools for step-by-step threshing

машины и технологии. 2019. Т. 13, № 4. С. 42-47. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-4-42-47>

7. Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н. Методика инженерного расчёта комплекта технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 4 (32). С. 61-72. EDN: IQRXHT

8. Василенко В.В., Оробинский В.И., Василенко С.В., Посохов Д.Н. Взаимосвязь аэродинамических показателей фракций сыпучего материала // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 4 (75). С. 90-96. EDN: GATZVO

9. Василенко В.В., Оробинский В.И., Василенко С.В., Посохов Д.Н. Разброс значений коэффициента парусности семян пшеницы при аэродинамической сепарации // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 2 (77). С. 98-105. EDN: PZSDFM

10. Московский М.Н., Борзенко С.И. Распределение высокозагрязнённого соевого материала в глубоком воздушном канале // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17, № 4. С. 42-48. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-42-48>

11. Добрицкий А.А. Экспериментальные исследования сушилки высоковлажных семян бахчевых культур // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 4 (32). С. 9-25. EDN: SKVCDB

12. Добрицкий А.А. Обоснование и разработка модели функционирования сушилки высоковлажных семян бахчевых культур // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2022. № 4 (36). С. 25-29. EDN: NITSJS

Информация об авторах

Александр Геннадиевич Пастухов¹, д-р техн. наук, профессор; pastukhov_ag@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8249-8970>

Дмитрий Николаевич Бахарев², д-р техн. наук, доцент; baharevdn_82@mail.ru

Сергей Федорович Вольвак³, канд. техн. наук, профессор; volvak.s@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6955-7144>

Андрей Евгеньевич Бурнукин⁴, старший преподаватель; andrey_243@mail.ru

Сергей Анатольевич Швыдченко⁵, заведующий отделением; schvidtschenko@mail.ru

^{1,2,3} Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина; 308503, Российская Федерация, Белгородская обл., Белгородский р-он, пос. Майский, ул. Вавилова, 1

⁴ Луганский государственный аграрный университет им. К.Е. Ворошилова; 291008, Российская Федерация, Луганская Народная Республика, Артемовский р-он, г. Луганск, тер. ЛНАУ, д. 1

⁵ Колледж метрополитена и железнодорожного транспорта; 192283, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Купчинская, 28, литера А

Вклад авторов

А.Г. Пастухов – концептуализация и общее научное руководство. Д.Н. Бахарев – компьютерная графика, 3D-моделирование, редактирование окончательной версии рукописи.

С.Ф. Вольвак – разработка аннотаций и литературный анализ. А.Е. Бурнукин – формулирование направлений совершенствования молотильного устройства, формирование проекций зерна, аппроксимация и обработка массива полученных данных. С.А. Швыдченко – создание и обработка фотоинформации, оформление черновика рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 25.10.2023, после рецензирования и доработки 14.02.2024, принята к публикации 16.02.2024

of cobs seed corn. *Innovations in agricultural complex: problems and perspectives*. 2021;4(32):61-72. (In Russ.).

8. Vasilenko V.V., Orobinskiy V.I., Vasilenko S.V., Posokhov D.N. Relationship of the aerodynamic parameters of bulk material fractions. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University* 2022;15(4):90-96. (In Russ.)

9. Vasilenko V.V., Orobinsky V.I., Vasilenko S.V., Posokhov D.N. Coefficient of sailing capacity of wheat seeds and its variations during aerodynamic separation. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023;16(2):98-105. (In Russ.)

10. Moskovskiy M.N., Borzenko S.I. Distribution of heterogeneous, highly impure soy material in a deep air channel. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023;17(4):42-48. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-42-48>

11. Dobritsky A.A., Volvak S.F. Experimental studies of the dryer of high-moisture seeds of melon crops. *Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives*. 2021;4:9-25. (In Russ.)

12. Dobritskiy A.A. Justification and development of a functioning model of a dryer of high-moisture gourds seeds. *Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives*. 2022;4:25-29. (In Russ.)

Author Information

Aleksandr G. Pastukhov¹, DSc (Eng), Professor; pastukhov_ag@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8249-8970>

Dmitry N. Bakharev², DSc (Eng), Associate Professor; baharevdn_82@mail.ru

Sergey F. Volvak³, CSc (Eng), Professor; volvak.s@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6955-7144>

Andrey E. Burnukin⁴, Senior Lecturer; andrey_243@mail.ru

Sergey A. Shvydchenko⁵, Head of the Department; schvidtschenko@mail.ru

^{1,2,3} Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, Vavilov Str., 1, Maysky, Belgorod district, Belgorod region, 308503, Russian Federation.

⁴ Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov, LNAU Str., 1, Lugansk, Artemovsk district, Lugansk People's Republic, 291008, Russian Federation.

⁵ College of Metro and Railway Transport, Kupchinskaya Str., 28 A, St. Petersburg, 192283, Russian Federation.

Author Contribution

A.G. Pastukhov – conceptualization and research supervision. D.N. Bakharev – computer graphics, 3D modeling, finalizing (reviewing and editing) of the manuscript.

S.F. Volvak – abstract making and literature review.

A.E. Burnukin – searching for the ways to improve the threshing device, development of grain projections, approximation and processing of the array of data obtained.

S.A. Shvydchenko – visualization, original draft preparation.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 25.10.2023; Revised 14.02.2024; Accepted 16.02.2024.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.372:004.8

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-13-19>**Интеллектуальная технология определения оптимального давления воздуха в шинах колёс сельскохозяйственных тракторов*****Е.В. Труфляк¹, В.В. Алексеев², С.А. Васильев^{3✉}, В.П. Филиппов⁴, Д.В. Евстифеев⁵***¹ Кубанский государственный аграрный университет; г. Краснодар, Россия^{2,3,4} Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова; г. Чебоксары, Россия^{3,5} Нижегородский государственный инженерно-экономический университет; г. Княгинино, Россия¹ trufliak@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4914-0309>² av77@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2780-1727>³ vsa_21@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3346-7347>⁴ flippov_v_p@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7240-4405>⁵ dvestifeev@mail.ru

Аннотация. Использование мощных тракторов и широкозахватных сельскохозяйственных машин, оказывающих сильное уплотняющее воздействие на почву, обусловлено рентабельностью агропромышленного производства. Отсутствие целостного системного подхода к снижению антропогенного уплотняющего воздействия колёсных движителей и рабочих органов современной энергонасыщенной тяжёлой техники на почву агроландшафтов требует совершенствования технологии в определении оптимального давления воздуха в шинах колёс сельскохозяйственных тракторов. С этой целью разработана интеллектуальная технология определения оптимального давления воздуха в шинах различных типов сельскохозяйственных тракторов. Задача решалась путём обработки «больших» массивов данных об эксплуатируемых машинно-тракторных агрегатах и агроландшафте с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Сбор и анализ первичных данных, необходимых при обучении нейронной сети, проведены на полях Республики Адыгея при возделывании озимого ячменя и озимой пшеницы с применением техники, использующей шины низкого давления Michelin AXIOBIB2. Применялась нейронная сеть прямого распространения Feed forward neural network. В качестве факторов, поступающих на вход нейронной сети, использовались 14 параметров: типы почвы, техники и покрышек; координаты поля; наличие и вид навесного оборудования; время года; вид обработки почвы; гранулометрический состав, влажность и плотность почвы; диаметры колес; скорость движения техники; уклон поля; агрофон. В условиях поставленной задачи основной целевой функцией являлась урожайность. Предобученная на значительном количестве исходных данных нейронная сеть при вводе необходимых данных рассчитывает оптимальное давление воздуха в шинах. На основании созданного программного обеспечения в дальнейшем планируется создание системы автоматической регулировки подкачки шин в зависимости от входящих факторов, вносимых в режимах офлайн и онлайн.

Ключевые слова: интеллектуальная технология, определение оптимального давления воздуха в шинах, шины колёс сельскохозяйственных тракторов, уплотняющее воздействие на почву, нейронная сеть

Для цитирования: Труфляк Е.В., Алексеев В.В., Васильев С.А., Филиппов В.П., Евстифеев Д.В. Интеллектуальная технология определения оптимального давления воздуха в шинах колёс сельскохозяйственных тракторов // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 2. С. 13-19. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-13-19>

ORIGINAL ARTICLE

Intelligent technology for determining the optimal air pressure in the tires of agricultural tractor wheels

E.V. Truflyak¹, V.V. Alekseev², S.A. Vasiliev^{3✉}, V.P. Filippov⁴, D.V. Evstifeev⁵

¹ Kuban State Agrarian University; Krasnodar, Russia

^{2,3,4} Chuvash State University named after I.N. Ulyanov; Cheboksary, Russia

^{3,5} Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University; Knyaginino, Russia

¹ trufliak@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4914-0309>

² av77@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2780-1727>

³ vsa21@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3346-7347>

⁴ filippov_v_p@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7240-4405>

⁵ dvevstifeev@mail.ru

Abstract. The use of powerful tractors and wide-beam agricultural machinery, which have a strong compaction effect on the soil, is conditioned by the agricultural production profitability. The lack of a holistic systematic approach to reducing the anthropogenic compaction effect of wheel propulsors and working units of modern energy-intensive heavy machinery on the soil of agricultural landscapes requires the improvement of methods for determining the optimal air pressure in the tires of agricultural tractors. For this purpose, the authors developed an intelligent technology for determining the optimum air pressure in the various types of tires used in agricultural tractors. The problem was solved by processing “large” arrays of data on operating machine and tractor units and agrolandscapes in order to increase crop yields. Collection and analysis of primary data required for training the neural network were conducted on the fields of the Republic of Adygea during the cultivation of winter barley and winter wheat with the use of machinery equipped with Michelin AXIOBIB2 low-pressure tires. The Feed forward neural network was applied. Fourteen parameters were used as input factors to the neural network: types of soil, machinery and tires; field coordinates; presence and type of mounted equipment; season; type of tillage; granulometric composition, moisture and soil density; wheel diameters; motion speed of machines; field slope; agricultural background. The task set presumed the yield parameter as the main target function. The neural network pre-trained on a significant amount of input data calculates the optimal air pressure in tires when inputting the necessary data. Based on the designed software, the authors plan to develop a system of automatic adjustment of tire inflation depending on the incoming factors made in the offline and online modes.

Keywords: intelligent technology, determination of optimal tire pressure, agricultural tractor wheel tires, soil compaction effect, neural network

For citation: Truflyak E.V., Alekseev V.V., Vasiliev S.A., Filippov V.P., Evstifeev D.V. Intelligent technology for determining the optimal air pressure in the tires of agricultural tractor wheels. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(2):13-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-13-19>

Введение

Уплотнение верхнего слоя почвы при движении тяжёлой техники на полях является одной из проблем сельскохозяйственного производства в мире. Проблема уплотнения почвы усугубляется увеличением размеров сельскохозяйственной техники и её перемещением по почве повышенной влажности [1, 2], что приводит к ухудшению структуры почвы и её деформации, изменению её свойств (аэрации, прочности почвы и структурных характеристик), влияющих на рост и урожайность сельскохозяйственных культур [3].

Степень повреждения структуры почвы, связанного с её уплотнением, зависит от нескольких взаимодействующих факторов. В ранних работах В. Сене по моделированию сделан вывод о том, что нагрузка на колесо является существенным фактором, определяющим

напряжение, передаваемое на глубокие слои почвы [4]. Кроме того, исследования различных типов почв показали значительное влияние уплотнения на структуру агрегатов глубоких слоёв почвы [5].

Давление воздуха в шинах колес является ключевым фактором воздействия сельскохозяйственных тракторов на верхний слой почвы [6]. Некоторыми зарубежными исследователями указывается на необходимость различия давления накачки и нагрузки на колесо, поскольку номинальное давление увеличивается с ростом нагрузки на колесо [7, 8]. В ряде исследований количественно оценен эффект многократного кратковременного приложения нагрузки: например, прохождение нескольких колёс друг за другом. Обнаружено, что вертикальная деформация почвы пахотного слоя линейно связана с логарифмом числа проходов

колёс [9]. Отмечается снижение урожайности при каждом дополнительном проходе колеса даже при движении с небольшой нагрузкой, что подчёркивает первостепенное влияние свойств верхнего слоя почвы на рост растений. Зарубежными исследователями описаны сложные процессы, происходящие в почве, подвергающейся многократному перекачиванию [10].

Обзор источников литературы показал отсутствие целостного системного подхода к снижению антропогенного уплотняющего воздействия колёсных движителей и рабочих органов современной энергонасыщенной тяжёлой техники на почву агроландшафтов [11-13]. Существующие системы не обеспечивают комплексного подхода к учёту большого числа проанализированных факторов [14, 15].

Предварительный анализ показал, что применительно к рассматриваемому случаю выгодно использовать нейронную сеть прямого распространения (Feed forward neural network) как одну из самых распространённых форм искусственных нейронных сетей. Поиск оптимального значения давления в шинах – это задача, не имеющая аналитического решения, близкого к глобальному оптимуму ввиду большого числа факторов, влияющих на конечный результат. В ходе исследований, на основании результатов полевых экспериментальных исследований и в процессе обучения нейронных сетей, вполне возможно, будет скорректирован сам набор входных факторов. В этом случае использование нейронных сетей представляется разумным подходом для реализации цели исследований.

Цель исследований: разработать интеллектуальную технологию определения оптимального давления воздуха в шинах колёс сельскохозяйственных тракторов, которая путем обработки «больших»

массивов данных о машинно-тракторном агрегате и агроландшафте позволит определить оптимальное давление в шинах для различных типов тракторов при эксплуатации на разных агрофонах для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Материалы и методы

Проанализированы отечественные и зарубежные системы управления давлением воздуха в шинах; проведены исследования по натурному и модельному взаимодействию шин с почвой; изучены работы по моделированию воздействия шин низкого давления на почву. Изучены вопросы, связанные со сбором и анализом первичных данных, необходимых при обучении нейронной сети, предобработкой данных и выбором топологии нейронной сети. Полученные большие массивы данных сложно обработать аналитическими методами, которые не позволяют связать технические параметры и данные об урожайности, поэтому задача решалась с помощью искусственного интеллекта (использование нейросетей). Обучаемые нейронные сети могут выполнять поиск оптимального давления в шинах колёсных тракторов на множестве альтернативных решений.

Сбор и анализ первичных данных, необходимых при обучении нейронной сети, проведены на полях Республики Адыгея в 2021-2023 гг. при возделывании озимого ячменя и озимой пшеницы. Эксперименты проведены по предложению компании Michelin для расширения детализации исследований [6, 7] и их адаптации к условиям юга России [14]. Установлено, что использование шин низкого давления Michelin AXIOBIB2 при возделывании озимого ячменя и озимой пшеницы (рис. 1) позволяет повысить урожайность в среднем на 4% (табл. 1).



Дисквание стерни
Stubble disking



Внесение удобрений
Fertilizer application



Дисквание после внесения удобрений
Disking after fertilizer application sowing



Посев
Sowing



Прикатывание посевов
Tilling



Внесение жидких удобрений
Liquid fertilizer application

Рис. 1. Использование шин низкого давления Michelin AXIOBIB2 на тракторах при возделывании озимого ячменя

Fig. 1. Use of Michelin AXIOBIB2 low-pressure tires on tractors in winter barley cultivation

Таблица

Средние данные по урожайности озимого ячменя

Table

Average data on winter barley yields

Урожайность <i>Yield</i>	Значение, т/га / <i>Value, tons/ha</i>		Разница, % <i>Difference, %</i>
	опыт / <i>experiment</i>	контроль / <i>control</i>	
Биологическая / <i>Biological</i>	7,1	6,8	4,4
Комбайновая / <i>Combine</i>	6,9	6,3	9,5
Итоговая / <i>Final</i>	7,0	6,6	6,1

Полученные экспериментальные данные позволили обучить нейронную сеть, имеющую на входе информацию о типе техники, режимах ее работы, текущие агрофизические характеристики поля, а на выходе – оптимальное значение давления воздуха в шинах.

Модель нейронной сети: выход k -го нейрона $i + 1$ слоя рассчитывается как взвешенная сумма всех его входов с i -го слоя, к сумме применима функция активации, нормализующая выходной сигнал:

$$x_k^{m+1} = f\left(\sum_{j=1}^{n_m} w_{(j,k)}^m x_j^m\right), \quad (1)$$

где x_j^m – нейрон с индексом j на слое m ; n_m – количество нейронов на слое m ; $w_{(j,k)}^m$ – весовой коэффициент связи нейрона x_j^m с нейроном x_k^{m+1} ; f – функция активации.

Создание нейронной сети происходит по стандартной схеме и включает в себя следующие этапы:

- сбор и анализ первичных данных, необходимых при обучении нейронных сетей;
- предварительная обработка данных;
- выбор топологии нейронных сетей;
- экспериментальный подбор характеристик сети;
- экспериментальный подбор параметров обучения и обучение нейронной сети на собранных данных;
- проверка эффективности и адекватности обучения на тестовых данных;
- корректировка параметров модели нейронной сети и завершающее обучение;
- практическое применение разработанной и обученной нейронной сети для решения поставленной задачи.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим возможность применения нейросети в интеллектуальной технологии определения оптимального давления воздуха в шинах колёс тракторов при возделывании сельскохозяйственных культур в соответствии со схемой, представленной на рисунке 2. В качестве факторов, поступающих на вход нейронной сети, учитывались 14 параметров, характеризующих

машинно-тракторный агрегат и сельскохозяйственное поле конкретного агроландшафта.

Предобученная на значительном количестве исходных данных нейронная сеть при вводе (сканировании) необходимых данных на основе формулы (1) рассчитывает оптимальное давления воздуха в шинах.

В условиях поставленной задачи основной целевой функцией являлась урожайность. Нейросетевая модель, связывающая представленный набор факторов с урожайностью через экономические коэффициенты эластичности, позволяла анализировать степень влияния каждого из них. Поскольку работа связана с заданием оптимального давления в шинах, определяющего уплотняющее воздействие на почву, нами детально изучалось «проникновение» уплотнения вглубь почвы.

В качестве индикатора, отражающего изменение состояния почвы, использовались значения коэффициента фильтрации воздуха через почву. Эти значения позволяют проследить динамику уплотненного состояния по всей толщине рассматриваемого слоя почвы.

При послойном изучении уплотнения величина K_1^{-1} , обратная коэффициенту фильтрации почвы на глубине до 22 см, представляется как сумма величин, обратных коэффициентам фильтрации с 1-го по 10-й слой, каждый из которых имеет толщину 2 см:

$$K_1^{-1} = k_1^{-1} + k_2^{-1} + \dots + k_{10}^{-1}, \quad (2)$$

где k_i^{-1} – вклад i -го слоя.

Аналогично для глубины 2-22 см рассматривается величина K_2^{-1} и т.д. В итоге получается система уравнений ($i = 0 \dots 10$), решение которой позволяет детально проанализировать уплотнение в каждом тонком слое:

$$\begin{cases} k_{1+i}^{-1} + k_{2+i}^{-1} + \dots + k_{10+i}^{-1} = K_{1+i}^{-1}; \\ k_{n-10+i}^{-1} = K_{n-10+i}^{-1}. \end{cases} \quad (3)$$

Для получения необходимого большого набора экспериментальных данных использовались специально подобранные автоматизированные буры, установленные на квадроциклах (рис. 3). Конструкция буров

позволяет при минимальной деформации извлекать образцы почв с различной глубины.

Анализ значений коэффициентов фильтрации позволяет более точно, чем по измерениям плотности почвы, определить границы уплотнённой области, поскольку каждый почвенный слой вносит свой аддитивный «вклад» для всей почвенной толщи.

Интеллектуальная технология определения оптимального давления воздуха в шинах колёс сельскохозяйственных тракторов реализуется в виде

программного средства, разработанного в ЧГУ им. И.Н. Ульянова, на основе искусственного интеллекта. Скриншоты работы программы представлены на рисунке 4. Интерфейс программы позволяет осуществлять ввод параметров, характеризующих сельскохозяйственное поле конкретного агроландшафта, с привязкой к координатам, используя gis-технологии, а затем – параметры машинно-тракторного агрегата. Далее «обученная» нейросеть выдает величину оптимального давления в шинах МТА.

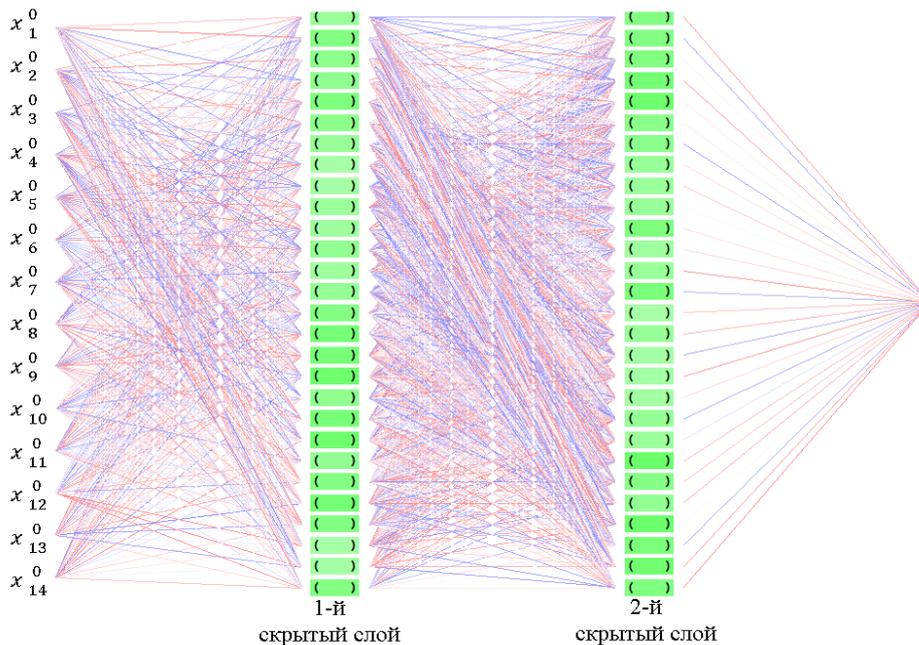


Рис. 2. Двухслойная нейронная сеть, учитывающая 14 параметров на входе:

- 1 – тип почвы; 2 – тип техники; 3 – тип покрышек (производитель, рисунок протектора);
- 4 – номер (координаты) поля; 5 – наличие и вид навесного оборудования; 6 – время года; 7 – вид обработки почвы;
- 8 – гранулометрический состав почвы; 9 – влажность почвы; 10 – плотность почвы;
- 11 – диаметр колес (передних, задних); 12 – скорость движения техники; 13 – уклон поля; 14 – агрофон

Fig. 2. Two-layer neural network considering 14 input parameters:

- 1 – soil type; 2 – type of machinery; 3 – tire type (manufacturer, tread pattern); 4 – field number (coordinates);
- 5 – presence and type of mounted equipment; 6 – season; 7 – type of tillage; 8 – granulometric composition of soil;
- 9 – soil moisture; 10 – soil density; 11 – wheel diameter (front, rear); 12 – speed of machinery; 13 – field slope;
- 14 – agricultural background



Рис. 3. Автоматизированный отбор проб для определения физико-механических свойств почвы:
 а – интерфейс програм мы; б – средство забора проб

Fig. 3. Automated sampling for determining physical and mechanical properties of soil:
 а – program interface; б – sampling tool

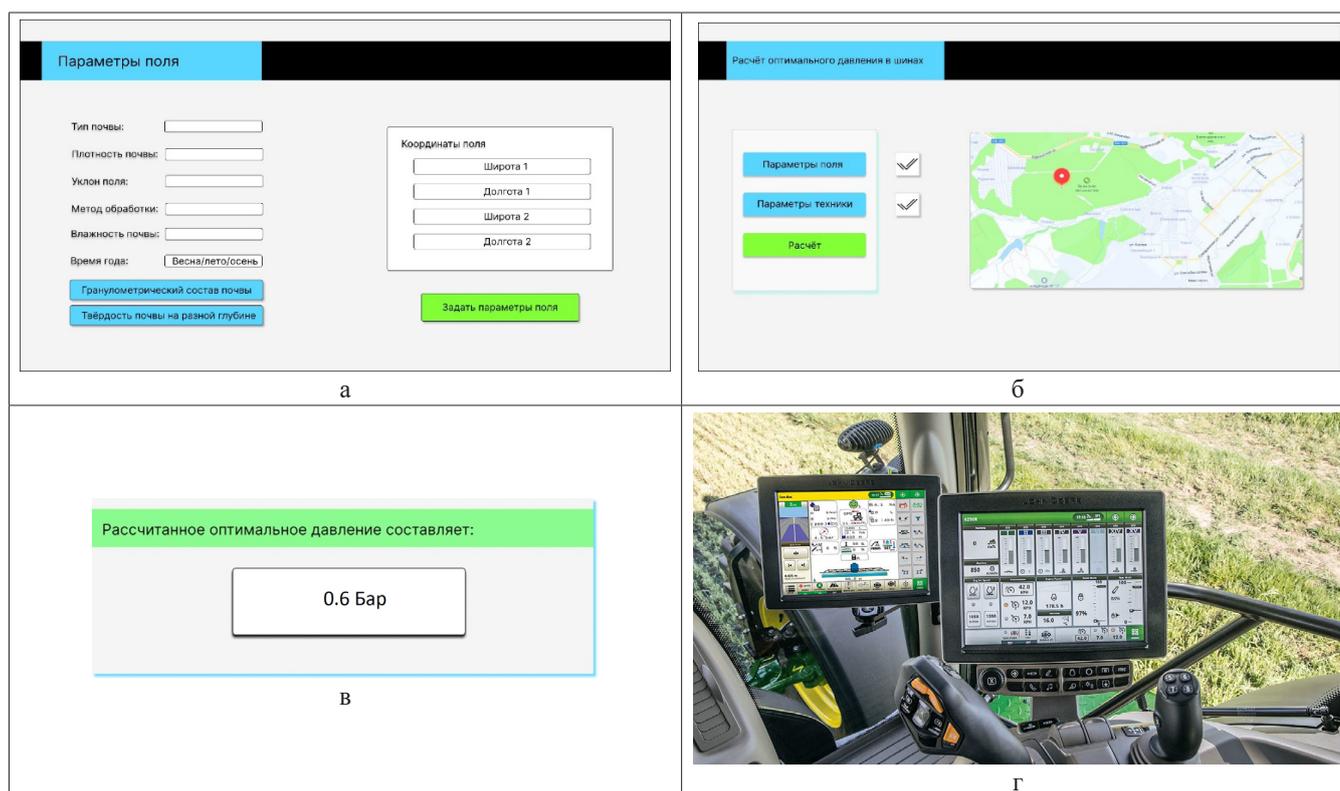


Рис. 4. Скриншоты работы программного средства:
интерфейс программы с входящими (а), выходными (б) данными и конечным результатом (в);
общий вид программы на экране монитора (г)

Fig. 4. Screenshots of the software tool operation:
program interface with input (a), output (b) data and final result (c); general view of the program on the monitor screen (d)

Отметим, что разработанное программное обеспечение позволяет в автоматическом режиме делать поправки на тип техники, режимы работы (скорость передвижения, степень загрузки и т.п.) и на особенности каждого конкретного поля – агроландшафта с его агрофизическими характеристиками (тип почвы, пористость, уклон и т.п.). Это позволит снизить антропогенное уплотняющее воздействие колесных движителей современной энергонасыщенной и тяжелой техники на почву.

Выводы

1. Разработанное на основе нейронной сети программное средство позволяет определить оптимальное значение давления в шинах колесных тракторов, при котором минимизируется уплотняющая техногенная нагрузка на почву.
2. На основании созданного программного обеспечения в дальнейшем планируется создание системы автоматической регулировки подкачки шин в зависимости от входящих факторов, вносимых в режимах оффлайн и онлайн.

Список источников / References

1. Vermeulen G.D., Verwijs B.R., Van den Akker J.J.H. Comparison of Loads on Soils During Agricultural Field Work in 1980 and 2010 (In Dutch With English Summary). *Plant Research International*. Wageningen. 2013. Rapport 501, 38 pp.
2. Hamza M.A., Anderson W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*. 2005;82(2):121-145. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>
3. Zink A., Fleige H., Horn R. Verification of harmful subsoil compaction in loess soils. *Soil and Tillage Research*. 2011;114(2):127-134. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.04.004>
4. Rivero D., Botta G.F., Antille D.L., Ezquerro-Canalejo A., Bienvenido F., Ucgul M. Tyre configuration and axle load of front-wheel assist and four-wheel drive tractors effects on soil

- compaction and rolling resistance under no-tillage. *Agriculture*. 2022;12(11):1961. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111961>
5. Söhne W. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tyres. *Engineering, Environmental Science*. 1958;39:276-281, 290
6. Smith E.K. et al. Effects of traffic and tillage on crop yield (winter wheat *Triticum aestivum*) and the physical properties of a sandy loam soil. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2014. <https://doi.org/10.13031/aim.20141912652>
7. Smith E.K., Misiewicz P., Chaney K., White D., Godwin R. Effect of tracks and tyres on soil physical properties in a sandy loam soil. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting*. 2014;6:4471-4477. <https://doi.org/10.13031/AIM.20141912659>

8. Godwin R.J., Misiewicz P.A., Millington W.A.J., White D.R., Dickin E.T., Chaney K. Summary of the effects of three tillage and three traffic systems on cereal yields over a four-year rotation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2017. 1701652. <https://doi.org/10.13031/AIM.201701652>

9. Lipiec J., Hatano R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*. 2003;116(1-2):107-136. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00097-1)

10. Horn R., Way T., Rostek J. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. *Soil Tillage Research*. 2003;73:101-106. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00103-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00103-X)

11. Кравченко В.А., Яровой В.Г., Меликов И.М. Характер деформирования крупногабаритных шин низкого давления движителей тракторов класса 5 // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 132. С. 1230-1241. EDN: ZTTADN

Kravchenko V.A., Yarovoy V.G., Melikov I.M. Pattern of deflection of the oversize tires with low pressure in tractor propulsion units of CLASS5. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2017;132:1230-1241. (In Russ.)

12. Васильев С.А. Интеллектуальная технология контроля качества обработки почвы в системе точного земледелия // Земледелие. 2022. № 3. С. 36-41. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-3-36-41>

Vasiliev S.A. Intelligent technology for quality control of tillage in the precision farming system. *Zemledelie*. 2022;3:36-41. (In Russ.)

13. Philippov V.P., Alekseev V.V., Vasiliev S.A. Taking into account terrain slopes when constructing optimized trajectories of agricultural machinery: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;981:032006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/3/032006>

14. Труфляк Е.В., Бухарцев М.С., Сотников Д.А. Эффективность применения шин низкого давления при возделывании озимого ячменя // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 4. С. 567-587. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202204.567-587>

Truflyak E.V., Bukhartsev M.S., Sotnikov D.A. Efficiency of low-pressure tires in the cultivation of winter barley. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(4):567-587. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202204.567-587> (In Russ.)

15. Бухарцев М.С., Труфляк Е.В. Повышение эффективности механизации возделывания и уборки озимого ячменя использованием шин низкого давления // Вектор современной науки: Сборник тезисов по материалам Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых. Краснодар, 2022. С. 766-768. EDN: CIEWVH

Bukhartsev M.S., Truflyak E.V. Improving the efficiency of mechanization of cultivation and harvesting of winter barley using low-pressure tires. *Vector of Modern Science: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists*. 2022:766-768. (In Russ.)

Информация об авторах

Евгений Владимирович Труфляк¹, д-р техн. наук, заведующий кафедрой; trufliak@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4914-0309>

Виктор Васильевич Алексеев², д-р техн. наук, профессор; av77@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2780-1727>

Сергей Анагольевич Васильев³, д-р техн. наук, заведующий кафедрой; vsa21@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3346-7347>

Владимир Петрович Филиппов⁴, канд. физ.-мат. наук, доцент; filippov_v_p@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7240-4405>

Евстифеев Дмитрий Викторович⁵, канд. техн. наук, заведующий кафедрой; dvestifeev@mail.ru

¹ Кубанский государственный аграрный университет; 350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

^{2,3,4} Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова; 428015, Российская Федерация, г. Чебоксары, Московский пр-т, 15

^{3,5} Нижегородский государственный инженерно-экономический университет; 606340, Российская Федерация, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22 А

Вклад авторов

Е.В. Труфляк – методология, информационные ресурсы и аналитика

В.В. Алексеев – информационные ресурсы и аналитика, верификация данных, формальный анализ

С.А. Васильев – концептуализация, руководство исследованием, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование

В.П. Филиппов – программное обеспечение, визуализация, создание черновика рукописи

Д.В. Евстифеев – актуальность проблемы, ресурсы

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 11.10.2023, после рецензирования и доработки 20.02.2024; принята к публикации 20.02.2024

Author Information

Evgeny V. Truflyak¹, DSc (Eng), Head of the Department; trufliak@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4914-0309>

Viktor V. Alekseev², DSc (Eng), Professor; av77@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2780-1727>

Sergey A. Vasiliev³, DSc (Eng), Head of the Department; vsa21@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3346-7347>

Vladimir P. Filippov⁴, CSc (Phys-Math), Associate Professor; filippov_v_p@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7240-4405>

Dmitry V. Evstifeev⁵, CSc (Eng), Head of the Department; dvestifeev@mail.ru

¹ Kuban State Agrarian University; 13 Kalinina Str., Krasnodar, 350044, Russian Federation

^{2,3,4} Chuvash State University named after I.N. Ulyanov; 15 Moskovsky Ave., Cheboksary, 428015, Russian Federation

^{3,5} Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University; Oktyabrskaya Str., 22 A, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, 606340, Russian Federation

Author Contribution

E.V. Truflyak – methodology, information resources and analytics
V.V. Alekseev – information resources and analytics, data verification, formal analysis

S.A. Vasiliev – conceptualization, study supervision, finalization (reviewing and editing) of the manuscript

V.P. Filippov – software, visualization, drafting the manuscript

D.V. Evstifeev – relevance of the problem, resources

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest and are responsible for plagiarism

Received 11.10.2023; Revised 20.02.2024; Accepted 20.02.2024

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.171:636.082.22:636.2

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-20-26>**Бесконтактная оценка промеров головы молочных коров***С.С. Юрочка¹, С.О. Базаев², А.Р. Хакимов³✉, А.А. Поликанова⁴*^{1,2,3,4} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия¹ yurochkasr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>² sbazaeff@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>³ arty.hv@gmail.com ✉; <https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>⁴ al.polikanova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3476-205X>

Аннотация. Бесконтактная оценка промеров головы молочных коров с использованием трёхмерных камер позволит облегчить процесс бонитировки. Для разработки бесконтактной оценки экстерьеря крупного рогатого скота с использованием автоматических видеокамер необходимо обоснование рациональных конструктивных и режимно-технологических параметров функционирования системы. С помощью цифрового зрения определялись необходимые параметры работы системы – промеры головы (длина головы, длина лба и наибольшая ширина лба). Исследовались 15 взрослых животных зебувидного типа чёрно-пёстрой породы ростом 1300...1500 мм. Для обеспечения охвата головы коровы в любом положении применялись три трёхмерные камеры: две расположены над животным на высоте 2 м от пола (минимальное расстояние от камеры до головы составляло 500...800 мм), одна – перед животным на расстоянии не менее 2 м от головы и на высоте 1,3...1,5 м от пола. Сигнал идентификационной антенной сигнала от RFID метки животного инициировал получение трёхмерного снимка со скоростью 5...10 кадров/с. Используя промеры головы, система в автоматическом режиме определяет индексы широколобости и большеголовости. В результате исследований обоснованы рациональные параметры расположения трёхмерных камер. Эффективность съёмки системы и точное измерение промеров головы обеспечиваются при наклоне головы коровы относительно камеры под углом 45° и расположении верхней камеры на уровне 2 м от пола. При наклоне головы под углом 65° и выше съёмка осуществляется фронтальной камерой, расположенной на расстоянии не менее 2 м от головы и на высоте 1,3...1,5 м от пола. В последующих работах планируется обосновать рациональные конструктивные и режимно-технологические параметры функционирования макета.

Ключевые слова: бесконтактная оценка промеров головы, головы молочных коров, оценка экстерьеря крупного рогатого скота, линейная оценка экстерьеря, промеры головы, индексы широколобости и большеголовости, трёхмерные камеры

Финансирование: Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-76-10041, <https://rscf.ru/project/23-76-10041/>

Для цитирования: Юрочка С.С., Базаев С.О., Хакимов А.Р., Поликанова А.А. Бесконтактная оценка промеров головы молочных коров // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 2. С. 20-26. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-20-26>

ORIGINAL ARTICLE

Non-contact assessment system of dairy cow exterior*S.S. Yurochka¹, S.O. Bazaev², A.R. Khakimov³✉, A.A. Polikanova⁴*^{1,2,3,4} Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia¹ yurochkasr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>² sbazaeff@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>³ arty.hv@gmail.com ✉; <https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>⁴ al.polikanova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3476-205X>

Abstract. A system for non-contact assessment of animals using three-dimensional cameras will facilitate the grading process. To develop a system for non-contact exterior assessment of animals using automatic video cameras, it is necessary to justify the rational design and operating conditions of the system. Based on digital vision, the authors determined the necessary parameters of the system using three measurements of the head: head length,

forehead length and maximum forehead width. 15 adult animals of the zebu-type black-motley breed with a height of 1300 to 1500 mm were studied. To ensure coverage of the cow's head in any position, three cameras were used: two located above the animal at a height of 2 m from the floor (the minimum distance from the camera to the head was 500 to 800 mm) and one in front of the animal at a distance of at least 2 m from the head and at a height 1.3 to 1.5 m from the floor. The signal from the identification antenna of the signal from the RFID tag of the animal initiated the acquisition of a three-dimensional image at a speed of 5 to 10 frames/s. Based on the measurements, the system automatically determines the broad-headed and big-headed indices. As a result of the study, the authors determined rational parameters for the location of cameras. The efficiency of shooting and accurate measurement of head measurements is ensured when the cow's head is tilted relative to the camera at an angle of 45° and when the upper camera is located at a level of 2 m from the floor. When the head is tilted 65° and above, shooting is provided with the front camera located at a distance of at least 2 m from the head and at a height of 1.3 to 1.5 m from the floor. In their subsequent research, the authors plan to justify the rational design and operational-technological parameters of the model.

Keywords: Non-contact assessment of dairy cow exterior, heads of dairy cows, assessment of cattle exterior, linear assessment of exterior, head measurements, broad-fronted and large-headed indices, three-dimensional cameras

Funding: The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-76-10041, <https://rscf.ru/project/23-76-10041/>

For citation: Yurochka S.S., Bazaev S.O., Khakimov A.R., Polikanova A.A. Non-contact assessment system of dairy cow exterior. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(2):20-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-20-26>

Введение

Для развития мясного и молочного животноводства необходимо повышение его производительности [1]. Оценка экстерьера крупного рогатого скота является приоритетным направлением развития, поскольку связана с продуктивными и репродуктивными качествами организма [2]. Цифровизация бонитировочных работ стала важным этапом развития молочных ферм [3]. Здоровые животные способствуют наращиванию производства животноводческой продукции [4].

Ежегодно во всем мире более 500 млн гол. крупного рогатого скота оцениваются на предмет их племенной ценности, экстерьерных особенностей, здоровья и перспектив их дальнейшего использования. При этом большое количество измерений и сама оценка экстерьера являются трудоёмким и субъективным процессом.

Традиционные методы оценки животных основаны на визуальном осмотре, ручной оценке и снятии промеров при непосредственном контакте профессионала (зоотехника-бонитера) с животным. Глазомерная и визуальная оценка экстерьера животных производится с использованием мерной ленты и мерной палки. Точность таких методов является субъективной и нуждается в многочисленной повторности [5].

В области роботизации животноводства в качестве инструмента нахождения и определения объектов получили распространение нейронные сети [6]. Обнаружение объекта заключается как в оценке точного положения объекта (локализация объекта), так

и в определении категории, которой он принадлежит (классификация объекта) [7].

Использование подходов глубокого обучения интенсивно развивается, позволяя добиться большой точности и скорости обнаружения объектов в реальном времени [8]. Использование современных технологий, например, времяпролётной камеры (Time of Flight), триангуляции, стереозрения и цифрового видео позволяет определять координаты нахождения сосков при доении животных в доильном роботе, балл упитанности животных, отслеживать перемещение животных внутри боксов, отслеживать жвачку животных, оценивать время нахождения животных около кормового стола, хромоту животных во время движения. Полученные данные обрабатываются с использованием инструментов искусственного интеллекта.

Определение линейных параметров экстерьера животных бесконтактным способом возможно с помощью нейронных сетей. Однако анализ отечественных публикаций выявил отсутствие исследований по оценке экстерьера животных бесконтактным способом (в частности, промера головы) и отсутствие промышленной системы, позволяющей оценивать линейные параметры экстерьера крупного рогатого скота. Поэтому разработка системы бесконтактной оценки экстерьера животных с использованием трёхмерных камер и обоснование её рациональных конструктивных и режимно-технологических параметров функционирования являются актуальными и имеют научное и практическое значение.

Цель исследований: обосновать рациональные конструктивные и режимно-технологические параметры функционирования бесконтактной оценки экстерьера крупного рогатого скота.

Материалы и методы

Для исследований были выбраны взрослые животные зебувидного типа чёрно-пестрой породы. Рост исследуемых животных находился в диапазоне от 1300 до 1500 мм. Для вертикально направленной трёхмерной камеры минимальное рабочее расстояние от камеры до исследуемого объекта составляло 500...800 мм, а для горизонтально направленной камеры – от 2000 мм. Инициацией получения трёхмерного снимка являлся сигнал идентификационной антенной сигнала от RFID метки животного.

Схема рабочей секции системы, включающей в себя камеры модуля технического зрения (со схематичным указанием радиуса их обзора), ворота и единый блок управления системой, представлена на рисунке 1.

Единый блок управления системой включает в себя подключение и питание модулей, а также компьютер для управления модулями камер. Скорость записи видеоизображений – 5...10 кадров/с. При режиме работы камер с менее чем 5 кадрами/с изображения

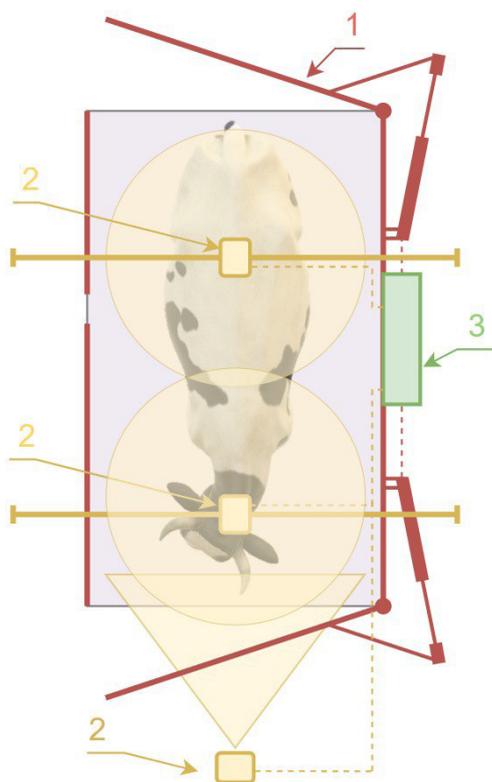


Рис. 1. Схема модулей рабочей секции раскола:

1 – ворота; 2 – модуль технического зрения;
3 – единый блок управления

Fig. 1. Schematic diagram of the splitting working section modules:

1 – gate; 2 – vision module; 3 – single control unit

являются нечёткими, и система не может определить искомые точки на голове животного. Для управления элементами разработанной системы использовался панельный компьютер с установленной системой Windows 10 (64 бит), объёмом оперативной памяти 4 Гб, с установленным жёстким диском на 250 Гб, частота процессора составляла 1,99 ГГц.

Рабочая секция имеет прямоугольную форму и выполнена в виде проходного станка. Каркас и узлы станка сконструированы на основе стальных труб. Ворота, боковые стенки, пандусы и верхние крепёжные элементы собраны методом сварки. Между собой элементы закрепляются на болтовые соединения. Максимальный вес исследуемого животного составлял 1200 кг.

Общее описание работы системы линейной оценки экстерьера крупного рогатого скота. Животное заходит в секцию раскола для автоматической оценки параметров. Когда система «понимает», что животное находится в зоне сканирования, она создает трёхмерные изображения и передаёт их в блок обработки информации. Там система определяет область интереса (голову) и, анализируя трёхмерные карты «головы», уточняет область интереса по искомым точкам. После измерения полученные данные выводятся на экран. Блок-схема алгоритма работы системы представлена на рисунке 2.

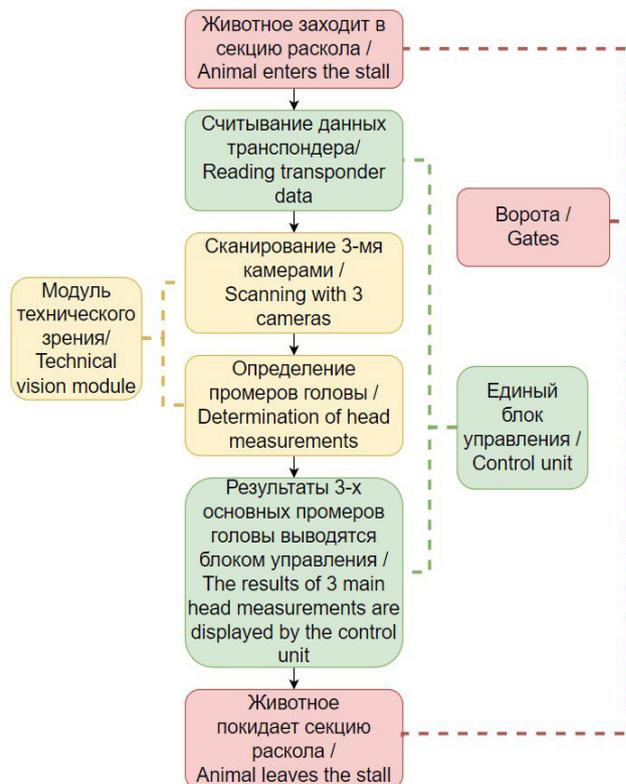


Рис. 2. Блок-схема снятия линейных параметров головы

Fig. 2. Block diagram of taking linear parameters of the head

Для старта нужно, чтобы корова зашла в рабочую секцию, после чего считывается RFID-метка, которая сигнализирует трём камерам о сканировании интересующей области с последующим определением промеров. После расчёта трёх основных промеров головы данные подаются на единый блок управления. Затем ворота открываются, и корова попадает в проходную секцию системы.

В нашей работе из блок-схемы мы рассматриваем только эпизод с модулем технического зрения и фокусируемся исключительно на областях, которые сканируют три камеры (рис. 1), изучаем возможность сканирования трёх промеров головы с помощью цифрового зрения.

Результаты и их обсуждение

Бесконтактная линейная оценка экстерьера крупного рогатого скота производится путем прохода животного из накопительного стойла коров через секции раскола (рис. 1). Животные поступают в секции раскола по одному или по двое. Размещение второго животного в первой (проходной) секции раскола позволит снизить стресс у животного, находящегося во второй (рабочей) секции и подлежащего сканированию. В рабочей секции животное останавливается, производится сканирование искомым частей тела, после чего животное выходит через третью (проходную) секцию системы бесконтактной оценки экстерьера крупного рогатого скота. Проходные секции раскола будут более подробно описаны в будущих работах.

В исследованиях А.Н. Ручай и др. представлены результаты по совершенствованию технологии измерения линейных промеров статей тела племенного мясного скота на основе герефордской породы [9], когда были рассмотрены 17 промеров экстерьера с помощью 3D-камер, но линейные промеры

головы не изучались. Также С.Д. Батанов и др. рассматривали бесконтактный метод оценки телосложения крупного рогатого скота с использованием мобильных измерительных систем и изучали шесть промеров экстерьера, в которые не входили промеры головы [10].

Голова крупного рогатого скота является отражением породности и особенности конституции животных. Голову крупного рогатого скота оценивают по размеру и общему строению с учётом того, насколько она соответствует возрасту, породе и полу животного.

Разрабатываемая система по данным, полученным с верхних и боковых камер, позволит автоматическим и бесконтактным методом получить три основных промера головы крупного рогатого скота: длину головы, длину лба и наибольшую ширину лба (рис. 3).

Из данных рисунка 3 следует, что расстояние между точками 1 и 5 соответствует длине головы (измеряется от затылочного гребня до носового зеркала); расстояние между точками 2 и 5 – длина лба (измеряется от середины затылочного гребня до линии, соединяющей внутренние углы глаз; расстояние между точками 3 и 4 – наибольшая ширина лба (измеряется в наиболее удаленных точках глазных орбит). На основе данных промеров вычисляется индекс широколобости:

$$i_h = \frac{Hl}{Dl} \cdot 100, \quad (1)$$

где Hl – наибольшая ширина лба; Dl – длина лба.

Так же вычисляется индекс большеголовости:

$$i_b = \frac{Dl}{Vk} \cdot 100, \quad (2)$$

где Vk – высота в крестце.

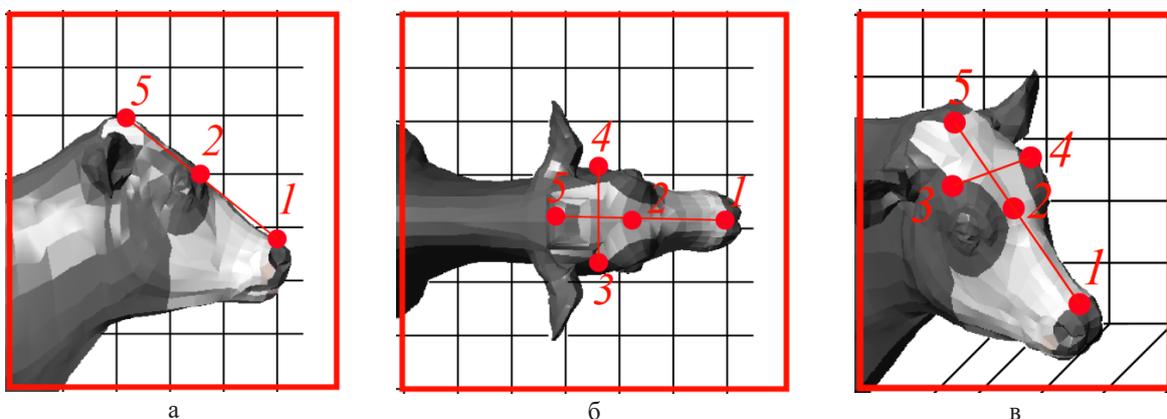


Рис. 3. Оцениваемые промеры (длина головы и лба, наибольшая ширина лба):

а – вид сбоку; б – вид сверху; в – изометрия

Fig. 3. Measurements (head length, forehead length, maximum forehead width):

а – side view; б – top view; в – isometric view

По данным профессора Е.Ф. Лискуна, голова, которая составляет не более 26% от длины тела, считается короткой, а свыше 34% – длинной. О величине головы можно судить по индексу большеголовости. Данный индекс в среднем у коров молочного направления продуктивности составляет 40%, у мясомолочного – 36,8%, у мясного – 34,5%. Нормальная ширина лба в зависимости от породы составляет 29...34% её длины. Индекс широколобости составляет около 45%.

По вышеизложенным данным можно определить непропорциональность головы к туловищу для молочных и молочно-мясных пород: например, «бычья» голова для коровы и «коровья» – для быка. А для мясных пород можно определить следующие недостатки: голова тяжёлая, грубая, не типичная для породы.

Таким образом, для создания нейронной сети разрабатываемой системы бесконтактной оценки экстерьера нужны промеры головы, но они не указываются в научных трудах по изучению экстерьерных особенностей крупного рогатого скота.

Рациональное месторасположение трёхмерной камеры в системе бесконтактной оценки экстерьера крупного рогатого скота относительно сканируемых точек определяется с учётом минимального и максимального фокусного расстояния камеры, угла обзора камеры, угла наклона сканируемой части тела коровы (рис. 1).

При определении рационального месторасположения трёхмерной камеры в системе предварительно экспериментальным путем предопределялся угол наклона головы, при котором возможно сканирование интересующей области головы. Поскольку при ходьбе животное не держит голову статично и ее наклон изменяется, определение промеров усложняется. Для этого цифровой камерой, установленной над коровой на высоте 2,1 м, производилась съёмка 15 коров зебувидного типа чёрно-пёстрой породы при наклоне головы коровы под углом 45, 60 и 80° (рис. 4). При наклоне головы 45° все искомые точки для измерения промеров входят в кадр и позволяют более точно измерить промеры головы, тогда как угол наклона 60° показал, что искомые точки входят в кадр, но достоверность снятых промеров головы при таком наклоне будет меньше, чем при наклоне под углом 45°. При наклоне головы коровы под углом 80° все точки находятся в одной плоскости, и система не может корректно определить искомые точки.

При невозможности сканирования искомых точек верхней камерой в случае наклона головы коровы под углом более 60° камера, расположенная перед коровой, начинает автоматическое сканирование интересующей области. Камера не должна мешать прохождению коровы по системе, её расположение должно быть на расстоянии не менее 2 м от точки интереса и на высоте 1,3...1,5 м от пола.

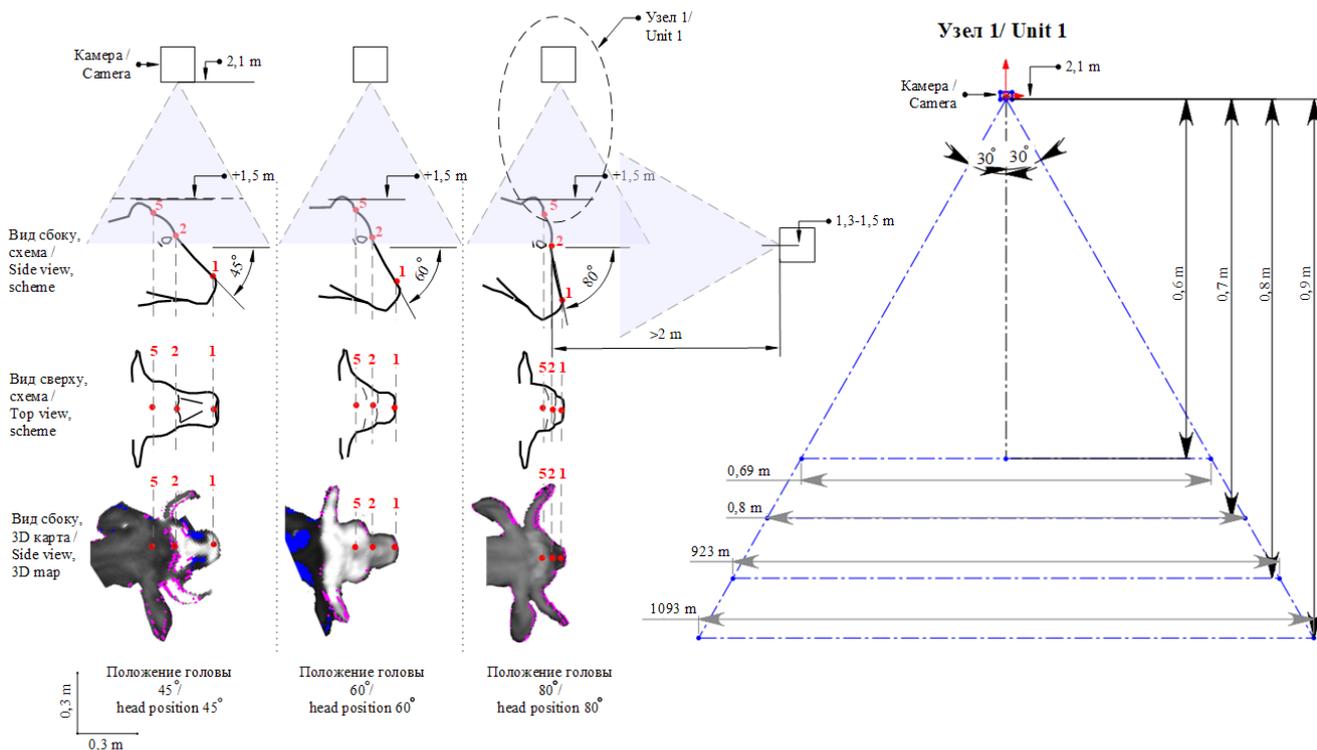


Рис. 4. Схема положения головы коровы при наклоне под углом 45°, 60° и 80° относительно камеры
 Fig. 4. Diagram of the of the position of the cow's head when tilted at 45°, 60° and 80° relative to the camera

Ожидаемый эффект от внедрения системы бесконтактной оценки экстерьерера заключается в следующем:

1. Повышение точности оценки. Использование автоматической оценки систем позволит исключить человеческий фактор и ошибки, связанные с субъективной оценкой.

2. Экономия времени. Прогнозное время оценки одного животного составляет в среднем 1 мин. Система может обрабатывать большое количество данных в режиме реального времени, что позволяет быстро получить информацию об экстерьере животных.

3. Снижение затрат на персонал. Обслуживание автоматической системы проводится двумя сотрудниками, количество которых значительно меньше, чем при бонитировке с использованием мерной палки, мерной ленты и т.д.

4. Совершенствование процесса бонитировки. Система позволяет отслеживать динамику изменений экстерьера животных, строить экстерьерные профили. В последующем автоматическая система оценки экстерьера будет являться частью процесса бонитировки. На основании ряда признаков данные об экстерьерах животных будут использоваться при селекционном отборе животных под конкретные задачи фермы.

К недостаткам автоматической системы линейной оценки экстерьера бесконтактным методом можно отнести следующее:

1. Высокая стоимость. Внедрение системы потребует значительных инвестиций для создания инфраструктуры. Значительную роль при расчёте экономической эффективности от внедрения системы будет играть стоимость вложений при строительстве.

2. Зависимость от технологий. Если система выйдет из строя или потеряет соединение с интернетом,

это может привести к потере данных и снижению эффективности работы.

3. Необходимость постоянного обновления ПО. Система автоматической оценки экстерьера должна постоянно обновляться для повышения точности работы, что обуславливает необходимость подключения фермы к сети Интернет.

4. Возможность ошибок в данных. Исключение человеческого фактора при оценке экстерьера не гарантирует качественную работу системы в силу влияния других факторов.

Выводы

1. Разрабатываемая система позволит автоматически в бесконтактном режиме получать промеры головы: длину головы, длину лба и наибольшую ширину лба.

2. Используя полученные промеры головы, система в автоматическом режиме рассчитывает индексы широколобости и большеголовости, которые позволяют выявлять несоответствие коров разным направлениям продуктивности.

3. Эффективность съёмки системы и точное измерение промеров головы обеспечиваются при наклоне головы коровы относительно камеры под углом 45° и расположении верхней камеры на уровне 2 м от пола. При наклоне головы под углом 65° и выше съёмка осуществляется фронтальной камерой, расположенной на расстоянии не менее 2 м от точки интереса и на высоте 1,3...1,5 м от пола.

В последующих работах будет производиться обоснование рациональных конструктивных и режимно-технологических параметров функционирования макета.

Список источников

1. Alem H. The role of technical efficiency achieving sustainable development: A dynamic analysis of Norwegian dairy farms. *Sustainability*. 2021;13(4):1841. <https://doi.org/10.3390/su13041841>

2. Батанов С.Д., Баранова И.А., Старостина О.С. Модель прогнозирования молочной продуктивности коров по их экстерьерным особенностям // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (49). С. 55-62. EDN: ZAERKH

3. Кравченко В.Н., Зимогорский В.К. Перспективы цифровизации молочного животноводства // Техника и технологии в животноводстве. 2020. № 4 (40). С. 4-13. EDN: CDUXGM

4. Кошаев А.Г., Усенко В.В., Лихоман А.В. Здоровье животных – основной фактор эффективного животноводства // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 99. С. 201-210. EDN: SGTNXP

5. Shi Ch., Zhang J., Teng G. Mobile measuring system based on LabVIEW for pig body components estimation in a large-scale farm. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019;156:399-405. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.042>

References

1. Alem H. The role of technical efficiency achieving sustainable development: A dynamic analysis of Norwegian dairy farms. *Sustainability*. 2021;13(4):1841. <https://doi.org/10.3390/su13041841>

2. Batanov S.D., Baranova I.A., Starostina O.S. Model for predicting milk productivity of cows based on their exterior characteristics. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2019;1(49):55-62. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2019-49-1-55-62> (In Russ.)

3. Kravchenko V.N., Zimogorskiy V.K. Prospects for dairy farming digitalization. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2020;4:4-13. (In Russ.)

4. Koshchaev A.G., Usenko V.V., Lihoman A.V. animal health – critical factors of the livestock. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2014;99:201-210. (In Russ.)

5. Shi Ch., Zhang J., Teng G. Mobile measuring system based on LabVIEW for pig body components estimation in a large-scale farm. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019;156:399-405. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.042>

6. Sirota A.A., Mitrofanova Ye. Yu., Milovanova A.I. Analysis of algorithms for searching objects in images using various

6. Сирота А.А., Митрофанова Е.Ю., Милованова А.И. Анализ алгоритмов поиска объектов на изображениях с использованием различных модификаций сверточных нейронных сетей // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «Системный анализ и информационные технологии». 2019. № 3. С. 123-137. EDN: BXVPPQ

7. Zhengxia Z., Zhenwei S., Yuhong G., Jieping Y. Object Detection in 20 Years: A Survey. *Computer Vision and Pattern Recognition*. 2019:1905.05055v2. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.05055>

8. Власенкова Т.А., Козырева Ю.Ю. Цифровизация как основа эффективного ведения сельского хозяйства // Менеджмент в АПК. 2021. № 2. С. 11-16. EDN: NTTEVS

9. Ручай А.Н., Дорофеев К.А., Колпаков В.И., Джуламанов К.М., Кобер В.И. Разработка бесконтактной системы измерения морфологических признаков мясного скота // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103, № 2. С. 157-164. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-2-157>

10. Batanov S., Starostina O., Baranova I. Non-contact methods of cattle conformation assessment using mobile measuring systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;315(3):032006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/3/032006>

Информация об авторах

Сергей Сергеевич Юрочка¹, канд. техн. наук, старший научный сотрудник; yurochkasr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Савр Олегович Базаев², канд. с.-х. наук, научный сотрудник; sbzaeff@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Артем Рустамович Хакимов³, младший научный сотрудник; arty.hv@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Александра Александровна Поликанова⁴, магистрант, специалист; al.polikanova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3476-205X>

^{1,2,3,4} Федеральное научное агроинженерное учреждение ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Вклад авторов

С.С. Юрочка – научное руководство, формулирование основных направлений исследования;

С.О. Базаев – сбор данных для исследования, формирование текста и общих выводов;

А.Р. Хакимов – литературный анализ, обработка результатов исследования, формирование текста и общих выводов;

А.А. Поликанова – обработка результатов исследования, доработка текста и общих выводов;

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 25.10.2023, после рецензирования и доработки 12.12.2023; принята к публикации 13.12.2023

modifications of convolutional neural networks. *Vestnik of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies*. 2019;3:123-137. (In Russ.)

7. Zhengxia Z., Zhenwei S., Yuhong G., Jieping Y. Object Detection in 20 Years: A Survey. *Computer Vision and Pattern Recognition*. 2019:1905.05055v2. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.05055>

8. Vlasenkova T.A., Kozyreva Yu.Yu. Digitalization as a basis for efficient agriculture. *Management in Agriculture*. 2021;2:11-16. (In Russ.)

9. Ruchay A.N., Dorofeyev K.A., Kolpakov V.I., Dzhulamanov K.M., Kober V.I. Development of a non-contact system for measuring morphological traits of beef cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(2):157-164. (In Russ.) <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-2-157>

10. Batanov S., Starostina O., Baranova I. Non-contact methods of cattle conformation assessment using mobile measuring systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;315(3):032006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/3/032006>

Author Information

Sergey S. Yurochka¹, CSc (Eng), Senior Research Engineer; yurochkasr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Savr O. Bazaev², CSc (Eng), Researcher; sbzaeff@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Artem R. Khakimov³, postgraduate student, Junior Research Engineer; arty.hv@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Aleksandra A. Polikanova⁴, MSc student, specialist; al.polikanova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3476-205X>

^{1,2,3,4} Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institutskiy Proezd Str., 5, Moscow, 109428, Russian Federation

Author Contributions

S.S. Yurochka – research supervision, formulation of the main research goals;

S.O. Bazaev – data curation, original draft preparation;

A.R. Khakimov – literature review, processing of research results, original draft preparation;

A.A. Polikanova – processing of the study results, finalizing (reviewing and editing) of the manuscript.

All authors have read and approved the final manuscript

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 25.10.2023; Revised 12.12.2023; Accepted 13.12.2023.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.929: 636.085.55:639.3.043

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-27-32>

Исследование процесса гранулирования корма для рыб в корзинном грануляторе

С.В. Брагинец¹, О.Н. Бахчевников^{2✉}, К.А. Деев³^{1,2,3} Аграрный научный центр «Донской»; г. Зерноград, Россия¹ sbraginet@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>² oleg-b@list.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>³ prosto.deev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4160-0382>

Аннотация. Приготовление гранулированных кормов для аквакультуры из влажного сырья целесообразно выполнять в корзинном грануляторе. Процесс работы корзинного гранулятора плохо изучен, а рациональные параметры его работы не получили научного обоснования. Разработан корзинный гранулятор, обеспечивающий гранулирование влажного сырья и позволяющий получать корм для рыб и их мальков в виде гранул диаметром 0,5...2 мм и влажностью 25...40%. Выполнили экспериментальные исследования для установления рациональных параметров гранулирования, обеспечивающих высокую производительность. Исследования процесса гранулирования влажного сырья проводили при частоте вращения трех экструзионных лопастей гранулятора: 37,8; 45,8; 50,3 об/мин и производительности, соответственно, 231, 274 и 291 кг/ч. Экспериментально установлено, что процесс формирования гранул в корзинном грануляторе является циклическим и состоит из периодов формирования гранулы, обратного движения материала и релаксации. Увеличение частоты вращения рабочих органов гранулятора приводит к снижению продолжительности цикла воздействия рабочего органа на материал за счет уменьшения периода релаксации, в то время как продолжительность периодов формирования гранулы и обратного движения материала остается постоянной. При увеличении частоты вращения длительность периода релаксации и всего цикла воздействия рабочего органа снижается почти линейно, но при повышении частоты более 47 об/мин их продолжительность снижается незначительно. Производительность корзинного гранулятора может быть повышена за счет увеличения как количества рабочих органов, так и частоты их вращения, но эти способы имеют ограничения в связи с увеличением энергоемкости процесса и особенностью конструкции гранулятора. В дальнейших исследованиях для обоснования рациональной продолжительности периодов рабочего цикла корзинного гранулятора необходимо изучить влияние реологических свойств сырья и его влажности на процесс гранулирования.

Ключевые слова: аквакультура, корм для рыб, процесс гранулирования корма, корзинный гранулятор, гранулирование влажного сырья, гранулы, рабочий цикл, параметры процесса гранулирования

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (тема № 0505-2022-0007).

Благодарности. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Брагинец С.В., Бахчевников О.Н., Деев К.А. Исследование процесса гранулирования корма для рыб в корзинном грануляторе // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 2. С. 27-32. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-27-32>

ORIGINAL PAPER

Study of fish feed pelleting process in a basket granulator

S.V. Braginet¹, O.N. Bakhchevnikov^{2✉}, K.A. Deev³^{1,2,3} Agricultural Research Center "Donskoy"; Zernograd, Russia¹ sbraginet@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>² oleg-b@list.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>³ prosto.deev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4160-0382>

Abstract. The production of pelleted aquaculture feeds from wet raw materials should reasonably be carried out in a basket granulator. The operation process of the basket granulator is not well studied. Rational parameters

of its operation have no scientific grounds. A basket granulator is designed for pelleting of wet raw materials and producing feed for fish and their fry in the form of pellets with a diameter of 0.5 of 2 mm and a moisture content of 25 to 40%. Experimental studies were carried out to determine rational parameters of pelleting that provide high productivity. The pelleting process of wet raw material was studied at the rotation frequency of three extrusion blades of the granulator 37.8, 45.8, and 50.3 rpm and efficiency, respectively, 231, 274, and 291 kg·h⁻¹. It has been established that the process of pellet formation in the basket granulator is cyclic and consists of pellet formation, reverse movement of material, and relaxation. Increasing the speed of the granulator's working parts will lead to a decrease in the cycle duration of the impact of the parts on the material due to a decrease in the relaxation period, while the duration of the periods of pellet formation and reverse movement of the material remain constant. The duration of the relaxation period and the whole cycle of impact of the parts decrease almost linearly when increasing the rotational speed, but their duration decreases insignificantly when the frequency exceeds 47 rpm. The efficiency of the basket granulator can be increased both by increasing the number of working parts and increasing their rotary speed, but these methods have limitations associated with increasing the energy intensity of the process and the granulator design. The influence of rheological properties of raw materials and their moisture content on the pelleting process should be studied in the course of further research to justify the rational duration of periods in the working cycle of the basket granulator.

Keywords: aquaculture, fish feed, feed pelleting process, basket granulator, wet pelleting, pellets, working cycle, pelleting process parameters

Funding. The study was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State Assignment of the Agricultural Research Center "Donskoy" (Assignment No. 0505-2022-0007).

Acknowledgements. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Braginets S.V., Bakhchevnikov O.N., Deev K.A. Study of fish feed pelleting process in a basket granulator. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(2):27-32. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-27-32>

Введение

В России предприятия аквакультуры формируют спрос на гранулированные корма для прудовых рыб семейства карповых и их мальков. Перспективной технологией в данном случае является влажное гранулирование, обеспечивающее лучшее связывание частиц сырья и получение более прочных и водостойких гранул, чем при сухом гранулировании [1].

Для осуществления гранулирования кормового сырья для аквакультуры влажностью 25...40% и получения гранул малого диаметра (0,5...2 мм) было предложено новое техническое решение – корзинный гранулятор (basket granulator) [2, 3]. Его особенностью является соосное размещение в перфорированной корзине рассекателей, перемешивающих и измельчающих сырье, и расположенных под ними экструзионных лопастей, уплотняющих материал и продавливающих его через фильтры корзины [4].

Корзинные грануляторы, распространённые за рубежом, не применяются в нашей стране. В Аграрном научном центре «Донской» разработан отечественный корзинный гранулятор [4]. В отличие от традиционных грануляторов с плоской и кольцевой матрицей процесс работы корзинного гранулятора плохо изучен, и его рациональные параметры работы еще не получили научного обоснования [5]. Это обусловило необходимость проведения экспериментальных

исследований процесса гранулирования влажного сырья в корзинном грануляторе.

Цель исследований: экспериментальное определение параметров процесса гранулирования влажного корма для рыб в корзинном грануляторе для последующего установления рациональных параметров производства, обеспечивающих высокую производительность работы гранулятора.

Материалы и методы

Исследования проводили на корзинном грануляторе конструкции «Аграрный научный центр "Донской"» [4, 6], внешний вид которого представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Корзинный гранулятор конструкции «Аграрный научный центр "Донской"» и его рабочие органы

Fig. 1. Basket granulator of Agricultural Research Center "Donskoy" design and its working parts

Внутри перфорированной корзины гранулятора по принципу «Вал в валу» соосно размещены его рабочие органы: 3 экструзионные лопасти и 3 рассекателя, вращающиеся в противоположных направлениях.

Форма используемых экструзионных лопастей соответствует зарубежным аналогам гранулятора, проверенным в ходе эксплуатации.

Конструктивные параметры корзины гранулятора: диаметр корзины – 400 мм; диаметр фильеры – 2 мм; длина канала фильеры – 2 мм; площадь активной зоны корзины (матрицы) гранулятора – 38%.

Гранулированию подвергали подготовленный в смесителе рассыпной корм для карпа по рецепту К 111-1 (зерно пшеницы – 24%, горох – 10%, шрот соевый – 50%, отруби – 6%, БВМК – 10%). Предварительно корм увлажняли горячей водой (70°C) до достижения им влажности 40%.

Исследовали процесс продавливания корма экструзионными лопастями гранулятора через отверстия корзины с формированием гранул диаметром 2 мм [6]. В процессе эксперимента регулирование гранул по длине не производили, предоставив им возможность отделяться под действием собственной массы.

Различные режимы работы гранулятора исследовали при варьировании частоты вращения экструзионных лопастей, что приводило к изменению продолжительности действия лопасти на формируемую гранулу и скорости движения гранулируемого материала через фильеру корзины [7, 8]. Частоту

вращения экструзионных лопастей гранулятора изменяли посредством частотного преобразователя, который задавал частоту вращения электродвигателя 40, 50 и 60 Гц, что соответствовало частоте вращения рабочих органов 37,8; 45,8; 50,3 об/мин. При этом была достигнута соответствующая производительность 231, 274 и 291 кг/ч.

В процессе работы корзины гранулятора при выходе гранул из фильеры осуществляли видеосъёмку с высокой частотой кадров. После раскадровки видеозаписи определяли моменты начала и завершения процесса продавливания материала через фильеру. Точность измерения промежутков времени соответствовала $\pm 0,002$ с. Скорость образования гранулы определяли измерением расстояния, на которое формирующаяся гранула корма выдвигается из отверстия в течение определенного времени [8].

Результаты и их обсуждение

После проведения экспериментальных исследований получили графики изменения скорости движения гранулируемого материала через фильеру в процессе работы корзины гранулятора при различной частоте вращения его рабочих органов. В качестве примера на рисунке 2 приведён данный график для частоты вращения 37,8 об/мин.

Процесс формирования гранул в корзине гранулятора является циклическим (рис. 2), что обусловлено периодическим действием на гранулируемый корм

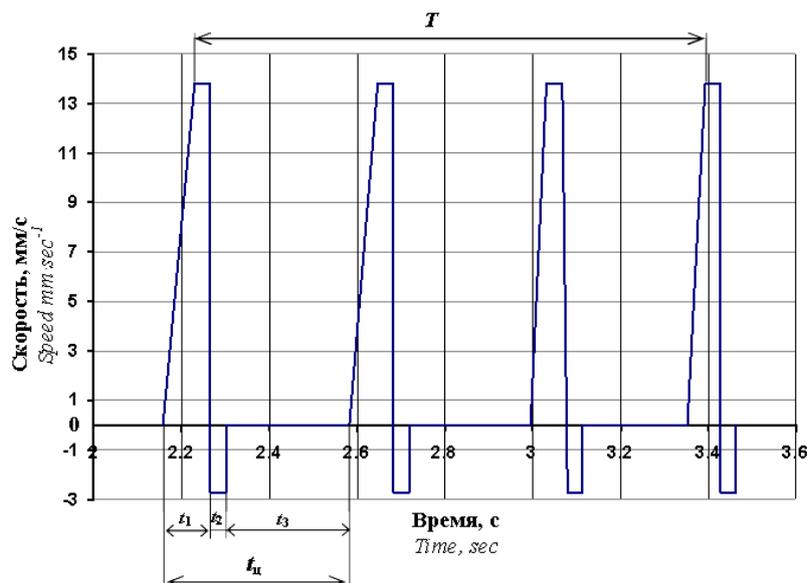


Рис. 2. Изменение скорости движения гранулируемого материала через фильеру в процессе работы корзины гранулятора:

T – период вращения рабочего органа; t_{ii} – цикл воздействия рабочего органа на материал;

t_1 – формирование гранулы; t_2 – обратное движение материала; t_3 – релаксация

Fig. 2. Change of speed of granulated material flow through the die during the operation of the basket granulator:

T – period of rotation of the working part, t_{ii} – cycle of impact of the working part on the material, t_1 – pellet formation,

t_2 – reverse movement of the material, t_3 – relaxation

экструзионных лопастей. В течение периода T лопасти трижды воздействуют на гранулируемый материал:

$$T = 3t_{ц} \tag{1}$$

Цикл воздействия рабочего органа на материал $t_{ц}$ включает в себя 3 составляющих:

$$t_{ц} = t_1 + t_2 + t_3 \tag{2}$$

В промежуток времени t_1 происходит продавливание материала через фильеру корзины наружу, приводящее к образованию цилиндрического «жгута», формирующего гранулу (рис. 3). В течение этого промежутка скорость перемещения корма из отверстия наружу линейно возрастает по мере увеличения воздействия на него экструзионной лопасти. Небольшой участок постоянной скорости (вверху графика рисунка 2) характеризует момент наибольшего давления лопасти на материал.

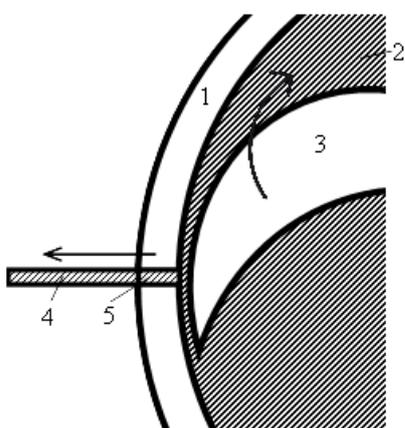


Рис. 3. Схема процесса формирования гранулы в корзинном грануляторе:

- 1 – стенка корзины; 2 – гранулируемый материал;
- 3 – экструзионная лопасть;
- 4 – формирующаяся гранула; 5 – фильера

Fig. 3. Process chart of pellet formation in the basket granulator:

- 1 – basket wall; 2 – pelleted material;
- 3 – extrusion blade; 4 – forming pellet; 5 – die

После прохождения экструзионной лопасти мимо отверстия фильеры в краткий промежуток времени t_2 скорость перемещения материала мгновенно падает, но не до нуля, а до небольшого отрицательного значения, что означает инерционное движение материала в обратном направлении (в корзину), объясняемое его реологическими характеристиками. Такое движение отрицательно сказывается на производительности гранулятора. Затем наблюдается период релаксации t_3 , в течение которого скорость перемещения материала равна нулю. В это время формируемая гранула подсыхает, ее влажность снижается, что положительно влияет на улучшение ее качества.

Анализ полученных данных показывает, что процесс формирования гранул в корзинном грануляторе в общем аналогичен процессу в грануляторе с вертикальной кольцевой матрицей. Период времени t_1 соответствует образованию зон деформации сырья и формированию гранул, когда, согласно принятой сейчас теории, напряжение сжатия в области деформации линейно возрастает от нуля до давления гранулирования, а напряжение в области формирования равно ему [9-11]. Период релаксации t_3 соответствует периоду подачи, когда рабочий орган направляет сырье в зону формирования гранул.

На графике рисунка 2 видим, что значительную часть времени цикла воздействия рабочего органа на материал (примерно 80%) занимает период релаксации, когда не происходит движения материала формируемой гранулы. Этот достаточно негативный момент может быть устранен увеличением количества экструдированных лопастей в грануляторе.

Эксперименты показали, что при разных значениях частоты вращения рабочих органов гранулятора форма графиков изменения скорости движения гранулируемого материала аналогична, но различны значения продолжительности цикла воздействия рабочего органа на материал и его периодов (табл.).

Таблица

Зависимость продолжительности периодов цикла гранулирования от частоты вращения рабочих органов корзинного гранулятора

Table

Relationship between the duration of granulation cycle periods and the rotary speed of the basket granulator parts

Частота вращения, об/мин <i>Rotary speed, rpm</i>	Период вращения рабочего органа T , с <i>Rotation period of the working part T, sec</i>	Цикл воздействия рабочего органа на материал $t_{ц}$, с <i>Cycle of impact of the working part on the material $t_{ц}$, sec</i>	Период формирования гранулы t_1 , с <i>Period of pellet formation t_1, sec</i>	Период обратного движения материала t_2 , с <i>Period of reverse movement of material t_2, sec</i>	Период релаксации t_3 , с <i>Relaxation period t_3, sec</i>
37,8	1,587	0,529	0,070	0,035	0,424
45,8	1,310	0,426	0,071	0,036	0,319
50,3	1,194	0,412	0,072	0,035	0,305

Погрешность, из-за которой равенство $T = 3t_{\text{ц}}$ выполняется недостаточно точно, вызвана отклонением в равномерном размещении экструдированных лопастей в корзине, допущенным при изготовлении корзины гранулятора.

Анализ данных таблицы показывает, что процесс циклического изменения скорости движения гранулируемого материала, графически показанный на рисунке 2, демонстрирует те же закономерности и при других значениях частоты вращения рабочих органов корзины гранулятора. Установлено, что увеличение частоты вращения рабочих органов приводит к уменьшению продолжительности цикла воздействия рабочего органа на материал $t_{\text{ц}}$ (рис. 4).

Отметим, что длительность рабочего цикла $t_{\text{ц}}$ сокращается за счёт уменьшения периода релаксации, в то время как продолжительность периодов формирования гранулы t_1 и обратного движения материала t_2 остается практически постоянной. Это позволяет сделать вывод о том, что производительность корзины гранулятора может быть повышена за счёт увеличения как количества рабочих органов, так и частоты их вращения. Но и тот, и другой способы увеличения производительности гранулятора имеют ограничения. Как следует из рисунка 4, при увеличении частоты вращения лопастей период релаксации и весь цикл воздействия рабочего органа снижаются почти линейно, но при повышении частоты более 47 об/мин их продолжительность снижается уже незначительно. Увеличение же числа рабочих органов требует установки более мощного электродвигателя, что приведет к значительному увеличению энергоёмкости процесса

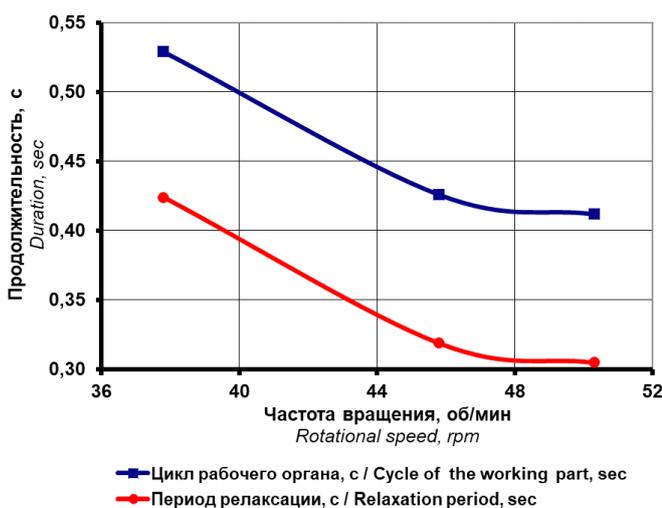


Рис. 4. Зависимость продолжительности периодов гранулирования от частоты вращения рабочего органа корзины гранулятора

Fig. 4. Relationship between the duration of granulation periods and the rotary speed of the basket granulator's parts

гранулирования, как и при повышении частоты вращения. Кроме того, сама конструкция корзины гранулятора, предусматривающая соосную установку в корзине двух видов рабочих органов по принципу «Вал в валу», препятствует увеличению их количества.

Не следует уменьшать продолжительность цикла воздействия рабочих органов на формирующуюся гранулу ниже некоторого предела, так как она изготавливается из влажного сырья, и необходимо снижение за время периода релаксации t_3 влажности ещё не отделившейся гранулы в достаточной мере, чтобы не допустить ее деформации и слипания ее концов либо соседних гранул.

На процесс формирования гранулы, помимо рабочих органов гранулятора, оказывают влияние реологические свойства сырья, определяющие характеристики процесса продавливания материала через фильеру, а также интенсивность испарения влаги из формирующейся гранулы, определяемая свойствами кормового сырья, что требует дополнительного их изучения для обоснования рациональной продолжительности периодов рабочего цикла корзины гранулятора. Отметим, что налипание материала на внутреннюю поверхность корзины существенно не влияет на процесс гранулирования.

Основываясь на полученных экспериментальных данных, в дальнейших исследованиях необходимо установить рациональные параметры процесса гранулирования, обеспечивающие, с одной стороны, высокую производительность, а с другой стороны – хорошее качество получаемых гранул.

Выводы

1. Периодическое воздействие экструзионных лопастей корзины гранулятора на гранулируемый корм обуславливает цикличность процесса формирования гранул, состоящего из периодов формирования гранулы, обратного движения материала и релаксации.
2. Увеличение частоты вращения экструзионных лопастей гранулятора до 47 об/мин приводит к линейному снижению продолжительности цикла воздействия рабочего органа на материал за счёт уменьшения периода релаксации. При повышении частоты вращения более 47 об/мин их продолжительность снижается незначительно.
3. Повышение производительности корзины гранулятора за счёт увеличения количества рабочих органов и повышения частоты их вращения ограничено конструкцией гранулятора и энергоёмкостью процесса.
4. Для обоснования рациональной продолжительности периодов рабочего цикла корзины гранулятора необходимо изучить влияние реологических свойств сырья и его влажности на процесс гранулирования корма.

Список источников / References

1. Ageets V.Y., Koshak Z. Modern status and compound feedstuff development prospects for fresh water fishes. *Belarus Fish Industry Problems*. 2016;32:75-85. (In Russ.) EDN: XRFTIH
2. Zukowski S.R., Kodam M., Khurana S., Taylor J., Frishcosy M., Hercamp J., Snedeker J., Williams E. Performance comparison of dome and basket extrusion granulation. *Chemical Engineering Research and Design*. 2020;160:190-198. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.04.037>
3. Wang F.Y., Cameron I.T. Review and future directions in the modelling and control of continuous drum granulation. *Powder Technology*. 2002;124(3):238-253. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(02\)00020-7](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(02)00020-7)
4. Роторный гранулятор для влажных материалов: Патент RU218265 U1, B01J 2/20, A23K 40/10 / В.И. Пахомов, С.В. Брагинец, О.Н. Бахчевников, К.А. Деев, № 23107808, заявл. 29.03.2023, опубл. 18.05.2023. EDN: FGDRKY
Pakhomov V.I., Braginets S.V., Bakhchevnikov O.N., Deev K.A. Rotary granulator for wet materials: patent RU218265 U1, B01J 2/20, A23K 40/10., application No. 23107808, applied on 29.03.2023, published on 18.05.2023.
5. Куликов А.В., Литвинчук А.А., Куликова О.М., Данилюк А.С., Безущёнок А.А. Исследование возможности и определение параметров получения микрогранул рыбных комбикормов для выращивания мальков // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2019. Т. 12, № 2. С. 43-51. EDN: XDDUJT
Kulikov A.V., Litvinchuk A.A., Kulikova O.M., Danilyuk A.S., Bezuschenok A.A. Investigation of opportunities and determination of parameters of production of microgranules of fish fodder for fry. *Food Industry: Science and Technology*. 2019;12(2):43-51. (In Russ.)
6. Пахомов В.И., Брагинец С.В., Алферов А.С., Бахчевников О.Н., Деев К.А. Корзинный гранулятор для приготовления кормов в аквакультуре // Техника и оборудование для села. 2022. № 12. С. 32-34. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-12-32-34>
Pakhomov V.I., Braginets S.V., Alferov A.S., Bakhchevnikov O.N., Deev K.A. Basket pellet mill for aquaculture feed preparation. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022;12:32-34. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-12-32-34>
7. Vesjolaja L., Glemmestad B., Lie B. Dynamic model for simulating transient behaviour of rotary drum granulation loop. *Modeling, Identification and Control*. 2020;41(2):65-77. <https://doi.org/10.4173/mic.2020.2.3>
8. Vesjolaja L., Glemmestad B., Lie B. Double-loop control structure for rotary drum granulation loop. *Processes*. 2020;8(11):1423. <https://doi.org/10.3390/pr8111423>
9. Muramatsu K., Massuquetto A., Dahlke F., Maiorka A. Factors that affect pellet quality: a review. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2015;9(2):717-722. <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2015.09.002>
10. Shuijuan S., Kai W., Binbin P., Shuanhu W., Yu S. Mechanical model and FEA of ring die of three-roller pellet mill. *2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, IEEE*. 2010, pp. 76-80. <https://doi.org/10.1109/MACE.2010.5535988>
11. Holm J.K., Henriksen U.B., Hustad J.E., Sørensen L.H. Toward an understanding of controlling parameters in softwood and hardwood pellets production. *Energy and Fuels*. 2006;20(6):2686-2694. <https://doi.org/10.1021/ef0503360>

Информация об авторах

- Сергей Валерьевич Брагинец**¹, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник; sbraginets@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>
- Олег Николаевич Бахчевников**², канд. техн. наук, старший научный сотрудник; oleg-b@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>
- Константин Александрович Деев**³, инженер; prosto.deev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4160-0382>
- ^{1,2,3} Аграрный научный центр «Донской»; 347740, Российская Федерация, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14

Вклад авторов

- С.В. Брагинец – руководство исследованием
О.Н. Бахчевников – методология, визуализация результатов исследований
К.А. Деев – анализ результатов экспериментов, проведение исследования, создание черновика рукописи

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 16.11.2023; после рецензирования и доработки 19.02.2024; принята к публикации 20.02.2024.

Author Information

- Sergey V. Braginets**¹, DSc (Eng), Lead Research Engineer; sbraginets@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>
- Oleg N. Bakhchevnikov**², PhD (Eng), Senior Research Engineer; oleg-b@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>
- Konstantin A. Deev**³, Engineer; prosto.deev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4160-0382>
- ^{1,2,3} Agricultural Research Center “Donskoy”; 14, Lenina Str., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russian Federation

Author Contribution

- S.V. Braginets – research supervision
O.N. Bakhchevnikov – methodology, visualization
K.A. Deev – analysis of experimental results, study implementation, original draft preparation

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 16.11.2023; Revised 19.02.2024; Accepted 20.02.2024.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.331:338.312:631.111

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-33-41>

Влияние конфигурации и топографических особенностей поля фермы Целот (Эритрея) на производительность посевного агрегата

А.Г. Левшин¹, Т.А. Медхн², И.Н. Гаспарян³, С.Г. Теклай⁴^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия³ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова; г. Москва, Россия⁴ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет; г. Санкт-Петербург, Россия¹ alevshin@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8010-4448>² noahhtesas@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-4371-1323>³ irina150170@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7161-3654>⁴ gtsimon1994@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-3336-0523>

Аннотация. Оптимальный выбор энергетического средства и подходящего комплекса технологического оборудования затруднен в связи с многообразием производственных условий (размер и конфигурация полей, энергоёмкость технологического процесса, засоренность камнями, наличие препятствий и разворотной полосы) и специфичностью природно-климатических факторов. С целью оценки влияния топографических особенностей полей фермы Целот (Эритрея) на производительность посевного агрегата, включающего в себя пневматическую сеялку Nardi Dora (DORA 600) и трактор New Holland T6090, проведено исследование 23 участков площадью около 107 га. Изучалось изменение показателя эффективности посевного агрегата в зависимости от размера и показателей формы участка (площадь, выпуклость, отношение периметра к площади, индекс компактности, индекс квадратного периметра, прямоугольность и шероховатость профиля поверхности поля). Площадь поля определялась с помощью ArcGIS10.7.1, пространственная информация о рельефе – с использованием Locus GIS offline land survey. Полученные данные обрабатывались в приложении Google Earth Pro и ArcGIS. Взаимосвязь индексов изучалась с помощью многомерного регрессионного анализа. Для выяснения влияния индексов размера и формы поля на производительность посевного агрегата проведено двумерное исследование параметров, реагирующих на эти индексы. Эксперимент показал варьирование коэффициента эффективности использования времени смены от 30,1 до 65,7% при низких и переменных показателях использования времени смены. Топографические особенности поля существенно влияют на коэффициент эффективности использования времени в полевых условиях. При проектировании полей рекомендовано учитывать топографические особенности, создавать подходящие полосы поворота для маневрирования, устранять препятствия в пределах рабочей зоны.

Ключевые слова: производительность посевного агрегата, коэффициент эффективности использования времени, топографические особенности, площадь поля, ArcGIS, рельеф

Для цитирования: Левшин А.Г., Медхн Т.А., Гаспарян И.Н., Теклай С.Г. Влияние конфигурации и топографических особенностей поля фермы Целот (Эритрея) на производительность посевного агрегата // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 2. С. 33-41. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-33-41>

ORIGINAL PAPER

Effect of field configuration and topographical features on the performance of the seeding unit of the Tselot farm (Eritrea)

A.G. Levshin¹, T.A. Medhn², I.N. Gasparyan³, S.G. Teklay⁴^{1,2} Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy; Moscow, Russia³ All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry; D.N. Pryanishnikov; Moscow, Russia⁴ St. Petersburg State Agrarian University; St. Petersburg, Russia¹ alevshin@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8010-4448>² noahhtesas@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-4371-1323>³ irina150170@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7161-3654>⁴ gtsimon1994@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-3336-0523>

Abstract. It is difficult to choose an optimal energy means and a suitable set of technological equipment due to the diversity of production conditions (size and configuration of fields, energy intensity of technological

process, presence of stones, obstacles and a headland) and specific natural and climatic factors. In order to assess the influence of topographical features of the fields of the Celot farm (Eretria) on the performance of a seeding unit, including a pneumatic seeder Nardi Dora (DORA 600) and a tractor New Holland T6090, the authors studied 23 plots of about 107 ha. They analyzed variations of the seeding unit efficiency index depending on the size and shape indices of the plot (area, convexity, perimeter-to-area ratio, compactness index, square perimeter index, rectangularity and roughness of the field surface profile). Field area was determined with ArcGIS10.7.1, Locus GIS offline land survey was used to obtain spatial information. The obtained data were exported to the Google Earth Pro and ArcGIS software for further processing. The relationship between indices was studied using the multivariate regression analysis. A bivariate study of parameters responding to these indices was carried out to find out the effect of field size and shape indices on the seeding unit performance. The conducted experiment showed variation in the shift time efficiency ratio from 30.1 to 65.7% for low and variable shift time indices. Topographical features of the field significantly affect the field time efficiency factor. When designing fields it is recommended to take into account topographical features to provide suitable turn lanes for maneuvering and eliminate obstacles within the working area.

Keywords: seeding unit productivity, time efficiency factor, topographic features, field area, ArcGIS, field relief

For citation: Levshin A.G., Medhn T.A., Gasparyan I.N., Teklay S.G. Effect of field configuration and topographical features on the performance of the seeding unit of the Tselot farm (Eritrea). *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(2): 33-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-33-41>

Введение

Механизация сельскохозяйственного производства способствует увеличению производства сельскохозяйственной продукции за счет повышения производительности, своевременности и качественного выполнения технологических операций, что приводит к росту урожайности [1]. Кроме того, снижается пиковая потребность в рабочей силе и минимизируются тяжелые ручные работы [2]. Производительность сельского хозяйства и уровень механизации имеют положительную взаимосвязь [3, 4].

Эффективность сельскохозяйственного производства и производительность труда зависят от эффективного использования сельскохозяйственной техники. С учетом многообразия производственных условий (размеры и конфигурация полей, энергоёмкость технологического процесса, засоренность камнями, наличие препятствий) и специфических природно-климатических факторов затрудняется оптимальный выбор энергетического средства и подходящего комплекса технологического оборудования. Соответствие конкретным производственным условиям параметров и режимов работы оборудования с точки зрения производительности и эффективного использования рабочего времени [2] имеет прямое отношение к качественному выполнению технологических операций.

В общем случае производительность – это объем работы, выполняемый машинно-тракторным агрегатом (МТА) за единицу времени (га/ч или т/ч – для транспортных работ) с заданным качеством [2, 5-7]. Элементарный объем работы за определенный

промежуток времени T_p равен произведению конструкционной ширины захвата B_k на пройденный путь S_p , и тогда потенциальная производительность агрегата W_o будет составлять¹

$$W_o = (B_k \cdot S_p) / T_p. \quad (1)$$

Конструкционная ширина захвата зависит от тягового усилия, создаваемого трактором на конкретном агрофоне, и удельной энергоёмкости технологического процесса². Пройденный путь зависит от рабочей скорости v_p и длины гона L_p . Для обработки всей площади заданного поля агрегат в конце гона необходимо развернуться за время $t_{пов}$ и в зависимости от выбранного способа движения двигаться в обратном направлении. При этом образуется стыковая граница, и в зависимости от вида операции рабочая ширина захвата будет больше или несколько меньше конструкционной:

$$B_p = \beta \cdot B_k,$$

где β – коэффициент использования ширины захвата ($\beta = 0,94 \dots 1,16$)³.

Для эффективного использования рабочего времени ширина поля должна быть кратной рабочей ширине захвата, а рабочая длина гона должна быть наибольшей. В условиях ограниченного размера полей и их сложной геометрии возникают холостые переезды (развороты, заезды на обработку клиньев). Кроме того, в течение рабочей смены возникает

¹ Сергеева З.В., Химченко Г.Т. Справочник нормировщика. М.: Россельхозиздат, 1983. 367 с.

² Там же.

³ Там же

необходимость ежесменного технического обслуживания агрегата, технологического обслуживания, устранения технологических отказов, регулировки и контроля качества работы, перевода машины в рабочее и транспортное положение, агрегатирования сельскохозяйственной машины с энергосредством, отдыха, переезда к месту работы и обратно в начале и в конце смены, переезда с поля на поле⁴.

Рабочее время T_p представляет собой сумму времени рабочих ходов. Долю рабочего времени в продолжительности времени смены оценивают коэффициентом использования рабочего времени смены $\tau_{см} = \frac{T_p}{T_{см}}$, и тогда производительность за 1 ч сменного времени с учетом размерного коэффициента будет составлять⁵

$$W_{см} = 0,36 \cdot V_p \cdot v_p \cdot \tau_{см} \quad (2)$$

Эффективная эксплуатация агрегата данного размера зависит от оптимального использования рабочего времени. Чтобы максимально увеличить время, затрачиваемое на эффективную работу, время простоя должно быть сведено к минимуму [8]. На нерабочее время, время холостого хода и остановки в пути [9] влияет множество факторов: например, размер и форма участков (полей) [7, 10-12]; топографические особенности, неровности [13] и препятствия [14]; состояние оператора машины (психическое и физическое); обслуживающий и технический персонал; другие дополнительные факторы.

Частота поворотов на длинном поле меньше по сравнению с более короткими полями той же площади [2, 9]. Поля сложной конфигурации имеют более высокую частоту поворота и изменения ориентации вождения в соответствии с шириной, длиной и предпочтительным направлением движения, чем обычные прямоугольные поля, что снижает эффективность работы [15].

Типовые условия работы агрегата при нормировании механизированных работ при длине гона 600...800 м характеризуются следующими показателями: поля правильной конфигурации (прямоугольной формы); рельеф ровный (уклон не более 1°; высота над уровнем моря до 500 м; каменистость и препятствия отсутствуют; почвы со средней прочностью несущей поверхности и влажностью до 22%. Если агрегат работает в более сложных условиях, то вводятся поправочные коэффициенты на производительность. Производительность

агрегата в заданных условиях определяется из равенства⁶:

$$W_{см} = W^T \cdot K_{об} = 0,36 \cdot K_{об} \cdot V_p \cdot v_p \cdot \tau_{см}, \quad (3)$$

где W^T – производительность агрегата в типовых условиях, га/ч; $K_{об}$ – обобщенный поправочный коэффициент на местные условия;

$$K_{об} = K_k K_h K_c K_n K_p, \quad (4)$$

где K_k , K_h , K_c , K_n , K_p – частные поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно, каменистость, высоту над уровнем моря, сложность конфигурации полей, изрезанность полей препятствиями, рельеф. Несколько иной подход к оценке агроландшафта используется в методике ASABE.

Обработка поля с препятствиями усложняет процесс управления агрегатом и снижает производительность [15]. Размер поворотной полосы зависит от ширины захвата, скорости движения и от способов поворота, что приводит к различному времени поворота [8]. Важна выравненность поля, ограничивающая рабочую скорость. Работа на неровном поле при высокой рабочей скорости увеличивает вибрацию рабочих органов, что приводит к отказам и увеличению времени на устранение технических отказов. Анализ этих факторов имеет решающее значение для выявления основных барьеров, которые необходимо устранить, чтобы эффективность использования сельскохозяйственной техники была максимальной. Эти факторы никогда не изучались в эритрейском контексте.

Цель исследований: оценка влияния топографических свойств полей фермы Целот (Эритрея) на производительность посевного агрегата.

Материалы и методы

Условия исследований. Исследования проводились в Целоте, Асмэра, Эритрея (рис. 1), во время выполнения операции по посеву пшеницы. Тип почвы по механическому составу – насыщенная глиной (обычно варьирующаяся от глинистой до супесчаной) – влияет на дренаж и пригодность для механической обработки. Более суглинистые почвы расположены на склонах холмов. Глинистые почвы известны плохим внутренним дренажем, что затрудняет эксплуатацию техники во время обильных осадков. Подземный дренаж повышает своевременность полевых работ. Кроме того, глинистые почвы часто создают дополнительную проблему с точки зрения дренажа и уплотнения, поскольку они остаются в пластичном состоянии

⁴ Зангиев А.А., Скороходов А.Н. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка: Учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 464 с.

⁵ Там же.

⁶ Сергеева З.В., Химченко Г.Т. Справочник нормировщика. М.: Россельхозиздат, 1983. 367 с.; Зангиев А.А., Скороходов А.Н. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка: Учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 464 с.

после высыхания верхнего слоя почвы, становясь барьером для дальнейшего испарения влаги. Этот барьер удерживает подстилающий грунт в пластичном состоянии, предотвращая его обработку без чрезмерного размазывания и повреждения при уплотнении.

Для анализа линий стока атмосферных осадков (на рисунке 1 – красные линии) использовали программу ModelBuilder, входящую в состав платформы ArcGIS. ModelBuilder – это визуальный язык программирования, который позволяет создавать рабочие процессы геообработки. Модели геообработки автоматизируют и описывают процессы географического анализа и управления данными. Приведенные линии стока позволяют выбрать направление движения МТА для снижения водной эрозии (рис. 1).

Описание объекта исследований. Целот, Асмэра, Эритрея, расположен на широте 15°17'6,4», долготе 38°56'59" и на высоте 2341 м над уровнем моря, на одной из высокомеханизированных ферм в стране. Проведено обследование 23 участков на площади около 107 га.

Проведен 8-дневный эксперимент с использованием пневматической сеялки Nardi Dora (DORA 600)

в агрегате с трактором New Holland T6090. В течение всего периода работы проводился хронометраж по ГОСТ 24055-2016. При проведении эксперимента за весь рабочий день анализировались: данные по движению агрегата от начальной точки до точки его остановки, в которой изменялось направление (рабочий проход); время, необходимое для изменения направления; направление и время, требуемое для обслуживания или проверки агрегата (при необходимости).

В статье основное внимание уделяется параметрам, определяющим производительность: продолжительность каждого посевного прохода (рис. 2); продолжительность накладных затрат времени [8] (поворот, проверка трубки подачи семян и сошника, обслуживание трубки и сошника при подозрении на неисправности, проверка уровня семян в бункере); обрабатываемая площадь.

Оценка условий работы посевного агрегата. Эффективность МТА оценивалась по данным статистического анализа. Учитывалось влияние на производительность конфигурации полей: размер и форма полей, топографические особенности и другие природные или искусственные факторы. В качестве

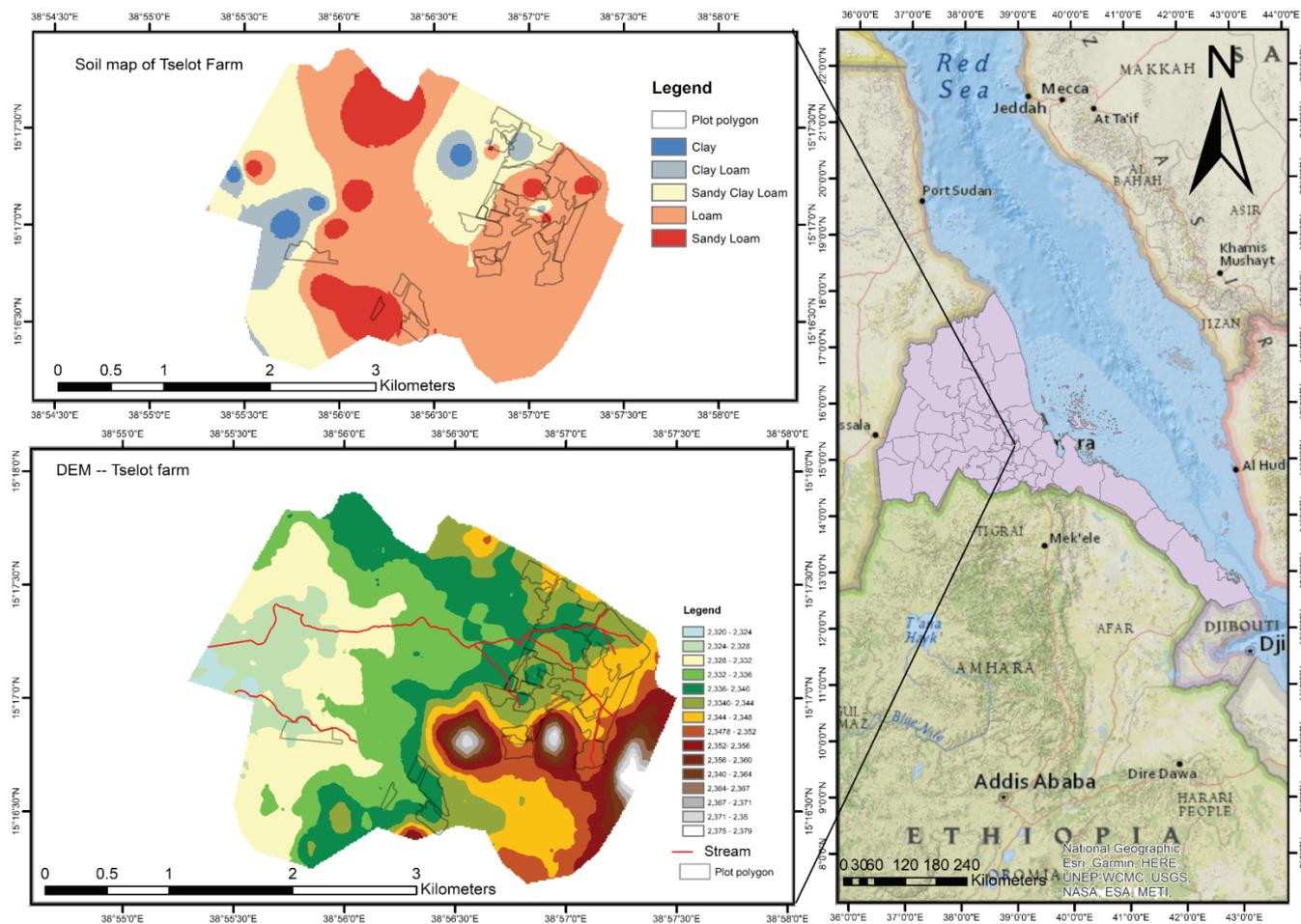


Рис. 1. Топографическая карта района исследований и карта текстуры почвы

Fig. 1. Topographic map of the study area and soil texture map

параметра производительности в исследованиях выступал коэффициент эффективности использования времени (η) в полевых условиях (1) [7]:

$$\eta = \frac{T}{T_{total}}, \tag{5}$$

где T – общее время основной работы, ч; T_{total} – суммарное время, затраченное на основную работу и развороты, ч;

$$T = \sum_{j=1}^n t_j;$$

$$T_{total} = \sum_{i=1}^n t_i, \tag{6}$$

где t_j – рабочее время непрерывного прохода от точки А до точки В (рис. 2) [9]; t_p – время, затраченное на выполнение рабочего хода t_j , и время поворота агрегата до начала следующего прохода $j + 1$ (С – на рисунке 2).

Предполагается, что расстояние между последним рядом первого прохода и первым рядом последующего прохода (стыковочное междурядье) было точно таким же, как расстояние между двумя рядами одного прохода, то есть 15,4 см.

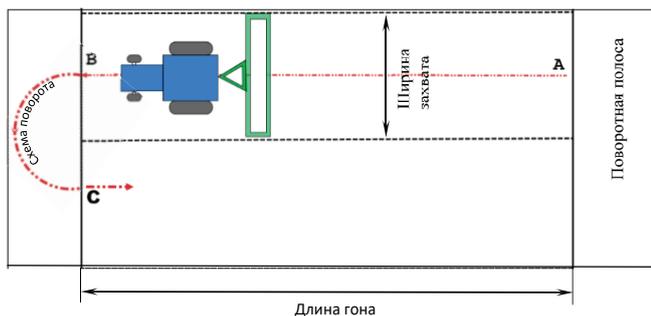


Рис. 2. Схема движения посевного агрегата:

- А – точка начала рабочего хода;
- В – точка окончания рабочего хода;
- С – точка завершения поворота

Fig. 2. Seeding unit movement diagram:

- A – beginning point of the working stroke;
- B – end point of the working stroke; C – end point of the turn

При посеве и непрерывном перемещении из точки А в точку В машиной затрачивается время t_j (при условии, что машина не останавливается, в противном случае эта остановка будет конечной точкой измерения времени t_j). При вынужденной остановке агрегата фиксируется время на разворот (t_1), установку пневматической трубки в разобранном корпусе сошника (t_2), проверку засоренности трубок подачи семян и их разблокировку (очистку) (t_3), проверку бункера на наличие семян и его заполнение (t_4), и t_i может быть задано, соответственно, следующим образом: $t_i = t_j + t_1 + t_2 + t_3 + t_4$; $j = 1, 2, \dots, n$, количество проходов.

Пространственный и статистический анализ полей. В качестве индексов, характеризующих размеры и форму поля, рассматривались площадь (A), выпуклость (значок), отношение периметра к площади (P/A), индекс компактности (I_{con}), индекс квадратного периметра (I_{sp}) и прямоугольность (I_r) [6, 9, 16]. Эти показатели определялись по выражениям:

$$I_{con} = \frac{A}{A_{coh}}; \tag{7}$$

$$P / A_{ratio} = \frac{P}{A}; \tag{8}$$

$$I_{con} = 4\pi \frac{A}{P^2}; \tag{9}$$

$$I_{sp} = \frac{4\sqrt{A}}{P}; \tag{10}$$

$$I_r = \frac{A}{A_{mbr}}, \tag{11}$$

где A – фактическая площадь поля; A_{coh} – площадь выпуклой оболочки; A_{mbr} – площадь минимального ограничивающего прямоугольника; P – периметр обрабатываемого поля.

Площади выпуклой оболочки и минимального ограничивающего прямоугольника полей были рассчитаны с помощью ArcGIS10.7.1 (рис. 3).

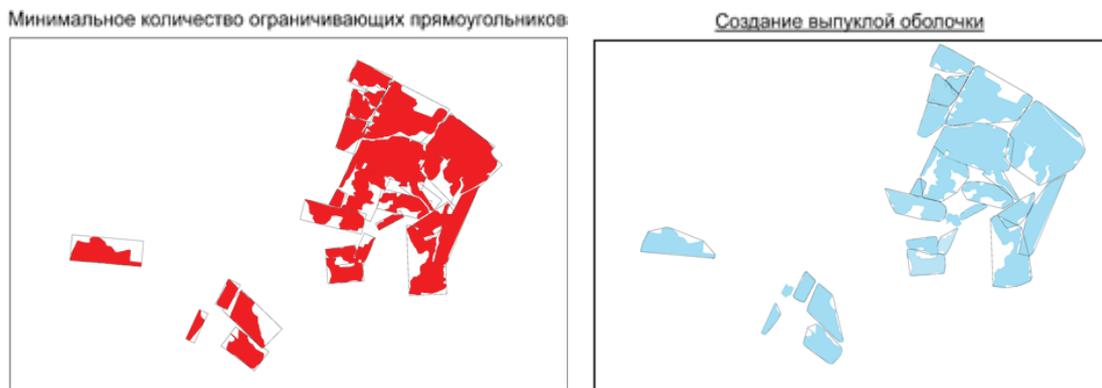


Рис. 3. Минимальные ограничивающие прямоугольники (слева) и выпуклые оболочки (справа)

Fig. 3. Minimum bounding rectangles (left) and convex hulls (right)

Для навигации и расчета границ каждого поля применялись мобильное приложение и GPS Garmin в активном режиме. Расчет площади отдельного поля осуществлялся с помощью автономной геодезии Locus GIS, представляющей собой автономный сборщик данных, картограф, калькулятор площади и редактор SHP версии 1.17.0. Файл формы экспортировался в Google Earth Pro и ArcGIS для дальнейшей обработки. Площади, рассчитанные с помощью Locus GIS, сверялись с площадями, рассчитанными с помощью GPS Garmin, и площадями, полученными путем оцифровки границ отдельных полей в Google Earth Pro, который затем был признан надежным для использования. Значения индексов полей приведены в таблице.

Взаимосвязь индексов оценена с помощью многомерного корреляционного анализа. В качестве меры связи использовалась степень корреляции.

Влияние индексов размера и формы на параметры работы МТА протестировано с помощью JMP 16 Pro. Затем проведен двумерный анализ, чтобы выяснить, как эффективность (η) МТА реагировала на размер поля и индексы формы.

Анализ влияния полевых топографических особенностей. В ходе исследований изучены особенности полей: наличие электрических столбов, ям, скоплений камней и естественных дренажных каналов, изменчивость длины поля и условий на разворотах. Исследование показало, что особенности рельефа местности и различные условия на поворотной полосе отражаются на выборе метода поворота, учитывающего длину поворота, время, скорость и количество остановок, тем самым влияющего на производительность агрегата. В ходе исследований определен коэффициент снижения эффективности каждого поля на основе

Таблица

Значение индексов отдельного поля

Table

Values of individual field indices

Поле <i>Field</i>	Индексы, характеризующие размер и форму поля / <i>Indices characterizing the size and shape of the field</i>				
	Выпуклость <i>Convexity</i> I_{con}	Отношение периметра к площади <i>Perimeter to area ratio</i> P/A	Компактность <i>Compactness</i> I_{com}	Квадратный периметр <i>Square perimeter</i> I_{sp}	Прямоугольность <i>Rectangularity</i> I_r
P1	0,95	0,03	0,55	0,83	0,76
P2	0,98	0,02	0,28	0,59	0,79
P3	0,78	0,02	0,36	0,68	0,56
P4	0,88	0,01	0,32	0,63	0,76
P5	0,90	0,02	0,38	0,69	0,67
P6	0,87	0,03	0,48	0,78	0,65
P7A	0,74	0,04	0,28	0,59	0,61
P(7B + 7C)	0,65	0,04	0,17	0,46	0,50
P8A	0,86	0,03	0,48	0,78	0,63
P8A'	0,86	0,05	0,57	0,85	0,58
P8B	0,89	0,03	0,52	0,82	0,72
P9	0,96	0,05	0,72	0,95	0,82
P10.1	0,82	0,03	0,37	0,68	0,69
P10.3	0,86	0,04	0,53	0,82	0,64
P10.4	0,77	0,03	0,48	0,78	0,65
P10,5	0,82	0,05	0,38	0,70	0,59
P10,7	0,95	0,05	0,50	0,80	0,79
P11	0,63	0,02	0,29	0,61	0,52
P12.1	0,97	0,03	0,70	0,94	0,86
P12.2	0,90	0,02	0,50	0,80	0,56
P12.3	0,85	0,03	0,47	0,78	0,71
P12.4	0,95	0,05	0,48	0,78	0,69
P13	0,83	0,02	0,42	0,73	0,61

данных источников литературы и проанализирована реакция производительности на эти факторы. Коэффициенты рассчитывались по уравнению 3.

Результаты и их обсуждение

Экспериментально установлен диапазон η МТА 65,7...30,1% (рис. 4). Данные были проанализированы на предмет распределения по скорректированному информационному критерию Акайке (AICc) и байесовскому критерию (BIC), позволяющими оценить наилучшее соответствие модели:

$$AICc = n \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + 2k + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} + n \ln(2\pi) + n;$$

$$BIC = n \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + k \ln(n) + n \ln(2\pi) + n;$$

$$AICc_{weight} = \frac{\exp[-0,5(AICc - \min(AICc))]}{\sum(\exp[-0,5(AICc - \min(AICc))])},$$

где k – количество оцененных параметров в модели; n – количество наблюдений, используемых в модели; SSE – сумма квадратов ошибок в модели, которые в данном случае являются средним значением (μ) и стандартным отклонением (σ), следовательно, $k = 2$.

Модель с наименьшим значением AICc и BIC и наибольшим значением AICcWeight считается наиболее подходящей⁷. Для анализируемых данных AICc = 167,96; BIC = 169,63; AICcWeight = 0,25. Установлено, что наилучшей моделью является закон нормального распределения (рис. 4).

Из таблицы квантилей анализа: максимальное значение – 65,74%; первый квантиль – 55,04%; медиана – 51,71%; третий квантиль – 44,91%; минимум – 30,1%. Из сводных статистических данных следует,

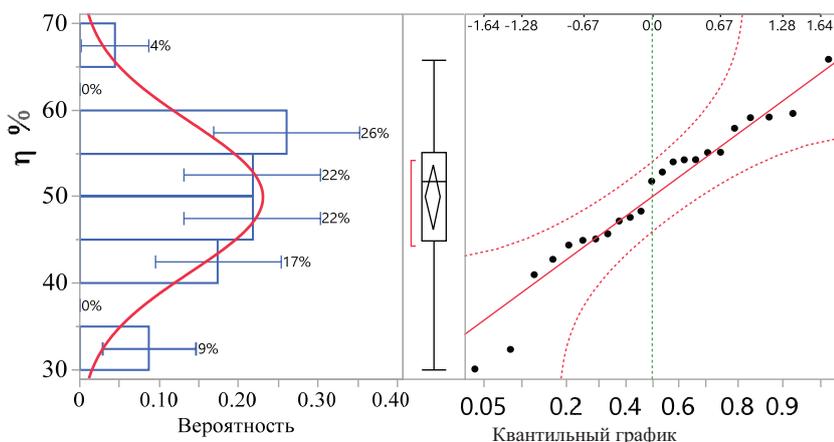


Рис. 4. Распределение η (нормальное распределение) и квантильный график

Fig. 4. Distribution of η (normal distribution) and quantile plot

что среднее значение составляет 49,9, стандартное отклонение выше и ниже 95%: соответственно 8,62; 53,6; 46,15.

Диапазон между максимумом и минимумом является довольно высоким (35,64), а коэффициент вариации составляет 17,3%, указывая на относительно высокую дисперсию η . Среднее значение составляет около 50%. С одной стороны, это показывает 50%-ную потерю времени во время операции, а с другой стороны, значение 95%-ного доверительного интервала также отражает 90% операций, в которых потери времени составляли от 54 до 46%.

Анализ индексов. Значения индексов определены для каждого поля (табл. 1). Минимальные ограничивающие прямоугольники и выпуклые оболочки результатов ArcGIS приведены на рисунке 5.

По данным многомерного корреляционного анализа, I_{com} и I_{sp} высокосвязно (положительно) коррелировали (Pearson $r = 0,99$); за ними следовали I_r и I_{con} ($r = 0,79$), I_{con} и I_{sp} ($r = 0,65$), I_{com} и I_{con} ($r = 0,64$), тогда как A (га) отрицательно коррелирует с P/A ($r = -0,75$), I_{com} ($r = -0,58$) и I_{sp} ($r = -0,58$). Остальные показатели формы и размера лежат в диапазоне меньшей значимости и являются некоррелированными.

Чтобы предотвратить столкновение модели с парадоксом мультиколлинеарности и обеспечить надежность коэффициентов, связанных с двумя сильно коррелирующими переменными, I_{com} исключается из дальнейшего анализа, так как очень сильно коррелирует с I_{sp} , в то время как другие индексы сохраняются. Подход двумерной регрессии использовался при оценке 5 индексов (I_{con} , P/A , I_{sp} , I_r и A) для выявления индекса, имевшего наиболее сильную корреляцию с η МТА.

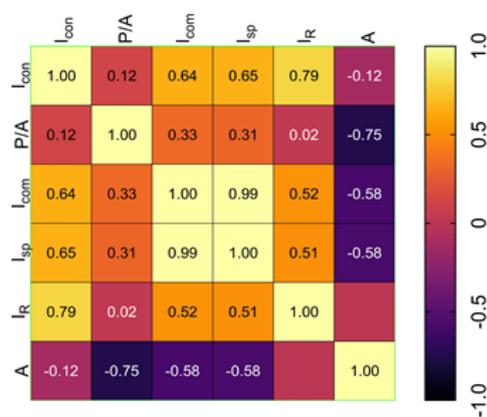


Рис. 5. Корреляционная матрица показателей размера и формы

Fig. 5. Correlation matrix of size and shape indices

⁷ Model Comparison Report. Accessed: Feb. 21, 2024. [Online]. Available: <https://www.jmp.com/support/help/en/17.2/index.shtml#page/jmp/model-comparison-report-2.shtml>.

Реакция параметров работы МТА на индексы размера и формы. Результаты корреляционной значимости показали, что реакция η на индексы была незначительной (рис. 6). Однако отметим, что некоторые индексы размера и формы демонстрируют степень влияния, которая могла быть уменьшена другими влияющими переменными.

Эффективность показала положительную реакцию на «P/A», отрицательную реакцию на «A» и отсутствие реакции на « I_{con} ». В связи с этим открытием потребовалось дополнительное исследование для выявления других влияющих переменных.

Влияние встроенных топографических барьеров на производительность МТА. Чтобы определить реакцию на топографические особенности, проведен двумерный анализ обобщенного поправочного коэффициента $K_{об}$ и коэффициента эффективности использования времени в полевых условиях η . Коэффициент детерминации был относительно выше ($R^2 = 0,79$), показывая, что факторы внесли значительный вклад в снижение производительности МТА (рис. 7). Уравнение большой оси эллипса рассеивания представлено прямой $\eta\% = -37.037 + 105.07K_{об}$, а синяя пунктирная линия представляет эллипс плотности 90%.

Результаты исследований указывают на то, что топографические особенности фермы оказывают негативное влияние на производительность техники. Эритрейская корпорация растениеводства и животноводства активно развивает ферму, и большая часть работ уже завершена. Однако незавершенная отделка полей приводит к снижению производительности сельскохозяйственной техники. Важно осознавать значительное влияние этих препятствий на производительность техники, поскольку любой фактор, снижающий производительность посевной техники, аналогичным образом повлияет на другие операции.

Снижение эффективности приводит к росту общих производственных затрат, поскольку способствует увеличению эксплуатационных расходов ввиду простоев и потери времени, а также к более высокому риску задержек в других операциях, что приводит к нарушениям своевременности в производственной системе. Задержки в предпосевных операциях задерживают посева. В странах с короткими сезонами дождей – таких, как Эритрея, задержка с посевом может привести к частичному или полному неурожаю.

Выводы

1. Топографические особенности (барьеры) играют доминирующую роль в снижении эффективности использования МТА. Конфигурация поля оказывает

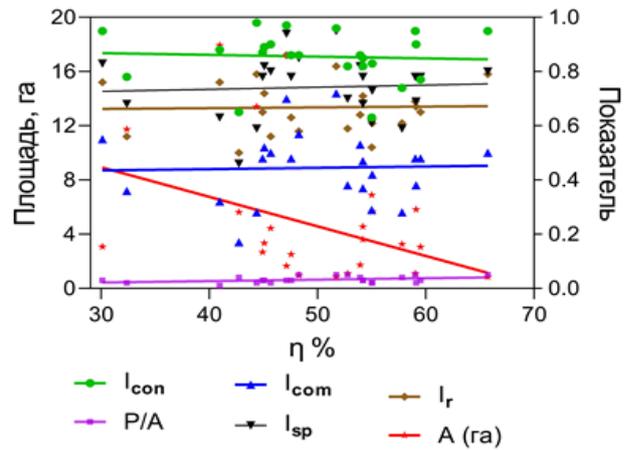


Рис. 6. График зависимости уровня η от показателей размера и формы

Fig. 6. Relationship graph between η level and size and shape indices

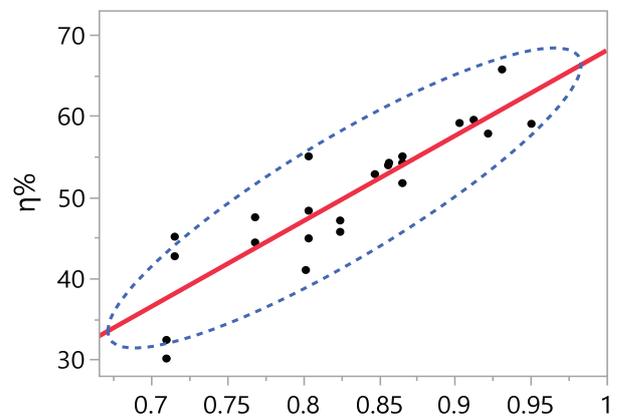


Рис. 7. Корреляция между коэффициентом снижения эффективности ($K_{об}$) и η МТА

Fig. 7. Correlation between the efficiency reduction factor ($K_{об}$) and the η value of the implement-and-tractor unit

значительное влияние на снижение производительности машинного агрегата. Коэффициент эффективности использования времени в полевых условиях η является весьма чувствительным по отношению к топографическим особенностям поля.

2. Наличие большого количества препятствий на поле увеличивает количество поворотов и остановок, продлевает непроизводительное время и, следовательно, снижает эффективность.

3. Не обнаружено существенное влияние индексов размера и формы на рабочие параметры МТА, однако степень влияния некоторых индексов уменьшена другими влияющими переменными.

4. При проектировании и землеустройстве полей следует учитывать оптимальные условия для использования техники, уделяя особое внимание созданию подходящих полос поворота для маневрирования и устранения препятствий в пределах рабочей зоны.

Список источников / References

1. Medhn T.A., Teklay S.G., Mengstu M.T. Analysis of the Level of Agricultural Mechanization in Eritrea Based on USDA Data Sources. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*. 2023;5(6):62-69. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2023.5.6.664>
2. Srivastava A., Goering C., Rohrbach R., Buckmaster D. Engineering principles of agricultural machines. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. 559 p.
3. Shinde G.U. et al. Farm Mechanization. In Trajectory of 75 years of Indian Agriculture after Independence, Springer, Singapore, 2023. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7997-2_18
4. Diao X., Takeshima H., Zhang X. An evolving paradigm of agricultural mechanization development: How much can Africa learn from Asia? Synopsis, IFPRI synopsis 1224277378, International Food Policy Research Institute (IFPRI).
5. Kutz M. Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering. Second edition. New York: Elsevier, 2013. 760 p.
6. Griffel L.M., Vazhnik V., Hartley D., Hansen J.K., Richard T.L. Machinery maneuvering efficiency and perennial crops: field shape complexity defines the efficiency. *ASABE Annual International Meeting*. 2018:1800440. <https://doi.org/10.13031/aim.201800440>
7. Janulevičius A., Šarauskis E., Čiplienė A., Juostas A. Estimation of farm tractor performance as a function of time efficiency during ploughing in fields of different sizes. *Biosystems Engineering*. 2019;179:80-93. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.01.004>
8. Paraforos D.S., Hübner R., Griepentrog H.W. Automatic determination of headland turning from auto-steering position data for minimising the infield non-working time. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018;152:393-400. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.035>
9. Oksanen T. Shape-describing indices for agricultural field plots and their relationship to operational efficiency. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2013;98:252-259. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.014>
10. Sklenicka P., Janovska V., Salek M., Vlasak J., Molnarova K. The Farmland Rental Paradox: Extreme land ownership fragmentation as a new form of land degradation. *Land use policy*. 2014;38:587-593. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.01.006>
11. Shi Y., Yang Q., Zhou L., Shi S. Can moderate agricultural scale operations be developed against the background of plot fragmentation and land dispersion? *Evidence from the Suburbs of Shanghai. Sustainability*. 2022;14(14):8697. <https://doi.org/10.3390/su14148697>
12. Zeng L., Li X., Ruiz-Menjivar J. The effect of crop diversity on agricultural eco-efficiency in China: A blessing or a curse? *Journal of Cleaner Production*. 2020;276:124243. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124243>
13. Habib M. Quantifying topographic ruggedness using principal component analysis. *Advances in Civil Engineering*. 2021;3311912. <https://doi.org/10.1155/2021/3311912>
14. Toscano P., Cutini M., Filisetti A., Premoli E., Porcu M., Catalano N., Bisaglia C., Brambilla M. Workability assessment of different stony soils by soil-planter interface noise and acceleration measurement. *AgriEngineering*. 2022;4(4):1139-1152. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4040070>
15. Zhou K., Jensen L.A., Sørensen C.G., Busato P., Bothtis D.D. Agricultural operations planning in fields with multiple obstacle areas. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2014;109:12-22. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.08.013>
16. Demetriou D., See L., Stillwell J. A parcel shape index for use in land consolidation planning. *Transactions in GIS*. 2013;17(6):861-882. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2012.01371.x>

Сведения об авторах

Александр Григорьевич Левшин¹, д-р техн. наук, профессор; alevshin@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8010-4448>

Тесфит Асрат Медхн², аспирант; noahtesas@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-4371-1323>

Ирина Николаевна Гаспарян³, д-р с.-х. наук, доцент, главный научный сотрудник; irina150170@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7161-3654>

Симон Гебрехивет Теклай⁴, магистрант, gtsimon1994@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3336-0523>

^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

³ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Прянишникова, 31

⁴ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет; 196601, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2

Вклад авторов

А.Г. Левшин – концептуализация, руководство исследованием
Т.А. Медхн – формальный анализ, ресурсы
И.Н. Гаспарян – верификация данных
С.Г. Теклай – создание черновика рукописи, перевод с английского языка на русский

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 29.01.2024, после рецензирования и доработки – 05.03.2024, принята к публикации 11.03.2024

Author Information

Aleksandr G. Levshin¹, DSc (Eng), Professor, alevshin@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0001-8010-4448>

Tesfit A. Medhn², postgraduate student; noahtesas@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-4371-1323>

Irina N. Gasparyan³, DSc (Ag), Professor, irina150170@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7161-3654>

Simon G. Teklay⁴, MSc student, gtsimon1994@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3336-0523>

^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

³ All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov; 31 Pryanishnikova Str., Moscow, 127434, Russian Federation

⁴ St. Petersburg State Agrarian University; 196601, Russian Federation, St. Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe Ave., 2

Author Contribution

А.Г. Левшин – conceptualization, research supervision
Т.А. Медхн – formal analysis, resources
И.Н. Гаспарян – data verification
С.Г. Теклай – original draft preparation, translation of literature sources from English into Russian

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 29.01.2024; Revised 05.03.2024; Accepted 11.03.2024

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.316.6

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-42-48>

Машина для вычесывания сорняков: эффективность обработки посевов бахчевых

В.А. Цепляев

Волгоградский государственный аграрный университет; г. Волгоград, Россия
can_volgau@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-9554-1894>

Аннотация. Выращивание бахчевых культур – это трудоемкий процесс, в котором основные затраты приходится на обработку посевов от сорняков и уборку продукции. До наступления порога вредоносности сорняков требуется трех- или четырехкратная обработка междурядий культиваторами, что способствует уплотнению почвы. Уменьшить число обработок можно рыхлением междурядий до 0,1...0,12 м устройством, способным воздействовать на корневую систему сорняка. Установлено, что на процесс вычесывания сорняков влияет передаточное отношение между роторами вычесывающего устройства. С целью определения оптимального значения передаточного отношения на технологический процесс проведены исследования в лабораторных и полевых условиях. В почвенном канале при варьировании передаточного отношения от 1,0 до 4,0 и глубине обработки 0,05 и 0,1 м определяли отрезок пути, на котором скобы взаимодействуют с почвой. В полевых условиях при передаточном отношении 1,0...4,5 с интервалом 0,5 измеряли длину корней сорняков, удаляемых из почвы, при глубине обработки 0,05 и 0,1 м. В результате исследований установлено, что оптимальная длина следов отрезков передних (0,35 м) и задних (0,08 м) скоб наблюдалась при передаточном отношении, равном 4,0. Наибольшая длина корней сорняков, извлеченных на поверхность за счет работы лезвия скобы (0,26...0,32 м), отмечена при передаточном отношении 4,0 и глубине 0,1 м. Сделан вывод о том, что эффективность обработки почвы зависит от передаточного отношения между передним и задним роторами и от глубины обработки. Наибольшая эффективность для вычесывания корней сорняков получена при передаточном отношении между роторами вычесывающего устройства, равном 4,0.

Ключевые слова: выращивание бахчевых культур, машина для вычесывания сорняков, эффективность обработки посевов бахчевых, эффективность обработки почвы, передаточное отношение, корень сорняка, кинематический параметр

Для цитирования: Цепляев В.А. Машина для вычесывания сорняков: эффективность обработки посевов бахчевых // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 2. С. 42-48. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-42-48>

ORIGINAL PAPER

Weed extractor: the efficiency of melons and gourds cultivation

V.A. Tseplyaev

Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia
can_volgau@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-9554-1894>

Abstract. The cultivation of melons and gourds is a rather laborious process and the main costs fall on the treatment of crops from weeds and harvesting. Before the weed damage threshold is reached, three or four row spacing treatments with cultivators are required, which ensures soil compaction. The number of treatments can be reduced by loosening the row spacing 0.1 to 0.12 m with a device capable of affecting the root system of weeds. It is established that weeding out is affected by the gear ratio between the weed extractor rotors. In order to determine the optimal value of the gear ratio on the technological process, the author conducted laboratory and field studies. The distance, on which the root diggers interact with the soil, was determined in the soil channel when varying the gear ratio from 1.0 to 4.0 and the depth of cultivation of 0.05 and 0.1 m. In field conditions, the author measured the length of weed roots removed from the soil at a working depth of 0.05 and 0.1 m, at the gear ratio of 1.0 to 4.5, and with a pitch of 0.5. As a result of research, the author observed the optimum length of traces of the front sections of the digger equaling 0.35 m and that of rear ones equaling 0.08 m at a gear ratio of 4.0. The greatest length of weed roots extracted to the surface with the digger blade of 0.26 to 0.32 m was observed at a gear ratio of 4.0 and a depth of 0.1 m.

It is concluded that the efficiency of tillage depends on the gear ratio between front and rear rotors and the depth of tillage. The highest weeding-out efficiency was observed at a gear ratio between the weed extractor rotors of 4.0.

Keywords: cultivation of melons and gourds, weed extractor (weeding-out machine), efficiency of the cultivation of melons and gourds, efficiency of soil cultivation, gear ratio, weed root, kinematic parameter

For citation: Tseplyaev V.A. Weed extractor: the efficiency of melons and gourds cultivation. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(2):42-48. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-42-48>

Введение

Засоренность посевов существенно снижает динамику всходов культурных растений и оказывает отрицательное воздействие на последующее развитие бахчевых [1, 2]. Участки бахчевых, где сорняки не уничтожены до фазы шатрика, подлежат списанию [2], поэтому выращивание бахчевых культур в условиях своевременной обработки посевов от сорняков является залогом получения стабильных урожаев [3]. За сезон возделывания бахчевых культур проводится до 3...4 обработок, что увеличивает затраты, ухудшает состояние почвы ввиду уплотнения, снижает влагообеспеченность [4, 5]. В связи с этим поиск способов снижения количества обработок сельскохозяйственных культур осуществляется по состоянию почвы. При возделывании кукурузы и подсолнечника рабочие органы машины заглубляют на 0,12...0,14 м, рядки обрабатываются гербицидами [4, 6, 7]. Часто для снижения числа проходов применяют комбинированные агрегаты или машины, воздействующие на корневую систему сорняка [8-10].

Анализ научных статей, патентов на изобретения, научно-технологических отчетов по возделыванию бахчевых культур [5, 11] позволил решить задачу по снижению числа обработок и создать машину, оснащенную рабочими органами активного типа, способными вычесывать корневую систему сорняков за счет разности окружных скоростей скоб роторов машины [8, 12].

Цель исследований: экспериментальное определение оптимального соотношения окружных скоростей скоб роторов машины для вычесывания, при котором достигается наилучший эффект.

Материалы и методы

Рабочий процесс предлагаемой машины [8] обеспечивается разностью окружных скоростей фигурных лезвий рабочих скоб. Эта разница достигается цепной передачей, включающей цепь и две звездочки, причем передняя звездочка, закрепленная к ступице переднего ротора, имеет большее число зубьев, а задняя звездочка – меньшее число. Цепь охватывает звездочки, создавая общий контур. Лезвия передних скоб повернуты влево (навстречу движению машины), а лезвия задних – вправо относительно осей. Каждое лезвие снабжено фигурным

вырезом (рис. 1). Пружина обеспечивает сбрасывание сорняка с выреза скобы при ее выходе из почвы. Поскольку обе звездочки роторов охвачены одной цепью, то при взаимодействии с почвой передняя, поворачиваясь по часовой стрелке, заглубляется в почву, но ее окружная скорость скобы меньше, чем поступательная (машины), а траекторией движения является укороченная циклоида. Задняя скоба за счет меньшего числа зубьев на ее роторе движется по удлиненной циклоиде [11, 12]. Относительно окружной скорости ее скобы определен кинематический параметр $\lambda = 2,2...2,3$ [11, 13]. Технологическая операция

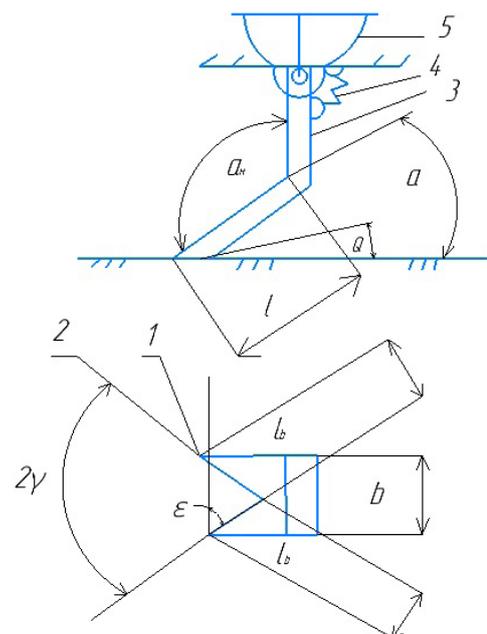


Рис. 1. Схема скобы ротора:

- 1 – передняя кромка лезвия; 2 – вырез лезвия скобы;
- 3 – шарнирная скоба; 4 – пружина; 5 – кольцо;
- b – ширина ножа; α – угол установки ножа к горизонту;
- ϵ – угол между лезвием ножа и прямой, перпендикулярной к направлению движения;
- 2γ – угол раствора лезвий;
- α_n – угол между осью луча и концом ножа ротора

Fig. 1. Diagram of the rotor digger:

- 1 – leading edge of the blade; 2 – cutout of the digger blade;
- 3 – hinged bracket; 4 – spring; 5 – ring; b – width of the blade;
- α – blade setting angle relative to the horizon;
- ϵ – angle between the blade and the straight line perpendicular to the direction of motion;
- 2γ – angle of blade mouth;
- α_n – angle between the axis of the beam and the rotor blade

вычесывания сорняков передними и задними роторами представлена на рисунке 2.

На первой позиции передняя скоба захватывает сорняк (т. A_1) и перемещает его вперед (по ходу движения машины). Во втором положении задняя скоба подхватывает сорняк и смещает его в обратную сторону от движения машины. Необходимо учитывать, что центры роторов перемещаются в новое положение.

В положениях 3 и 4 показаны завершающие этапы вычесывания сорняка по мере движения машины. Кроме того, на позиции 4 представлено сбрасывание сорняка задней скобой за счет выпрямления пружины.

Судя по процессу работы машины основным фактором, влияющим на процесс вычесывания сорняков, будет передаточное отношение между роторами, то есть отношение числа зубьев звездочек.

Исследования влияния передаточного отношения на технологический процесс проведены в лабораторных и полевых условиях. Лабораторные исследования проводились в почвенном канале Волгоградского ГАУ [14].

Опыты в полевых условиях проводили в УНПЦ «Горная Поляна» (рис. 3). В качестве контроля измеряли длину корня сорняка при различном передаточном отношении (рис. 4). Выбран участок длиной 15 м с высокой степенью засоренности (до 50 шт/м²). Из всего видового состава сорняков превалировал осот розовый (до 90%). Ширина участка рассчитывалась из условия восьмикратного прохода агрегата с передаточным числом i = от 1,0 до 4,5 с интервалом 0,5.

Обработка результатов экспериментальных данных производилась по методике Г.В. Веденяпина¹.

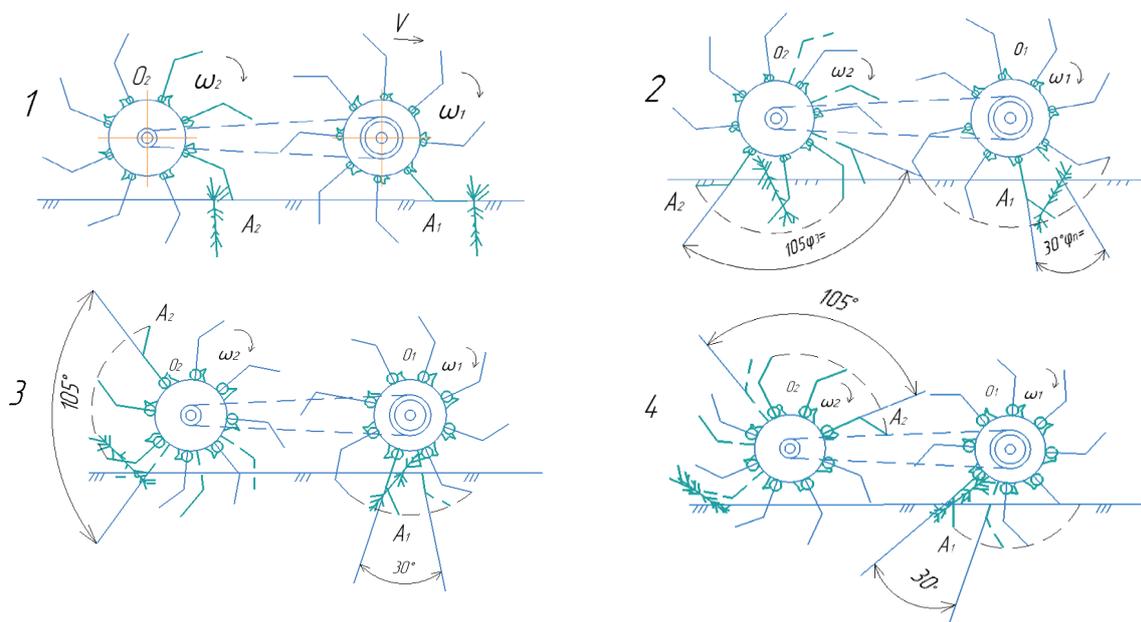


Рис. 2. Схема технологии вычесывания сорняков скобами роторов
Fig. 2. Schematic diagram of the technology of weeding-out with rotor brackets



Рис. 3. Общий вид опытной установки при проведении исследований
Fig. 3. General view of the pilot plant for conducting research



Рис. 4. Сорняк с корневой системой, поднятый на поверхность скобой
Fig. 4. Weed with a root system raised to the surface by a digger

¹ Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М.: Колос, 1973. 199 с.

Результаты и их обсуждение

Исследования влияния передаточного отношения на технологический процесс осуществлялись на установке, включающей в себя универсальный привод 1 и секцию роторного вычесывателя, представляющего собой грядиль 2, на которой закреплены передний 3 и задний 4 роторы со скобами, звездочки 5 и 6 с разным числом зубьев, коробку перемены передач (КПП) 7 с цепным контуром 8. Поверхность почвы копировалась опорным колесом. Универсальный привод перемещался по опорам 12 тяговым звеном 13 за счет электрической лебедки, закрепленной на поперечной балке в конце почвенного канала, которая на рисунке 5 не показана.

Цель опыта заключалась в определении отрезка пути, на котором скобы взаимодействовали с почвой. Глубина установки скоб соответствовала 0,1 м.

В процессе опытов на переднем и заднем роторах фиксировалась скорость окружных скоростей скобы. Частота вращения роторов (передаточное отношение) изменялось с помощью КПП. Предварительно почва засыпалась порошкообразным мелом, что позволяло установить следы от прохода скоб и измерить длину каждого участка (рис. 6 а, б).

По результатам исследований построены графики зависимости длины отрезков следов от взаимодействия скоб передних и задних роторов на почву (рис. 7) и длины извлеченной части корня сорняка от соотношения скорости и глубины обработки скобы (рис. 8).

Согласно графикам рисунка 7 при глубине обработки 0,05 и 0,1 м с увеличением передаточного отношения i длина следа от передней скобы возрастает. При соотношении скорости $i = 1,5$ при глубине обработки $a = 0,05$ м длина следа составляет $l_c = 0,08$ м,

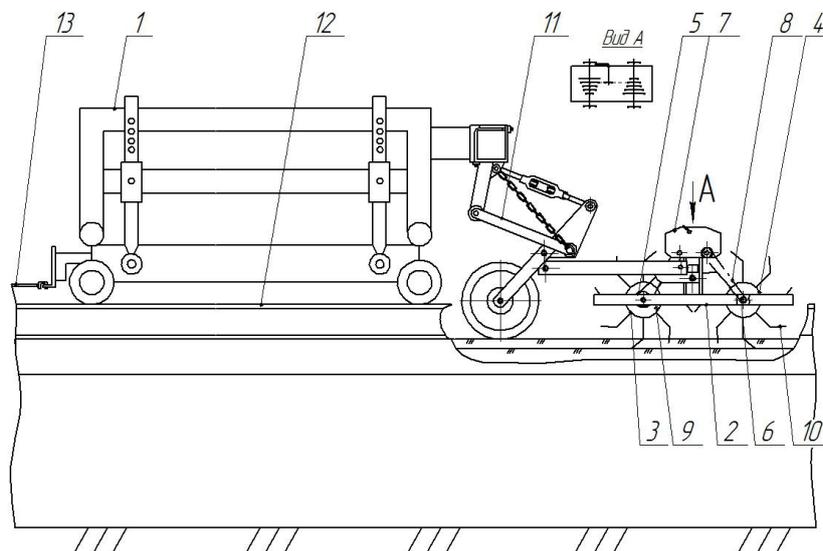


Рис. 5. Схема установки для испытаний в почвенном канале:

1 – универсальный привод; 2 – грядиль; 3, 4 – роторы со скобами; 5, 6 – звездочки цепной передачи; 7 – КПП; 8 – цепь; 9 – барабан; 10 – скоба; 11 – четырехзвенник; 12 – опора привода; 13 – тяговое звено

Fig. 5. Diagram of the installation mounted for testing in a soil channel:

1 – universal drive; 2 – wheel; 3, 4 – rotors with diggers; 5, 6 – chain transmission sprockets; 7 – gearbox; 8 – chain; 9 – drum; 10 – digger; 11 – four-bar linkage; 12 – drive support; 13 – traction link



а



б

Рис. 6. Лезвие скобы при взаимодействии с почвой (а) и след на поверхности почвы после обработки (б)

Fig. 6. Blade digger interacting with the soil (а) and its trace on the soil surface after the interaction (б)

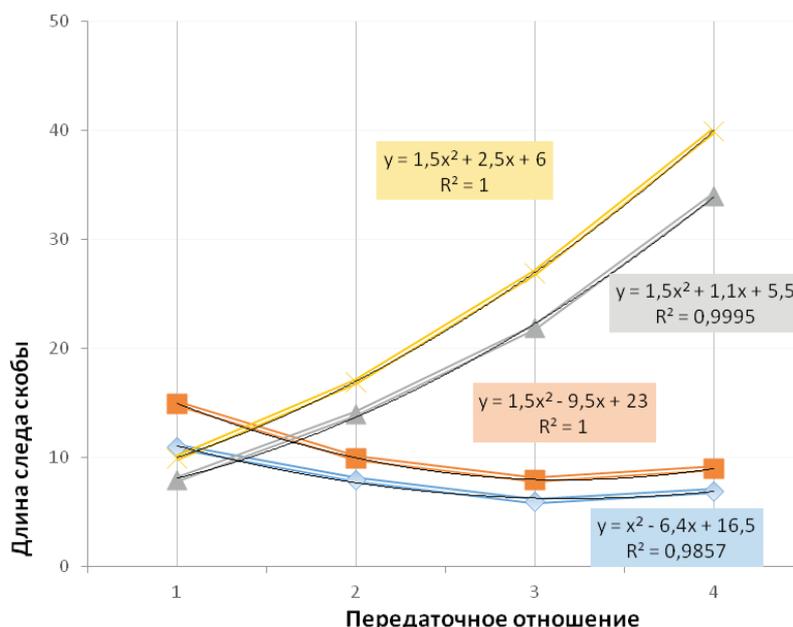


Рис. 7. Изменение длины следа скoby от передаточного отношения и глубины рыхления α :

◇-◇ – задняя скoby при $\alpha = 0,05$ м; □-□ – задняя скoby при $\alpha = 0,1$ м;
 Δ-Δ – передняя скoby при $\alpha = 0,05$ м; ×-× – передняя скoby при $\alpha = 0,1$ м

Fig. 7. Change in the length of the digger track from the gear ratio and the depth of loosening:

◇-◇ – back digger at $\alpha = 0.05$ m; □-□ – back digger at $\alpha = 0.1$ m;
 Δ-Δ – front digger at $\alpha = 0.05$ m; ×-× – front digger at $\alpha = 0.1$ m

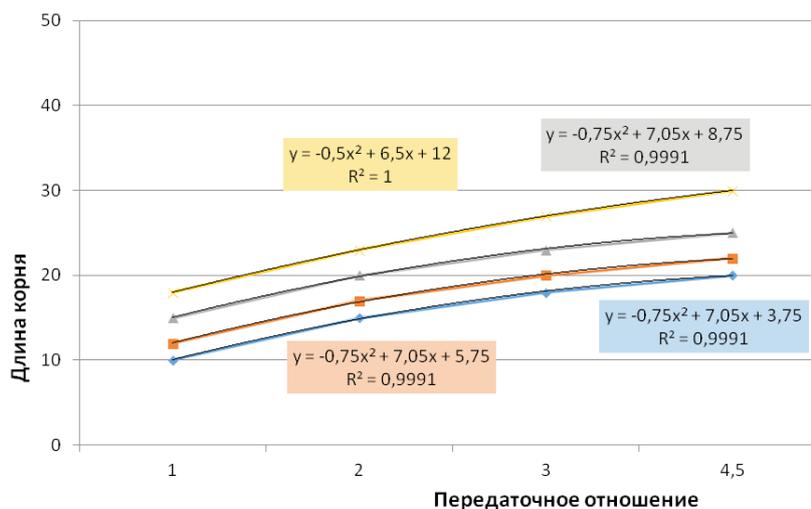


Рис. 8. Зависимость длины извлеченного корня от соотношения скорости и глубины рыхления α :

◇-◇ – задняя скoby при $\alpha = 0,05$ м; □-□ – задняя скoby при $\alpha = 0,1$ м;
 Δ-Δ – передняя скoby при $\alpha = 0,05$ м; ×-× – передняя скoby при $\alpha = 0,1$ м

Fig. 8. Dependence of the length of an extracted root on the ratio between the speed and treatment depth α :

◇-◇ – back digger at $\alpha = 0.05$ m; □-□ – back digger at $\alpha = 0.1$ m;
 Δ-Δ – front digger at $\alpha = 0.05$ m; ×-× – front digger at $\alpha = 0.1$ m

если же $a = 0,1$ м, то $l_c = 0,11$ м. Наибольшее значение l_c достигает при $i = 4,0$ (если $a = 0,05$ м, то $l_c = 0,34$ м, но при $a = 0,1$ м $l_c = 0,4$ м). Повышение передаточного отношения до 4,5 приводит к остановке роторов, что объясняется получением точки экстремума усилий передних и задних скoby. При этом разность усилий между ними меньше, чем реакция сопротивления на каждой скoby.

Длина следов от задних скoby будет изменяться в обратной зависимости, поскольку чем больше передаточное число « i », тем с большей скоростью вращается задний ротор, соответственно отрезок почвы, обрабатываемый одним ножом, будет меньше. При передаточном отношении $i = 1,5$ длина следа при обработке на глубине 0,05 м равна $l_c = 0,1$ м, но при $a = 0,1$ м, $l_c = 0,12$ м увеличение передаточного

числа до 4,0 при $a = 0,05$ м приводит к возрастанию следа до 0,059 м, но на глубине 0,1 м $l_c = 0,087$ м. Далее увеличение « i » до 4,5 не вызывает увеличения отрезков почвы обработанных скобами, но их вращение становится неустойчивым, возникают явления кратковременной остановки задних роторов, пропусков рыхления почвы скобами.

Исходя из анализа полученных результатов по определению длины следов отрезков, обрабатываемых скобами, следует, что передние скобы при передаточном отношении $i = 3,7 \dots 4,0$ способны производить рыхление почвы одной скобой до 0,4 м, задние скобы – до 0,08 м. Следовательно, длина следа, обработанная одной передней скобой, равна 5 отрезкам, обработанным задней скобой. Этот вывод позволяет рассчитать кинематические параметры роторов, а также определить количество скоб.

При определении длины извлеченной корневой части сорняка из почвы влажностью 19,0% обнаружена закономерность: с увеличением передаточного отношения длина извлеченной части возрастает (рис. 8). При работе скоб на глубине 0,05 м с передаточным отношением $i = 1,5$ после прохода передних скоб длина корня составила 0,11 м, после задних скоб – 0,14 м; при глубине 0,1 м – соответственно 0,15 и 0,17 м. С увеличением передаточного отношения до предельного $i = 4,0$ и при заглаблении передней и задней скоб на 0,05 м длина извлеченной части корня составила, соответственно, 0,2 и 0,23 м, но на глубине 0,1 м этот показатель выше: 0,26 и 0,32 м. Отсюда следует вывод

Список источников

1. Быковский Ю.А., Колебошина Т.Г. Технология производства бахчевых // Картофель и овощи. 2016. № 10. С. 11-13. EDN: WTCYPH
2. Соколов А.С., Соколова Г.Ф. Изучение влияния кратности междурядных обработок на засоренность и урожайность дыни в Астраханской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 5 (163). С. 76-81. EDN: XUGFBB
3. Соколов А.С., Байрамбеков Ш.Б., Соколова Г.Ф. Влияние обработки почвы, удобрений, гербицидов на засоренность и урожайность овощных культур в севообороте // Успехи современного естествознания. 2018. № 8. С. 78-84. EDN: XZBNSX
4. Bairambekov S.B., Korneva O.G., Polyakova E.V., Gulyaeva G.V., Sokolov A.S. Agrotechnical and chemical methods of weed control in the vegetable crop rotation link. *Ecology, Environment and Conservation*. 2017;23(3):1684-1690
5. Matasov A.N., Tseplyaev A.N., Ulyanov M.V., Timoschenko V.V., Harlaschin A.V. Analytical determination of technological parameters in the work of a self-driving machine for soil loosening and weeds removing. *The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021;206:1079-1085. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72110-7_119
6. Ключков А.В. Механические и физические методы борьбы с сорняками // Наше сельское хозяйство. 2020. № 15 (239). С. 80-87. EDN: YPXXRG

о том, что наилучшая эффективность для вычесывания корня получена при $i = 4,0$.

Разность длины извлеченного корня между передними и задними скобами на глубине до 0,1 м, равная 0,06 м, объясняется тем, что передняя скоба вычесывает сорняк при воздействии в одной точке и корень извлекается с меньшей глубины, чем задней скобой, где лезвия скоб вызывают многократное воздействие.

Аппроксимация кривых, представленных на графиках, свидетельствует о том, что характер их изменений описан полиномом второй степени. Это подтверждает теоретически полученный результат кинематического параметра работы скоб, равного $\lambda = 2,2 \dots 2,3$.

Выводы

1. Разработанная машина для обработки посевов бахчевых культур от сорняков способна вычесывать корневую систему за счет разности окружных скоростей двух роторов, оснащенных специальными скобами. Передние скобы перемещаются по укороченной циклоиде, задние скобы – по удлиненной.

2. Эффективность обработки почвы зависит от передаточного отношения между передним и задним роторами и глубины обработки.

3. Наилучшие результаты получены при передаточном отношении $i = 4,0$ и глубине обработки до 0,1 м: максимальное значение длины следов отрезков передних скоб составило 0,35 м, задних – 0,08 м; длина корней сорняков, извлеченных на поверхность за счет работы лезвия скобы, составила 0,26...0,32 м.

References

1. Bykovskii Yu.A., Koleboshina T.G. Technology of watermelon crops production. *Potato and Vegetables*. 2016;10:11-13. (In Russ.)
2. Sokolov A.S., Sokolova G.F. The study of the influence of inter-row tillage frequency on weed infestation and yielding capacity of melon in the Astrakhan region. *Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2018;5(163):76-81. (In Russ.)
3. Sokolov A.S., Bairambekov Sh.B., Sokolova G.F. Influence of soil dressing, fertilizers, herbicides upon pollution and yields of vegetable cultures in sawing turnover. *Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya*. 2018;8:78-84. (In Russ.)
4. Bairambekov S.B., Korneva O.G., Polyakova E.V., Gulyaeva G.V., Sokolov A.S. Agrotechnical and chemical methods of weed control in the vegetable crop rotation link. *Ecology, Environment and Conservation*. 2017;23(3):1684-1690
5. Matasov A.N., Tseplyaev A.N., Ulyanov M.V., Timoschenko V.V., Harlaschin A.V. Analytical determination of technological parameters in the work of a self-driving machine for soil loosening and weeds removing. *The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2021;206:1079-1085. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72110-7_119
6. Klochkov A.V. Mechanical and physical methods of weed control. *Nashe Selskoe Khozyaystvo*. 2020;15(239):80-87. (In Russ.)

7. Фетухин И.В., Черненко И.Е. Совершенствование химического метода борьбы с сорняками на подсолнечнике // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 157. С. 206-217. EDN: ZJUKKR

8. Чизельный инерционно-блочный извлекатель сорняков односекционный автоприводный: Патент на полезную модель RU217985 U1, 28.04.2023 / В.А. Цепляев, А.В. Харлашин, А.Н. Матасов, А.Н. Цепляев; заявка № 2023102646 от 06.02.2023. EDN: PGJPLJ

9. Murmu K., Thakur T. Design and development of combined conservation tillage machine with chisellers and clod pulverizing roller. *AMA, Mechanization of agriculture in Asia, Africa and Latin America*. 2019;50 (1):66-72.

10. Алдошин Н.В., Маматов Ф.М., Исмаилов И.И. Средства механизации для обработки почвы в бахчеводстве // Техника и оборудование для села. 2021. № 2 (284). С. 12-15. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-2-12-15>

11. Цепляев В.А. Теоретическое обоснование технологии ухода за посевами бахчевых // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2. С. 314-320. EDN: HJVJEX

12. Ротационное почвообрабатывающее орудие для борьбы с сорняками: Патент на изобретение RU2545648 C1, 10.04.2015 / В.А. Цепляев, А.Н. Цепляев, А.Н. Матасов, А.В. Харлашин; заявка № 2014106035/13 от 18.02.2014. EDN: ALZWNУ

13. Устройство для определения усилия вычесывания сорняков: Патент на изобретение RU2797919 C1, 13.06.2023 / В.А. Цепляев, А.В. Харлашин, А.Н. Матасов, А.А. Карсаков, А.Н. Цепляев; заявка № 2022133774 от 20.12.2022. EDN: MZAFXF

14. Почвенный канал для лабораторных исследований рабочих органов сельскохозяйственных почвообрабатывающих машин: Патент на изобретение RU2768072 C1, 23.03.2022 / В.А. Цепляев, А.Ф. Рогачев, А.А. Карсаков, Р.А. Косильников; заявка № 2021125256 от 25.08.2021. EDN: LGYTYV

Информация об авторе

Виталий Алексеевич Цепляев, канд. техн. наук, доцент, ректор; Волгоградский государственный аграрный университет; Российская Федерация, 400002, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр-т Университетский, 26; volgau@volgau.com, can_volgau@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-9554-1894>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов и несет ответственность за плагиат

Статья поступила 10.03.2024, после рецензирования и доработки 21.03.2024; принята к публикации 22.03.2024

7. Fetyukhin I.V., Chernenko I.E. Improving the chemical method of controlling weeds on sunflower. *Polythematic Online Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University*. 2020;157:206-217. (In Russ.)

8. Tseplyaev V.A., Sharlakhin A.V., Matasov A.N., Tseplyaev A.N. Chisel inertial-block weed extractor single-section automatic. Patent for invention RU217985 U1, 28.04.2023. Application No. 2023102646 dated 06.02.2023. (In Russ.)

9. Murmu K., Thakur T. Design and development of combined conservation tillage machine with chisellers and clod pulverizing roller. *AMA, Mechanization of agriculture in Asia, Africa and Latin America*. 2019;50(1):66-72.

10. Aldoshin N.V., Mamatov F.M., Ismailov I.I. Mechanization means for tillage in melon growing. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021;2(284):12-15. (In Russ.)

11. Tseplyaev V.A. Theoretical justification of the technology of care for melon crops. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2022;2:314-320. (In Russ.)

12. Tseplyaev V.A., Tseplyaev A.N., Matasov A.N., Sharlakhin A.V. Rotary tillage tool for weed control. Patent for invention RU2545648 C1, 04.10.2015. Application No. 2014106035/13 dated 02.18.2014. (In Russ.)

13. Tseplyaev V.A., Sharlakhin A.V., Matasov A.N., Karsakov A.A., Tseplyaev A.N. Device for determining the force of combing weeds. Patent for invention RU2797919 C1, 13.06.2023. Application No. 2022133774 dated 20.12.2022. (In Russ.)

14. Tseplyaev V.A., Rogachev A.V., Karsakov A.A., Kosulnikov R.A. Soil channel for laboratory research of working elements of agricultural tillage machines. Patent for invention RU2768072 C1, 23.03.2022. Application No. 2021125256 dated 25.08.2021. (In Russ.)

Author Information

Vitaly A. Tseplyaev, PhD (Eng), Associate Professor, Rector, Volgograd State Agrarian University; Russia, 400002, Volgograd region, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26; volgau@volgau.com, can_volgau@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-9554-1894>

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests regarding the publication of this article and is individually responsible for plagiarism

Received 10.03.2023; Revised 21.03.2024; Accepted 22.03.2024

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.171:004

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-49-56>

Цифровизация АПК: оценка и перспективы внедрения в аграрном секторе экономики страны

В.Т. Водяников^{1✉}, А.В. Эдер²^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ vvt-5210@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7111-9437>² Alexander.Eder@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2434-7781>

Аннотация. Цифровые технологии в сельском хозяйстве являются актуальными в управлении производственными процессами, при обработке данных, в процессе мониторинга и анализа состояния почвы и растений, обеспечении качества и безопасности продукции. С целью оценки уровня цифровизации и готовности внедрения цифровых технологий в АПК проведен анализ сельскохозяйственных товаропроизводителей 24 регионов из 8 федеральных округов. Первичные данные для оценки уровня цифровизации получены из федеральных и региональных ведомств. Учитывались 6 показателей: совместимость техники, оборудования и устройств с цифровой инфраструктурой; количество оцифрованных сельхозугодий; количество сотрудников предприятий, прошедших цифровое профилирование; количество точек интеграции с IoT-устройством, техникой оборудованием, облачными сервисами; площадь покрытия территорий сельхозпредприятий высокоскоростными сетями; количество сельхозтехники с ИТ-оборудованием. В результате исследований для субъектов РФ с различным уровнем цифровизации даны рекомендации. Для эффективной реализации цифровых технологий субъектам РФ, имеющим низкий уровень цифровизации, следует активно привлекать и грамотно реализовывать государственную поддержку для приобретения современного оборудования и повышения цифровых компетенций. Субъектам с высоким уровнем цифровизации следует уделить внимание подготовке кадров и стимулировать предоставление инвестиций. Субъектам, имеющим средний уровень цифровизации, необходимо сосредоточиться на совершенствовании технической базы и обучении персонала. Для дальнейшего развития цифровизации АПК необходимыми являются финансирование, квалифицированные кадры, компетентные в ИТ-технологиях, отечественные разработки в области цифровых сервисов и платформ, устранение неравномерности распределения ИТ-ресурсов между регионами Российской Федерации.

Ключевые слова: цифровизация, АПК, уровень цифровизации, цифровые технологии, ИТ-решения

Для цитирования: Водяников В.Т., Эдер А.В. Цифровизация АПК: оценка и перспективы внедрения в аграрном секторе экономики страны // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 2. С. 49-56. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-49-56>

ORIGINAL ARTICLE

Assessment and prospects for the digitalization of the agricultural sector of the Russian Economy

V.T. Vodyannikov¹, A.V. Eder²^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia¹ vvt-5210@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7111-9437>² Alexander.Eder@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2434-7781>

Abstract. Digital technologies in agriculture are relevant for managing production processes, data processing, monitoring and analyzing soil and plant conditions, and ensuring the quality and safety of products. To assess the level of digitalization and readiness for implementing digital technologies in agriculture, the authors conducted an analysis of agricultural producers in 24 regions from 8 Federal Districts. Primary data for assessing the level of digitalization were obtained from federal and regional agencies. Six indicators were considered: compatibility of machinery, equipment, and devices with digital infrastructure; number of digitized agricultural lands; number of employees who have undergone digital profile training; number of integration points with IoT devices, equipment,

and cloud services; coverage area of agricultural enterprise areas by high-speed networks; number of agricultural machinery with IT equipment. As a result of the research, recommendations were given for the regions of the Russian Federation with different levels of digitalization. For effective implementation of digital technologies, regions with low levels of digitalization should actively attract and effectively implement state support to acquire modern equipment and improve digital competences. Regions with high levels of digitalization should focus on workforce training and stimulate investment provision. Regions with average levels of digitalization should concentrate on improving technical infrastructure and staff training. Further development of digitalization in agriculture requires proper financing, qualified personnel competent in IT technologies, domestic solutions for digital services and platforms, and the elimination of uneven distribution of IT resources among the regions of the Russian Federation.

Keywords: economic digitalization, agro-industrial sector (AIS), innovation, digital technologies, IT solutions

For citation: Vodyannikov V.T., Eder A.V. Assessment and prospects for the digitalization of the agricultural sector of the Russian Economy. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(2): 49-56. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-49-56>

Введение

Цифровизация процессов производства продукции в агропромышленном комплексе России выступает как компонент технико-технологического перевооружения отрасли. Комплексная модернизация отрасли, замена устаревших технических средств и оборудования на основе цифровых технологий дают возможность трансформации агропромышленного производства и достижения ожидаемых позитивных социально-экономических результатов.

Применение цифровых технологий способствует укреплению взаимодействия сельхозтоваропроизводителей, поставщиков, потребителей и государственных органов и расширяет его. Внедрение электронных платформ и систем электронного документооборота обеспечивает продуктивное взаимодействие, повышая прозрачность и снижая издержки в сельскохозяйственной цепи поставок. Развитие цифровых технологий существенно меняет механизм взаимодействия сельскохозяйственных предприятий с внешней средой, обеспечивается автоматизация и оптимизация производственных процессов, улучшается качество продукции, повышаются производительность труда и эффективность расходования ресурсов.

Для успешной реализации цифровой трансформации АПК необходимы развитая инфраструктура, обеспечение доступа к современным информационным технологиям и повышение квалификации специалистов в области цифровых решений¹. Необходимо активное взаимодействие различных секторов АПК, государственных органов, научных институтов и технологических компаний. Лишь совместными

усилиями можно обеспечить устойчивое и инновационное развитие АПК России.

Цель исследований: анализ тенденций цифровизации процессов производства и реализации продукции АПК в регионах страны и разработка предложений по совершенствованию процессов технико-технологического перевооружения предприятий АПК.

Материалы и методы

С целью оценки уровня цифровизации и готовности внедрения цифровых технологий проведен анализ сельскохозяйственных товаропроизводителей (СХТП). Оценка степени внедрения цифровых технологий в аграрное производство осуществлялась на основе различных показателей: совместимость техники, оборудования и устройств с цифровой инфраструктурой; количество оцифрованных сельхозугодий; количество сотрудников предприятий, прошедших цифровое профилирование обучение; количество точек интеграции с IoT-устройством, техникой, оборудованием, облачными сервисами; площадь покрытия территорий сельхозпредприятий высокоскоростными сетями; количество сельхозтехники с ИТ-оборудованием.

Первичные данные для оценки уровня цифровизации получены из федеральных и региональных ведомств: Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций, Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

Оценка уровня цифровизации агропроизводства в регионах Российской Федерации производилась согласно детальному ранжированному подходу.

Уровень цифровизации сельского хозяйства определялся с учетом особенностей регионального экономического развития, технико-технологического обновления на основе использования цифровых технологий, уровня готовности кадров

¹ Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://government.ru/docs/29004/> (дата обращения: 1.10.2023).

сельскохозяйственных предприятий к внедрению цифровых технологий, наличия цифровых технологий и инфраструктуры для их внедрения в аграрном производстве. При этом ИТ-инфраструктура в федеральных округах и регионах России выражается через количество используемых цифровых решений в агропроизводстве.

Результаты и их обсуждение

Реализация современных фундаментальных и прикладных знаний, цифровых информационных ресурсов способствует производству конкурентоспособной отечественной сельскохозяйственной продукции и формированию новых рынков сбыта. В этом контексте осуществляется модернизация междисциплинарных технических средств и приемов посредством трансфера знаний между научными областями. Примером, иллюстрирующим результаты инновационной деятельности и выявляющим технологические тенденции в индустриальных и постиндустриальных экономиках, служит инновационная волна, известная как К-волна, описывающая 50-летний жизненный цикл Н.Д. Кондратьева [1, 2].

В процессе активного научно-технического прогресса наблюдается рост производительности и технологических инноваций, влияющих на региональную и мировую экономику. Разработка новых цифровых технологий является результатом изменений, сопряженных с особенностями научно-технического прогресса. Чтобы обеспечить перспективное развитие отечественной аграрной экономики, важно учитывать современные отечественные и мировые тенденции, связанные с цифровой трансформацией всех сфер АПК.

Техника объединяет в себе различные методы и приемы воздействия средств на предметы труда. Цифровизация – инструмент аграрного производства, который оказывает всестороннее воздействие на его социальные, экономические и экологические факторы. Цифровые технологии в АПК повышают доходность предприятий на основе качества сельскохозяйственной продукции и снижения единичных расходов ресурсов. Актуальными инструментами служат информационные системы: точное земледелие, искусственный интеллект, интернет вещей (IoT) и пр. С развитием и становлением цифровизации сформировалась лидирующая группа стран по ее использованию: США, Гонконг, Швеция, Дания, Сингапур, Швейцария, Нидерланды, Тайвань, Норвегия, ОАЭ, Финляндия, демонстрирующие высокий темп развития и реализации цифровых технологий в экономику [3].

Управление конкурентоспособным предприятием АПК невозможно без комплексных цифровых решений, способных адаптироваться к стремительно меняющимся требованиям аграрного рынка. Наблюдается общая тенденция перехода от простых к более комплексным информационно-технологическим решениям, представленным в виде взаимосвязанных цифровых платформ, которые объединяют различных участников сельскохозяйственного производства (производитель, дистрибьютор, экспортер, покупатель, государственные и надгосударственные структуры, союзы и др.). Как правило, подобные ИТ-решения включают в себя модули оперативного планирования, управления и контроля, аналитики и построения отчетов, автономного управления и поддержки принятия решений.

Современные ИТ-решения используются лидерами отечественного рынка: ПАО «Черкизово», АПХ «Мираторг», ГК «Агропромкомплектация», ГК «Агроэко», АО фирма «Агрокомплекс имени Н.И. Ткачёва» – для повышения эффективности производства путем повышения его технологичности (табл. 1) [4-6].

Цифровизация производственных процессов АПК сопровождается внедрением цифровых технологий, автоматизацией и роботизацией, минимизацией влияния человеческого фактора. Цифровая трансформация АПК способствует развитию промышленной робототехники, программно-аппаратных комплексов и цифровых производственных систем, повышая эффективность и улучшая управление АПК. В соответствии с распоряжением Правительства РФ № 3971-р от 29 декабря 2021 г. «Стратегическое направление в области цифровой трансформации агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации до 2030 года» предусмотрено внедрение в АПК: беспилотной сельскохозяйственной техники и робототехники; искусственного интеллекта включая машинное обучение и компьютерное зрение; баз и хранилищ для обработки больших данных; моделирования и прогнозирования; цифровых двойников; интернета вещей; сенсоров и маяков с использованием спутникового канала передачи данных; дистанционного зондирования земель; спутниковых систем связи и позиционирования; технологии учета промышленной деятельности для оснащения судов рыбопромыслового флота; беспилотных летательных аппаратов.

Стратегическое направление развития до 2030 года, установленное Указом Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации

на период до 2030 года», предусматривает использование современных отечественных цифровых решений и радиоэлектронной продукции включая системы хранения данных и серверное оборудование, автоматизированные рабочие места, программно-аппаратные комплексы, коммуникационное оборудование и системы видеонаблюдения. В рамках реализации стратегического направления развития принимаются меры для достижения поставленных целей и повышения цифровой зрелости отраслей экономики и социальной сферы. Для укрепления цифровой инфраструктуры и развития цифровой экономики России одним из приоритетов становится увеличение объема инвестиций в отечественные решения в области информационных технологий. При этом цифровая трансформация играет ключевую роль в достижении «цифровой зрелости» в сфере агропромышленного комплекса.

Цифровая трансформация ставит перед собой ряд задач: повышение экономической и физической доступности продукции с использованием цифровых решений; снижение издержек и себестоимости продукции; наличие высококвалифицированных кадров, обладающих цифровыми компетенциями в данной

отрасли; доступ к информации и обеспечение ее полноты и достоверности; повышение качества планирования; сокращение бумажного документооборота и сроков предоставления государственных услуг; борьба с незаконным оборотом продукции.

Внедрение цифровой трансформации АПК может сдерживаться следующими факторами:

1. Зависимость от импортных технологий и цифровых решений. Недостаток отечественных разработок в области цифровых сервисов и платформ способен сформировать зависимость от импортных решений, что создает риски в области безопасности данных и суверенитета.

2. Недостаточное финансирование. Ограниченные объемы финансирования способны замедлить реализацию и развитие цифровых проектов, затруднить внедрение новых технологий и инноваций.

3. Дефицит квалифицированных кадров. Недостаток в сотрудниках, не только владеющих техническими навыками, но и понимающих цифровые технологии и механизм их применения, может замедлить процесс цифровой трансформации.

4. Различия в оценке развития инфраструктуры. Неравномерность развития инфраструктуры между

Преимущества внедрения ИТ-решений на предприятиях АПК на основе опроса руководителей и собственников бизнеса²

Таблица 1

Table 1

Advantages of implementing IT solutions in agro-industrial enterprises based on a survey of managers and business owners

Ценность внедренного ИТ-решения / Value of the implemented IT solution	Соотношение значимости, % Significance ratio, %
Повышение конкурентоспособности / Increasing competitiveness	45
Сокращение издержек на производстве / Reducing production costs	41
Паушальное снижение затрат / Reducing lump-sum cost	40
Повышение общей эффективности за счет оптимизации процессов Increasing overall efficiency through process optimization	38
Общая сквозная интеграция цепочек бизнес-процессов General end-to-end integration of business process chains	36
Снижение простоев за счет своевременного технического обслуживания Reducing downtime through timely maintenance	36
Снижение процента отрицательной обратной связи от клиентов Reducing the percentage of negative feedback from customers	36
Повышение качества и безопасности продукции / Improving product quality and safety	32
Повышение уровня автоматизации и снижения человеческого фактора Increasing the level of automation and reducing the human factor	32
Сокращение времени простоя оборудования и техники Reducing equipment and machinery downtime	32
Оптимизация загрузки оборудования и техники / Optimizing equipment and machinery workload	31
Повышение производительности труда / Increasing productivity	30

² Водяников В.Т., Субаева А.К., Александрова Н.Р., Эдер А.В. Цифровая трансформация агробизнеса: состояние, факторы и направление развития: Монография / Под ред. В.Т. Водяникова. Казань: ООО «45», 2023. 263 с.

регионами Российской Федерации и разные подходы к оценке ее текущего состояния могут создавать препятствия для внедрения цифровых технологий.

До настоящего времени внедрение цифровых технологий в аграрной сфере сосредоточивалось главным образом на отслеживании состояния сельскохозяйственных культур, автоматизации процессов уборки и роботизации в производстве. Однако наступает момент для раскрытия потенциала цифровой трансформации и внедрения совокупных систем точного земледелия, способных собирать информацию и помогать в принятии решений, сопряженных с управлением производственными процессами, оборудованием, техникой и инженерными системами, применяемыми в агрокультурах³.

Внедрение в сельское хозяйство страны цифровых технологий и программ «Эффективный гектар», «Смарт-контракты», «Умные фермы», «Умные поля» открывает перспективу реализации стратегических целей развития отрасли включая удвоение объема экспорта продукции АПК к 2030 г. Для достижения этой цели Министерство сельского хозяйства России реализует ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство», направленный на удвоение общей производительности труда в сельском хозяйстве к 2024 г. Технологии искусственного интеллекта, машинного обучения и анализа больших данных позволят поддерживать принятие решений на всех уровнях ответственности, а также моделировать и прогнозировать развитие отечественного сельского хозяйства.

Внедрение цифровых технологий в сельское хозяйство призвано учесть организационно-экономические и почвенно-климатические особенности каждого региона. Следует установить общие параметры для повсеместной цифровизации в соответствии с региональными условиями, имея в виду анализ агроклиматических зон, рельефа для обработки сельскохозяйственных угодий и методы управления рисками. Оценка уровня цифровизации агропроизводства в регионах Российской Федерации производится согласно ранжированному подходу. В рамках пилотных исследований были выбраны 24 региона из 8 федеральных округов (табл. 2).

Анализ цифрового профиля работников на СХТП по регионам выявил лидеров: Красноярский край, Ульяновская область, Орловская область, Краснодарский край, Республика Татарстан, Республика Башкортостан, Рязанская область, Белгородская область,

³ Водяников В.Т., Субаева А.К., Александрова Н.Р., Эдер А.В. Цифровая трансформация агробизнеса: состояние, факторы и направление развития: Монография / Под ред. В.Т. Водяникова. Казань: ООО «45», 2023. 263 с.

Новосибирская область, Калининградская область, Приморский край. Среди отстающих регионов можно отметить Республику Ингушетию, Астраханскую область, Челябинскую область, Хабаровский край, Чеченскую Республику, Омскую область.

Государство призвано через региональные ведомства организовывать обучение персонала цифровым навыкам для повышения эффективности СХТП и их конкурентоспособности. Для повышения эффективности агропроизводства и перехода к инновационному подходу важен цифровой профиль земель сельскохозяйственного назначения. В этом аспекте выделяются такие лидеры, как Республика Татарстан, Республика Башкортостан, Орловская область, Краснодарский край, Белгородская область, Калининградская область, Рязанская область, Ставропольский край.

Одним из факторов, ограничивающим цифровизацию сельского хозяйства, считается неравенство в использовании цифровых услуг между городским населением и жителями сельских территорий. Решение настоящей проблемы возможно при наличии стабильных каналов связи включая проводные и беспроводные подключения к сети Интернет. В настоящее время лишь 75% сельскохозяйственных предприятий владеют одним каналом доступа к широкополосному интернету. Для достижения значительного прогресса в цифровизации сельского хозяйства к 2030 г. участникам аграрного рынка необходимо предоставить полное интернет-покрытие, что будет способствовать стремлению жителей оставаться в сельских районах и укреплению кадрового потенциала, предоставит доступ к передовым ИТ-решениям, технологиям и услугам включая алгоритмы обработки больших данных, основанные на искусственном интеллекте и машинном обучении.

Одним из показателей готовности сельскохозяйственных территорий к цифровой трансформации служит наличие точек интеграции, ключевым элементом которой является специализированное отечественное оборудование, обеспечивающее автоматическое взаимодействие «Точка-точка», «Устройство-устройство» и «Машина-машина» без участия оператора. Важная роль отводится скорости передачи данных. Необходимы проводные сети с высокой пропускной способностью (>1 Гбит/с), беспроводные сети стандарта 3G-4G и выше (20-100 Мбит/с). В сельской местности в среднем скорость не превышает 40 Мбит/с. Регионами с передовой инфраструктурой являются Калининградская область, Орловская область, Белгородская область, Рязанская область, Новгородская область, Ленинградская область, Республика Татарстан.

Таблица 2

Результаты цифровой трансформации сельского хозяйства по федеральным округам и регионам РФ в 2020 г.⁴

Table 2

Results of the digital transformation of agriculture by Federal Districts and regions of the Russian Federation in 2020

Федеральные округа и субъекты Российской Федерации	Количество сотрудников СХТП, прошедших цифровое профилирование, >5%	Количество оцифрованных сельхозугодий, >30%	Количество совместимой с цифровой инфраструктурой сельхозтехники, >50%	Количество точек интеграции с IoT-устройствами, техникой, оборудованием, облачными сервисами, >5%	Площадь покрытия территорий СХТП высокоскоростными сетями (3G, 4G), >50%	Количество сельхозтехники с ИТ-оборудованием, >10%
Центральный федеральный округ						
Белгородская область	5	45	69	4	70	15
Орловская область	6	48	69	6	71	13
Рязанская область	5	45	60	3	60	9
Северо-Западный федеральный округ						
Калининградская область	5	47	64	8	80	11
Ленинградская область	4	35	67	8	60	8
Новгородская область	3	37	55	2	60	2
Северо-Кавказский федеральный округ						
Республика Ингушетия	2	23	44	4	40	5
Чеченская Республика	1	24	50	2	50	11
Ставропольский край	4	45	58	5	50	5
Южный федеральный округ						
Республика Адыгея	4	22	43	4	52	4
Краснодарский край	6	47	68	6	54	12
Астраханская область	2	44	47	3	53	3
Приволжский федеральный округ						
Республика Башкортостан	6	67	65	6	52	12
Республика Татарстан	6	63	53	5	62	13
Ульяновская область	7	44	56	5	53	13
Уральский федеральный округ						
Свердловская область	4	43	45	5	43	10
Тюменская область	3	34	46	4	44	9
Челябинская область	2	33	54	2	42	6
Сибирский федеральный округ						
Красноярский край	7	44	63	2	52	9
Новосибирская область	5	32	54	2	52	9
Омская область	1	32	46	3	42	8
Дальневосточный федеральный округ						
Амурская область	3	23	46	1	34	4
Приморский край	5	22	44	4	32	5
Хабаровский край	2	22	45	4	30	4

⁴ Водяников В.Т., Субаева А.К., Александрова Н.Р., Эдер А.В. Цифровая трансформация агробизнеса: состояние, факторы и направление развития: Монография / Под ред. В.Т. Водяникова. Казань: ООО «45», 2023. 263 с.

Субъекты РФ – такие, как Архангельская область, Белгородская область и Ульяновская область, проявляют готовность к цифровизации и активно разрабатывают технологическую базу для использования цифровых сервисов. Инсталляция и обновление ИТ-инфраструктуры в субъектах РФ способствуют повышению эффективности сельскохозяйственного труда. Внедрение упомянутых решений оказывает положительное влияние на объемы производства и рентабельность, снижая производственные затраты [7-9].

С целью увеличения доходности СХТП путем внедрения цифровых технологий и обновления их технической, технологической базы необходимо разработать комплекс мероприятий, который должен обеспечить гармоничное взаимодействие ИТ-инноваций в производственных процессах с необходимыми компетенциями и квалификацией специалистов [10, 11].

Выводы

1. Механизмы саморегулирования и государственного регулирования технического переоснащения сельского хозяйства призваны дополнять друг друга, но их текущий масштаб является различным.

2. Обновление агротехнической базы зависит от финансовых возможностей сельскохозяйственных

предприятий и без государственной поддержки происходит медленно, что влияет на воспроизводственные процессы.

3. Переход к цифровой экономике предусматривает наличие квалифицированных сотрудников и непрерывного обучения.

4. Степень цифровой трансформации сельскохозяйственного производства является пропорциональной его экономической активности.

5. Регионам с высоким уровнем цифровизации сельского хозяйства рекомендуется продолжить инвестировать в техническую базу и кадры, дополнительно привлекая как собственные средства, так и принятие государственных поддерживающих мер. Субъектам РФ со средним уровнем цифровизации следует стимулировать техническое обновление, подготовку кадров и расширение доступа к быстрым и беспроводным сетям передачи данных, а также завершить внедрение базовых ИТ-решений. Регионам с низким уровнем цифровизации рекомендуется приобретать цифровое оборудование с помощью грантов и государственной поддержки, обеспечивая его совместное использование с повышением цифровых навыков, что способствует сохранению прибыльности и росту производства.

Список источников

1. Гринин Л.Е. Кондратьевские волны, технологические уклады и теория производственных революций // Кондратьевские волны. 2012. № 1. С. 222-262. EDN: SMYUAP
2. Водяников В.Т. Тенденции совершенствования технических средств и сменяемость технологических укладов производства // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 2. С. 76-80. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-2-76-80>
3. Клюкин А.Д. Современное развитие цифровизации АПК: отечественный и зарубежный опыт // Аграрная экономика. 2022. № 12. С. 72-86. EDN: LOMMYP
4. Савельева М.И. Инвестиции в АПК России. Государственная поддержка для развития бизнеса // Все о мясе. 2017. № 6. С. 8-9. EDN: YLSALO
5. Зверева Г.Н. Роль услуги в социально-экономическом развитии АПК // Региональная экономика: теория и практика. 2013. № 17. С. 27-33. EDN: QACMXL
6. Эдер А.В. Экономическая целесообразность внедрения ИТ-решений на предприятиях пищевой промышленности // Все о мясе. 2018. № 4. С. 26-29. EDN: XWBIRF
7. Эдер А.В., Иванов О.В. Информационные технологии как драйвер цифрового развития экономики АПК РФ // Пищевая промышленность. 2020. № 3. С. 51-53. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10035>
8. Миронова Н.А. Цифровая экономика и цифровые платформы в АПК // Московский экономический журнал. 2019. № 7. С. 181-188. <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-17038> EDN: RIUSAA
9. Водяников В.Т., Эдер А.В. Роль научно-технического прогресса при модернизации АПК в условиях цифровой трансформации // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2023. № 9. С. 64-68. EDN: GUZYNC

References

1. Grinin L.E. Kondratiev waves, technological structures and the theory of industrial revolutions. *Kondratievskie Volny*. 2012;1:222-262. (In Russ.)
2. Vodyannikov V.T. Trends in the improvement of technical means and the replaceability of technological modes of production. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(2):76-80. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-2-76-80>
3. Kliukin A.D. Modern development of digitalization of the agroindustrial complex: domestic and foreign experience. *Agrarnaya Ekonomika*. 2022;12:72-86. (In Russ.)
4. Savelyeva M.I. Investments in the agroindustrial sector of Russia. State support for business development. *Vsyo O Myase*. 2017;6:8-9. (In Russ.)
5. Zvereva G.N. The role of services in the socio-economic development of the agro-industrial complex. *Regional Economics: Theory and Practice*. 2013;17:27-33. (In Russ.)
6. Eder A.V. The economic benefits of IT solutions implementation in the food industry. *Vsyo O Myase*. 2018;4:26-29.
7. Eder A.V., Ivanov O.V. Information technology as a driver of the digital development of the economy of the agro-industrial complex of the Russian Federation. *Food Industry*. 2020;3:51-53. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10035>
8. Mironova N.A. Digital economy and the digital platforms in agriculture. *Moscow Economic Journal*. 2019;7:181-188. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-17038>
9. Vodyannikov V.T., Eder A.V. The role of scientific and technological progress in the process of AIC modernization in the context of digital transformation. *Ekonomika Selskokhozyaystvennykh I Pererabatyvayushchikh Predpriyatiy*. 2023;9:64-68. (In Russ.) <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2023-0-9-64-68>
10. Leushkina V.V. Digitalization of the agro-industrial complex: the main element of increasing competitive innovative development.

10. Леушкина В.В. Цифровизация агропромышленного комплекса: основной элемент повышения конкурентоспособного инновационного развития // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12, № 4. С. 2329-2340. <https://doi.org/10.18334/vinec.12.4.116615>

11. Алтухов А.И., Дудин М.Н., Анищенко А.Н. Цифровая трансформация как технологический прорыв и переход на новый уровень развития агропромышленного сектора России // Продовольственная политика и безопасность. 2020. Т. 7, № 2. С. 81-96. EDN: GQIVJX

Информация об авторах

Владимир Тимофеевич Водяников¹, д-р экон. наук, профессор кафедры организации производства; vvt-5210@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7111-9437>

Александр Владимирович Эдер², канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной информатики, Alexander.Eder@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2434-7781>

^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Статья поступила 11.10.2023, после рецензирования и доработки 15.02.2024; принята к публикации 15.02.2024

Russian Journal of Innovation Economics. 2022;12(4):2329-2340. (In Russ.) <https://doi.org/10.18334/vinec.12.4.116615>

11. Altukhov A.I., Dudin M.N., Anishchenko A.N Digital transformation as a technological breakthrough and transition to a new level of development of the agro-industrial sector of Russia. *Food Policy and Security*. 2020;7(2):81-96. (In Russ.)

Author Information

Vladimir T. Vodyannikov¹, DSc (Econ), Professor; vvt-5210@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7111-9437>

Aleksandr V. Eder², CSc (Eng), Associate Professor; Alexander.Eder@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2434-7781>

^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya Str., Moscow, Russian Federation

Received 11.10.2023; Revised 15.02.2024; Accepted 15.02.2024

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ORIGINAL ARTICLE

УДК 621.892.86:665.1.09: 658.567.5

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-57-64>

Technology for producing anticorrosive materials from fat-containing waste

*S.M. Gaidar*¹, *A.M. Pikina*²✉, *N.A. Sergeeva*³, *O.M. Lapsar*⁴^{1,2,3,4} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ techmash@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>² pikina@rgau-msha.ru✉; <https://orcid.org/0000-0003-0237-0534>³ sergeeva_nat@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>⁴ o.lapsary@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0005-2883-8627>

Abstract. The processing of fat-containing waste from meat-packing enterprises that cannot be landfilled is an urgent problem. The authors developed the technology of processing fat-containing waste in a chemical reactor in one step, without dividing the technology into two steps: triglyceride hydrolysis and fatty acid amide production. The technology for processing fat-containing waste was tested in a laboratory plant. The target product obtained was analyzed using IR spectroscopy. As a result, the structural formula was clarified, functional groups were determined, and chemical intermediates in the synthesis process were identified. The proportions of the reagents were determined: technical fat in the amount of 65.3-72.4 wt%, monoethanolamine – 14.5-17.0 wt% and boric acid – up to 100 wt% of the mixture. The reaction time was 1.5 h. The protective effect was selected as a quality control indicator of the surfactant obtained. Solvent selection was carried out for producing anticorrosive materials. I-20 industrial oil, diesel fuel and SN-150 oil were selected as solvents. Electrochemical studies carried out on the AVTOLAB PGSTAT302N potentiostat-galvanostat made it possible to determine the mechanism of action of the surfactant as a corrosion inhibitor. Its optimum concentration was found to be 15%, with a protective efficiency of 99.33%. To increase the protective anticorrosive efficiency of the surfactant, the tests were carried out in a humidity chamber for 60 days on St3 steel plates. The test results showed high efficiency of the surfactant used as a corrosion inhibitor, with the Z value of more than 90%.

Keywords: technology for processing fat-containing waste, organic synthesis, hydrolysis, surfactants, environmental safety, fatty acids, triglycerides, corrosion inhibitors, protective efficiency

For citation: Gaidar S.M., Pikina A.M., Sergeeva N.A., Lapsar' O.M. Technology for producing anticorrosive materials from fat-containing waste. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(2):57-64. (In Eng.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-57-64>

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Технология производства защитных антикоррозионных материалов из жиросодержащих отходов

*С.М. Гайдар*¹, *А.М. Пикина*²✉, *Н.А. Сергеева*³, *О.М. Лансарь*⁴^{1,2,3,4} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ techmash@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>² pikina@rgau-msha.ru✉; <https://orcid.org/0000-0003-0237-0534>³ sergeeva_nat@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>⁴ o.lapsary@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0005-2883-8627>

Аннотация. Переработка жировых отходов мясоперерабатывающих предприятий, не подлежащих захоронению, является актуальной проблемой. В работе предложена технология переработки жировых отходов, позволяющая в химическом реакторе осуществить синтез продукта в одну стадию, без разделения технологии на два этапа: гидролиза триглицеридов и получения амидов жирных кислот. Технология переработки жиросодержащих отходов была реализована на лабораторной установке. Полученный целевой продукт был проанализирован с использованием ИК-спектроскопии. В результате была уточнена

структурная формула, определены функциональные группы, а также установлены промежуточные химические соединения в процессе синтеза. Установлены соотношения реагентов: технический жир в количестве 65,3...72,4 мас.%, моноэтаноламин – 14,5...17,0 масс.% и борная кислота – до 100 масс.% смеси. Время протекания реакции 1,5 ч. В качестве показателя контроля качества, полученного ПАВ, выбран защитный эффект. Для изготовления защитных материалов от коррозии проведен подбор растворителя. В качестве растворителей выбраны индустриальное масло И-20, дизельное топливо и масло SN-150. Электрохимические исследования, проведенные на потенциостате-гальваностате AVTOLABPGSTAT302N, позволили определить механизм действия ПАВ в качестве ингибитора коррозии. Установлена его оптимальная концентрация в растворе 15% и защитный эффект (защитная эффективность) – 99,33%. Для повышения достоверности результатов защитной антикоррозионной эффективности ПАВ, были проведены испытания в камере влажности в течении 60 суток на металлических пластинах из Ст3. Результаты испытаний показали высокую эффективность ПАВ, используемого в качестве ингибитора коррозии (Z более 90%).

Ключевые слова: технология переработки жиросодержащих отходов, органический синтез, гидролиз, поверхностно-активные вещества, экологическая безопасность, жирные кислоты, триглицериды, ингибиторы коррозии, защитная эффективность

Для цитирования: Гайдар С.М., Пикина А.М., Сергеева Н.А., Лапсарь О.М. Технология производства защитных антикоррозионных материалов из жиросодержащих отходов // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 2. С. 57-64. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-57-64>

Introduction

The efficient processing and utilization of fat-containing waste is an unsolved problem. A significant proportion of the secondary resources generated by the industrial processing of agricultural raw materials are used inefficiently and often end up in landfills or waterways, causing significant environmental damage. Waste water from many meat processing enterprises contains fat emulsions, which are class 4 waste. Flotation treatment of this waste water results in the formation of by-products (fatty foam masses). The decontamination and utilization of this waste is a pressing issue^{1,2,3}. Organic fat-containing waste cannot be landfilled and its incineration is problematic⁴ [1].

From an environmental and economic point of view, it is preferable to use this waste as raw materials for manufacturing secondary products. Thus, the annual processing of 110-115 million tons of agricultural raw materials generates more than 50 million tons of by-products,

which represent a significant reserve for obtaining various types of products⁴ [2, 3].

At present, only large companies collect and process by-products. According to the standards of E.I. Sizenko³ about 1888 thousand tons of by-products can be obtained, but only about 30% of this volume is actually collected. The profitability of industrial enterprises does not exceed 3-4%. With full collection and utilization of by-products the profitability can be tripled.

The transition to low- and zero-waste production cycles will help solve the problems of rational use of natural resources and environmental protection. Scientific developments in the processing of fat-containing waste into biogas, liquid and solid biofuels will solve the problem of environmental safety for companies in the industry⁵.

For example, waste from the meat industry is an expensive renewable raw material for the production of surfactants. Surfactants are mainly synthesized from fatty acids derived from vegetable and animal fats (triglycerides)⁶. Surfactants are used to produce detergents, corrosion inhibitors, emulsifiers, mineral dispersants, lubricating oil additives⁷, etc.

The aim of the research is to develop a technology for the synthesis of surfactants from fat-containing waste from meat processing enterprises, to carry out

¹ Fundamentals of the State Policy in the field of environmental development of the Russian Federation for the period up to 2030. Approved by the President of the Russian Federation on 30.04.2012. [Electronic source]. (In Russ.) <http://www.kremlin.ru/events/president/news/1577>

² Shvanskaya I.A., Konovalenko L. Yu. Use of waste from processing industries in livestock farming: scientific analytical review. Moscow, Russia: FGBNU "Rosinformagrotekh", 2011:96. (In Russ.)

³ Sizenko E.I., Komarov V.I. Secondary raw materials of the food and processing industry of the Russian agro-industrial sector and environmental protection: reference book. Ed. by Sizenko E.I. Moscow, Russia, 1999:68. (In Russ.)

⁴ Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Golubev I.G., Nemenushchaya L.A., Konovalenko L. Yu. Deep processing of agricultural raw materials. Moscow, Russia: FGBNU "Rosinformagrotekh", 2017:164. (In Russ.)

⁵ Slaughter of animals in meat processing plants, meat-packing plants, livestock by-products. ITG 43-2017. (In Russ.)

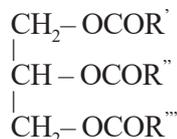
⁶ Zakupra V.A. *Methods of analysis and control in the production of surfactants*. Moscow, Russia: Khimiya, 1977. (In Russ.)

⁷ Abramzon A.A. *Surfactants: properties and applications*. Leningrad, Russia: Khimiya, 1981:304. (In Russ.)

physicochemical analysis of the surfactant obtained and to evaluate its potential use as a corrosion inhibitor.

Materials and methods

Animal fats are esters of the triatomic alcohol glycerol and of higher fatty acids:



Chicken fat obtained from non-food raw materials with quality indicators that are in compliance with GOST 17483-73 is used for producing surfactants.

Triglycerides of animal fats contain saturated and unsaturated fatty acids.

Fatty acids with an even number of carbon atoms, as well as palmitic (C_{16}), stearic and oleic (C_{18}) acids predominate in animal fats⁸.

Ethanolamines (EAs) are products of petrochemical synthesis from ethylene oxide and ammonia and are widely used for producing surfactants⁹. Monoethanolamine (MEA) is used in organic synthesis.

Boric acid (H_3BO_3) was used for producing fatty acid amides¹⁰. The outer shell of boron has three electrons, so in trivalent compounds it does not have a full electron octet and has a great affinity for electron-donor reagents, forming molecular bonds with them, causing B to become tetracoordinated and adopt a tetrahedral configuration. It is known that borates of amino alcohols can act as inhibitors of steel corrosion³. The increase in the protective ability of mono-, di- and triethanolamine borates in comparison with aminoalcohol is apparently due to the formation of a thinner protective film on the metal surface, formed simultaneously by a donor-acceptor mechanism through the OH-group of the aminoalcohol with homosorption of borate ions.

The processing of fat-containing waste from the meat industry consists of two stages. In the first stage it is necessary to solve the problem of separation of fat from water (waste water from catering, meat and dairy industries contains a significant amount of fat components in the emulsified state. In the second stage after hydrolysis of fats (triglycerides), ethanolamides of fatty acids are obtained as a product of condensation of fatty acids with ethanolamine borate.

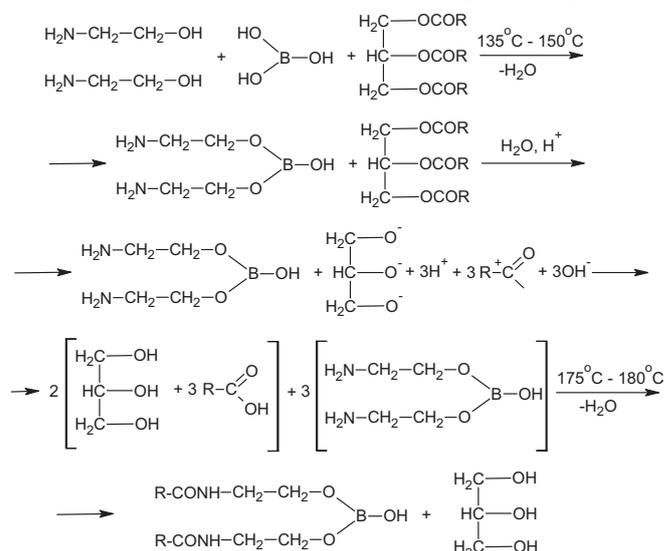
⁸ Tyutyunnikov B.N., Bukhshtab Z.I., Gladkiy F.F. et al. Chemistry of fats. 3rd ed. Rev. and sup. Moscow, Russia: Kolos, 1992:448. (In Russ.)

⁹ Shenfel'd N. Nonionic detergents are products of the addition of ethylene oxide. Moscow, Russia: Khimiya, 1965:488. (In Russ.)

¹⁰ Samsonov G.V., Markovskiy L.YA., Zhigach A.F., Valyashko M.G. Boron, its compounds and alloys. Ed. by G.V. Samsonov. Leningrad, Russia: Khimiya, 1960:215. (In Russ.)

A process of the production of fatty acid amides includes a stage of heating to a temperature of 180°C for 1.5 h of technical fat (TF), monoethanolamine (MEA) and boric acid (BA) at a ratio of technical fat, monoethanolamine and boric acid taken in the ratios: 65.3-72.4:14.5-170:100 wt% [4].

The reaction of hydrolytic cleavage of fat and obtaining of fatty acid amide is carried out according to the algorithm:



First, amino alcohol and boric acid are added to the reactor. The reaction mass is stirred and heated up to 110°C until a homogeneous mixture is formed. Then at the temperature of 135 to 150°C the condensation reaction takes place with the formation of amino alcohol borate and release of water. When triglycerides are introduced into the reactor, steam and boric acid catalyst act simultaneously on the fat. Boric acid provides an active proton which promotes the attachment of water molecules in the process of triglyceride hydrolysis. This results in the hydrolytic cleavage of the triglyceride to form fatty acids and glycerol.

When triglycerides are hydrolyzed, it is the acyl-oxygen bonds that are broken, not the alkyl-oxygen bonds. As a result, H^+ is bound to the alcoholic residue and OH^- to the acyl group [5].

When the temperature of the reaction mass is raised to a temperature of 180°C, a condensation reaction takes place to form fatty acid amides. The final product is a mixture of fatty acid amides and glycerol.

A sample of surfactant was prepared in a laboratory plant. Chemical analysis of the surfactant obtained was carried out by IR spectroscopy¹¹ using a Spectrun Two instrument (PerkinElmer, USA).

The amine number was determined according to the following procedure: 1.0 to 1.2 g of the surfactant

¹¹ Pretsch E., Buklmann F., Affolter K. *Structure Determination of Organic Compounds: Tables of Spectral Data*. Translated from English by Tarasevich B.N. Moscow, Russia: Mir BINOM. Laboratoriya znaniy, 2009:438: il. (Metody v khimii) (In Russ.)

obtained was poured into a 250 ml conical flask, then 35 ml of benzyl alcohol and 5 ml of isopropanol were added. The mixture was stirred until a clear homogeneous mixture was obtained. It was then titrated with a 0.1N solution of HCl in isopropanol to a pH value of 4.0.

The amine number (A , mg HCl/g) was calculated using the following formula:

$$A = 3.65 \cdot V / m,$$

where V is the volume of HCl solution used for the titration, ml; m is the mass of the surfactant, g.

To determine surfactant solubility in hydrocarbons, the aniline point was determined using the ASTM-D611-2016 method. Surfactant solubility was determined as follows: from 5 to 25% of the surfactant was added to 80.0 to 85.0 grams of I-20A mineral oil, SN-150 oil or to diesel fuel (DT). The mixture was heated to 60-70°C with stirring for 30 min, then cooled to room temperature and kept at this temperature for 10 days. The stratification and/or precipitation of the mixture was observed.

The mechanism and efficiency of the anticorrosion protection were determined by electrochemical studies using the AVTOLAB PGSTAT302N potentiostat-galvanostat [6, 7].

The tests in the humidity chamber were carried out continuously for 60 days at a temperature of about 50°C and a relative humidity of 100%. At the same time, the specimens were periodically checked for the presence of corrosion centers on their surfaces.

The effectiveness of the obtained surfactant as a corrosion inhibitor was evaluated according to GOST 9.054-75 (method 1) [8, 9, 10].

Removal of corrosion products was carried out according to GOST 9.907-2007.

The rate of corrosion processes was determined by weighing the plates before and after the tests. The rate of corrosion processes was determined according to the formula:

$$K_c = \frac{\pm \Delta m}{S \cdot \tau},$$

where $\pm \Delta m$ is the change in the mass of the plates during the test, g; S is the square of the plate, m^2 ; τ is the test time, h.

The specimens were weighed after the tests before the removal of corrosion products ($+\Delta m$), and after their removal ($-\Delta m$).

The protective efficiency (Z) was determined according to the formula.

$$Z = \frac{(K_c - K_l)}{K_c} \cdot 100\%,$$

where K_c , K_l are corrosion rates of the control specimen and the specimen preserved with the composition.

Results and discussion

The results of IR spectroscopy of the surfactant are presented in Figure 1.

The analysis of the IR spectroscopy results (Fig. 1) shows that during the amidation process, the intensity of the absorption band at 1619 cm^{-1} is observed, which corresponds to the carbonyl group of tertiary amides in the spectrum of the reaction products.

Simultaneously, absorption intensities of ester groups (1739 and 1074 cm^{-1}) are observed in the spectrum, which can be explained by the parallel formation of amino

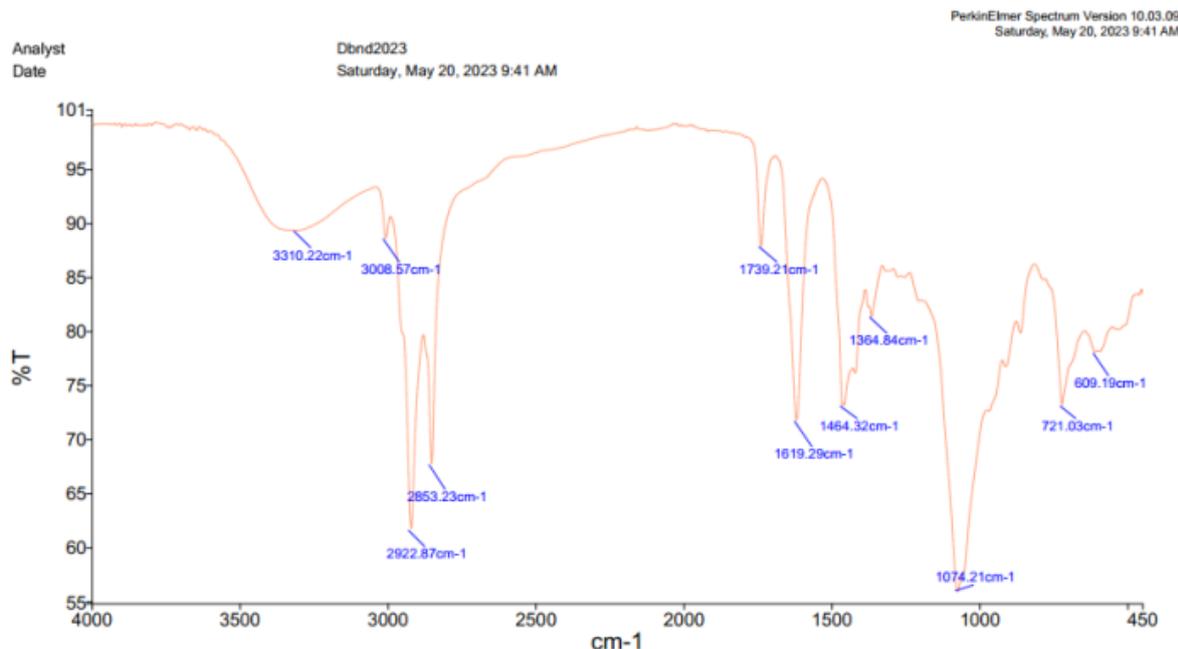


Fig. 1. IR spectroscopy of surfactants

Рис. 1. ИК-спектроскопия ПАВ

esters in equilibrium with amides. Increasing the reaction time at 180 to 200°C does not affect this equilibrium.

It is also noteworthy that the decrease in the absorption intensity of the hydroxyl group band (valence vibrations: -OH = 3274 cm⁻¹, C-OH = 1053 cm⁻¹) occurs practically up to 2.5 h of synthesis.

To determine surfactant solubility in hydrocarbons, the aniline point was determined (Table 1). One of the qualitative indicators of surfactants is the amine number. The results of the determined amine number and surfactant solubility are given in Table 2.

The analysis of Table 2 shows the following:

- increasing the ratio of boric acid to ethanolamine raises the amine number of the resulting surfactants;
- increasing the reaction time reduces the amine number of the surfactants obtained (when the reaction is carried out at 180 to 200°C for one hour, the amine number decreases to 49.2 mg HCl/g).

The process of surfactant dissolution in hydrocarbons shows the following:

- the lower the aniline point of the solvent, the higher the solubility of the surfactant obtained. The solubility of the surfactant decreases in the order: DT>I-20A>SN-150;
- the longer the reaction time, the higher the solubility of the surfactants obtained;
- as the ratio of ethanolamine to triglyceride in the initial reaction mixture increases, the solubility of the obtained surfactants in the solvent decreases;
- increasing the ratio of boric acid to ethanolamine in the initial reaction mixture has no significant

effect on the solubility of the obtained surfactants in the solvent.

It is found that the surfactant at a concentration of 5 to 25 wt% in I-20A mineral oil is an inhibitor of anodic action and ennobles the stationary potential (Fig. 2). The greatest protective effect is observed at the 15% surfactant content in mineral oil (Table 3).

The preservation oil containing surface-active molecules is easily permeable to electrolyte solutions, which enables polarization measurements on metals coated with them. The results are presented in Table 3 and Figure 2.

The effectiveness of the obtained surfactant as a corrosion inhibitor was evaluated in the humidity chamber. The preservation oil was prepared in the following ratio: surfactant – 15%, I-20A oil – 85%. St3 steel plates were used as specimens, three specimens for each test.

The first corrosion centers on the control specimens appeared after 12 hours of testing. The onset of pitting on the specimens preserved with the preservative oil (15% surfactant solution in I-20A oil) was observed after 816 hours (34 days).

After 60 days of testing, the control specimens had 100% corrosion products on the surfaces.

The test results are presented in Figure 3 and Table 4.

Removal of corrosion products was carried out according to GOST 9.907-2007 with a solution (1000 cm³) consisting of 100 g of citric acid, 50 cm³ of sulfuric acid, 2 g of thiourea (distilled water was used as a solvent).

The protective effect of the anticorrosion coating was Z⁺ = 98.78%; Z⁻ = 99.33%.

Aniline point value of solvents according to the ASTM D611-2016 method

Table 1

Значение анилиновой точки растворителей по методу ASTM D611-2016

Таблица 1

Oil solvent	Diesel fuel	Oil I-20A	Oil SN-150
Aniline point	72.1°C	90.3°C	113.8°C

Determination of the amine number and surfactant solubility in hydrocarbons

Table 2

Определение аминного числа и растворимости ПАВ в углеводородах

Таблица 2

No.	Reagent ratio (g/g)			Reaction time at the temperature of 180 to 200°C		Mass of the surfactant obtained, g	Mass of extracted water, g	Amine number, mg HCl/g	Surfactant solubility		
	Technical fat (TF)	Monoethanolamine (EA)	Boric acid (BA)	Obtaining of the clear solution	Reaction time				DT	Oil I-20A	Oil SN-150
1	130	65	6.5	20 min.	1 h	192.3	7.8	47.9	+	+	-
2	130	65	9.75	40 min.	1 h	195.1	9.2	48.1	+	+	+
3	130	65	13	1 h	1 h	194.0	11.2	49.2	+	+	+
4	130	65	16.25	1 h	1 h	196.4	12.4	50.8	+	+	+
5	130	65	19.5	1 h	1 h	195.2	17.9	52.7	+	+	+

Table 3

Results of electrochemical measurements on St3 steel coated with films of I-20A oil with the surfactant in 0.5% solution of NaCl

Таблица 3

Результаты электрохимических измерений на стали Ст. 3, покрытой пленками масла И-20А с ПАВ в 0,5 М растворе NaCl

Studied mixture	Electrode potential ($-E_{cor}$), V	Corrosion current density (i_{cor}), A/m ²	Tafel's cathodic constant (b_k), mV	Tafel's anodic constant (b_a), mV	Corrosion rate ($K_{elc} \cdot 10^{-4}$), kg/m ² h	Protective effect (Z), %
Control specimen	0.47	0.063	100	60	0.670	–
I-20A	0.01	0.018	100	66	0.185	72
I-20A +5% of the surfactant	0.05	0.008	100	100	0.0832	88
I-20A +10% of the surfactant	0.09	0.006	75	85	0.065	90
I-20A +15% of the surfactant	0.08	0.0058	100	100	0.061	91
I-20A +20% of the surfactant	0.04	0.008	75	70	0.083	88
I-20A +25% of the surfactant	0.05	0.025	100	100	0.26	61

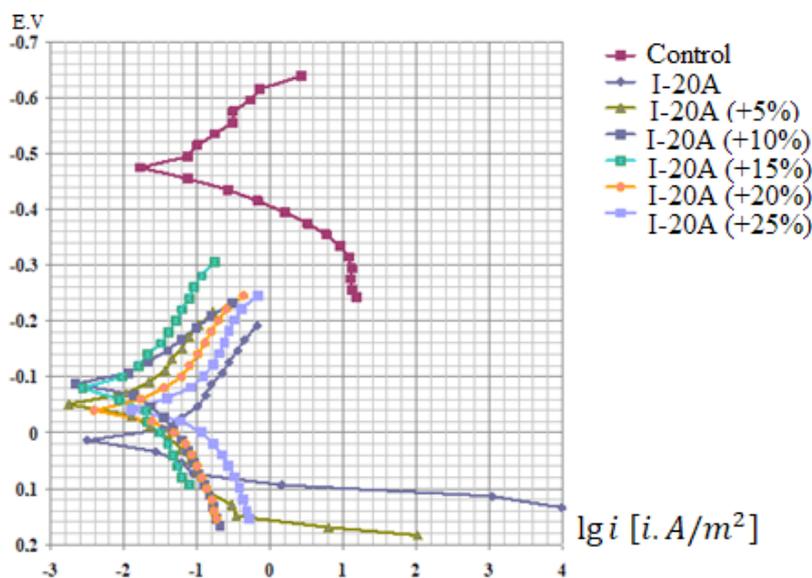


Fig. 2. Polarization curves of St3 steel at surfactant concentration in I-20A:

▲ – 5%; ■ – 10%; ■ – 15%; ● – 20%; ■ – 25%

Рис. 2. Поляризационные кривые на стали Ст3 при концентрации ПАВ в И-20А:

▲ – 5%; ■ – 10%; ■ – 15%; ● – 20%; ■ – 25%

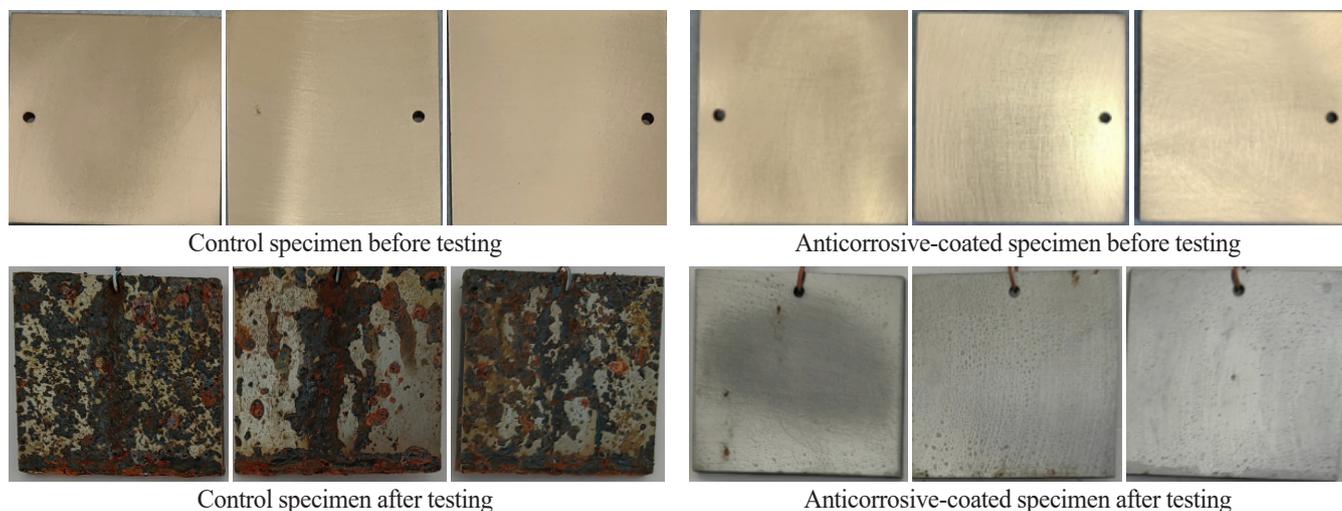


Fig. 3. Test results in the humidity chamber

Рис. 3. Результаты испытаний в камере влажности

Table 4

Results of corrosion tests in the humidity chamber

Таблица 4

Результаты коррозионных испытаний в камере влажности

No. of the specimen*	Mass of the specimen before testing, g	Mass of the specimen after testing, g	Mass of the specimen after removal of corrosion products, g	Change in mass of the specimen after testing, g, $\pm\Delta m$	Protective effect, %
1C	57.1742	57.4382	56.3203	+0.2640 -0.8539	-
2C	57.3145	57.5501	56.4630	+0.2356 -0.8515	
3C	57.3601	57.5741	56.6975	+0.2140 -0.6626	
1I	57.0112	57.0143	57.0057	+0.0031 -0.0055	Z ⁺ = 98.78 Z ⁻ = 99.33
2I	57.3274	57.3317	57.3196	+0.0043 -0.0078	
3I	57.3448	57.3474	57.3389	+0.0026 -0.0059	

* C – control specimen; I – anticorrosive-coated specimen

Conclusions

The production of surfactants from non-food fatty raw materials solves the environmental problem associated with the use of fat-containing waste. The technology developed makes it possible to synthesize the product in one stage in a chemical reactor without dividing

the technology into two stages: hydrolysis of triglycerides and production of fatty acid amides. The obtained non-ionogenic surfactant having good solubility in the I-20A industrial oil is a highly effective anodic corrosion inhibitor. At its optimum concentration in 15% industrial oil, its protective effect is 99.33%.

References

1. Lanensky V.A. The utilization of a waste products on oil&fat plants. *Maslozhirovaya promyshlennost'*. 2008;5:14-16. (In Russ.)
2. Lukin A.A. Basic Directions to Modernize Technological Processes in Oil Industry. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2013;1(1):15-20. (In Russ.)
3. Faivishevsky M.L. The rational use of secondary raw resources of the meat industry and ecological problems of the branch. *International Scientific and Practical Conference Dedicated to the Memory of Vasily M. Gorbato*. 2016;1:314-317. (In Russ.)
4. Gaidar S.M., Konoplev V.E., Lapsar O.M., Balkova T.I., Pikina A.M., Posunko I.A. Method for Producing Mono- and Diethanolamides of Fatty Acids: Patent RU2787477 C1, C07C233/18, C07C231/02, 09.01.2023. (In Russ.)
5. Gaidar S.M., Lapsar O.M. Obtaining an anti-wear additive to lubricants based on fat-containing waste from meat processing enterprises. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(2):41-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-41-45>
6. Huy V.V., Quang H.D., Katolik, A., Dan, N.T., Gaidar S.M. The Development of Corrosion Inhibitor Used in the Automotive Coolant. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2021;94:1577-1584. <https://doi.org/10.1134/S1070427221120028>
7. Gaidar S.M., Karelina M.Y., Quang H.D., Ershov V.S. Production of Effective Water-Soluble Corrosion Inhibitors Based on Amino Alcohols. *Russian Engineering Research*. 2021;41:558-560. <https://doi.org/10.3103/S1068798X21060071>
8. Gaidar S., Karelina M., Quang H. Protection against Atmospheric Corrosion by Means of Coatings Based on a Fluorine-Containing Surfactant. *Key Engineering Materials*. 2022;909:101-107. <https://doi.org/10.4028/p-9b9gl6>

Список источников

1. Ланенцкий В.А. Использование отходов масложировой промышленности // Масложировая промышленность. 2008. № 5. С. 14-17. EDN: JUWFCB
2. Лукин А.А. Основные направления совершенствования технологических процессов в масложировой промышленности // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2013. Т. 1, № 1. С. 15-20. EDN: RQDSYV
3. Файвишевский М.Л. Рациональное использование вторичных сырьевых ресурсов мясной промышленности и экологические проблемы отрасли // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. 2016. № 1. С. 314-317. EDN: XCHVDD
4. Способ получения моно- и диэтаноламидов жирных кислот: Патент RU2787477 C1, C07C233/18, C07C231/02 / С.М. Гайдар, В.Е. Коноплев, О.М. Лапсарь, Т.И. Балкова, А.М. Пикина, И.А. Посунко. Заявка № 2022109878 от 13.04.2022 г., опубл 09.01.2023 г. EDN: BNRHNN
5. Гайдар С.М., Лапсарь О.М. Противоизносная присадка к смазочным материалам, полученная из жиросодержащих отходов мясоперерабатывающих предприятий // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 2. С. 41-45. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-41-45>
6. Huy V.V., Quang H.D., Katolik, A., Dan, N.T., Gaidar S.M. The Development of Corrosion Inhibitor Used in the Automotive Coolant. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2021;94:1577-1584. <https://doi.org/10.1134/S1070427221120028>
7. Gaidar S.M., Karelina M.Y., Quang H.D., Ershov V.S. Production of Effective Water-Soluble Corrosion Inhibitors

9. Karelina M.Y., Gaidar S.M., Quang H.D., Ershov V.S., Ptitsyn D.A. Vehicle Life when Using Corrosion Inhibitors. *Russian Engineering Research*. 2022;42:172-174. <https://doi.org/10.3103/S1068798X22020113>

Based on Amino Alcohols. *Russian Engineering Research*. 2021;41:558-560. <https://doi.org/10.3103/S1068798X21060071>

8. Gaidar S., Karelina M., Quang H. Protection against Atmospheric Corrosion by Means of Coatings Based on a Fluorine-Containing Surfactant. *Key Engineering Materials*. 2022;909:101-107. <https://doi.org/10.4028/p-9b9gl6>

9. Karelina M.Y., Gaidar S.M., Quang H.D., Ershov V.S., Ptitsyn D.A. Vehicle Life when Using Corrosion Inhibitors. *Russian Engineering Research*. 2022;42:172-174. <https://doi.org/10.3103/S1068798X22020113>

Author Information

Sergey M. Gaidar¹, DSc (Eng), Head of the Department techmash@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>
Anna M. Pikina², CSc (Eng), Associate Professor pikina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0237-0534>
Natalya A. Sergeeva³, senior lecturer sergeeva_nat@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>
Oksana M. Lapsar⁴, postgraduate student o.lapsary@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0005-2883-8627>
^{1,2,3,4} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Сведения об авторах

Сергей Михайлович Гайдар¹, д-р техн. наук, заведующий кафедрой; <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>; techmash@rgau-msha.ru
Анна Михайловна Пикина², канд. техн. наук, доцент; pikina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0237-0534>
Наталья Анатольевна Сергеева³, sergeeva_nat@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>
Оксана Михайловна Лапсарь⁴, аспирант; o.lapsary@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0005-2883-8627>
^{1,2,3,4} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

С.М. Гайдар – проведение исследования, руководство исследованием, создание черновика рукописи;
 А.М. Пикина – создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;
 Н.А. Сергеева – перевод рукописи;
 О.М. Лапсарь – проведение исследования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 28.12.2023, после рецензирования и доработки 24.01.2024; принята к публикации 05.02.2024

Author Contribution

S.M. Gaidar – investigation, research supervision, original draft preparation;
 A.M. Pikina – finalizing (reviewing and editing) of the manuscript;
 N.A. Sergeeva – English translation;
 O.M. Lapsar – investigation.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 28.12.2023; Revised 24.01.2024; Accepted 05.02.2024

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 658.562.43

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-65-70>**Инструментальный контроль дефектов коренных опор блока цилиндров****О.А. Леонов¹, В.К. Зимогорский², Ю.Г. Вергазова³, У.Ю. Антонова⁴, Д.О. Леонов⁵**^{1,2,3,4,5} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>² zimogorskij@rgau-msha.ru³ vergazova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7564-7656>⁴ uantonova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>⁵ metr@rgau-msha.ru

Аннотация. При дефектации коренных опор блока цилиндров важно снизить вероятность появления ошибок при контроле, в результате которых деталь может быть неправильно принята или неправильно забракована. Неправильное бракование коренной опоры блока цилиндров слева и справа от границы поля допуска приводит к необходимости замены блока цилиндров. Неправильное принятие опоры по наименьшему размеру может привести к неплотному прилеганию крышки к опоре и вероятному обрыву. Неправильное принятие опоры по наибольшему размеру способствует появлению зазора между вкладышами и последующему их проворачиванию. С целью снижения вероятности появления указанных ошибок при допусковом контроле произведена оценка неправильно принятых и неправильно забракованных коренных опор при дефектации с использованием нутромеров: НИ 100-1600,01; НИ-ПТ160-0,001; НИЦ-ПТ 160-0,002. Произведен анализ 20 блоков цилиндров, в каждом из которых контролю подверглось 5 коренных опор. Рассчитано, что при программе ремонта 1000 двигателей ЯМЗ в год применение НИ-ПТ160-0,001 позволяет снизить потери от неправильного бракования в 2,13 раза и потери от неправильного принятия в 1,88 раза по сравнению с использованием НИ 100-1600,01. Применение НИЦ-ПТ 160-0,002 является нерациональным по причине возможности увеличения потерь (дискретность отсчета в два раза грубее разряда измеряемой величины). Предлагаемую методику можно применять при дефектации других деталей двигателя: например, при контроле внутреннего диаметра гильзы цилиндров и нижней головки шатуна.

Ключевые слова: измерения, контроль, погрешность, неправильно принятые изделия, неправильно забракованные изделия, дефект

Для цитирования: Леонов О.А., Зимогорский В.К., Вергазова Ю.Г., Антонова У.Ю., Леонов Д.О. Инструментальный контроль дефектов коренных опор блока цилиндров // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 2. С. 65-70. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-65-70>

ORIGINAL ARTICLE

Instrumental control of defects in the main bearings of the cylinder block**О.А. Leonov¹, V.K., Zimogorskiy², Yu.G. Vergazova³, U.Yu. Antonova⁴, D.O. Leonov⁵**^{1,2,3,4,5} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>² zimogorskij@rgau-msha.ru³ vergazova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7564-7656>⁴ uantonova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>⁵ metr@rgau-msha.ru

Abstract. When detecting faults in main bearings of the cylinder block, it is important to minimize detection errors that could result in the part being incorrectly accepted or incorrectly rejected. Incorrect rejection of a cylinder block main bearing to the left and right of the tolerance limit will result in the need to replace the cylinder block. Incorrect acceptance of the support according to the smallest size may result in a loose cap-to-support fit and possible breakage. Incorrect acceptance of the support according to the largest size can lead to a gap between the liners and their subsequent play and rotation. In order to reduce the occurrence probability of the mentioned errors during the tolerance control, the authors estimated incorrectly accepted and incorrectly rejected main bearings during

detecting faults with the use of inside calipers: NI 100-1600.01; NI-PT160-0.001; NIC-PT 160-0.002. Twenty cylinder blocks were analyzed, in each of them five main bearings were subjected to control. It is calculated that at the repair program of 1000 YaMZ engines per year the use of NI-PT160-0.001 allows to reduce losses from incorrect rejection in 2.13 times and losses from incorrect acceptance in 1.88 times as compared with the use of NI 100-1600.01. The use of NIC-PT 160-0.002 is irrational because of the possibility of increasing losses (discreteness of counting is twice coarser than the order of the measured value). The proposed methodology can be applied in detecting faults in other engine parts: for example, in checking the inner diameter of the cylinder liner and the big end of the connecting rod.

Keywords: measurements, control, error, incorrectly accepted products, incorrectly rejected products

For citation: Leonov O.A., Zimogorskiy V.K., Vergazova Yu.G., Antonova U.Yu., Leonov D.O. Instrumental control of defects in the main bearings of the cylinder block. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(2):65-70. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-65-70>

Введение

Вопросы, связанные с качеством ремонта отечественной техники для сельского хозяйства, всегда остаются актуальными ввиду ее низкой надежности [1, 2].

Качество процессов контроля широко обсуждается в современной научной литературе в связи с постоянным повышением точности производства [3-6]. Особенно это касается ремонтного производства, где достаточно сложно обеспечить восстановление работоспособности агрегатов по причине изнашивания поверхностей деталей и опорных баз, а также организовать контроль изношенных поверхностей деталей [7, 8].

Важнейшей деталью всех двигателей является блок цилиндров. Это дорогая и технологически сложная в изготовлении деталь, требующая значительной трудоемкости работ по ее дефектации в момент поступления двигателя в ремонт.

Дефектация коренных опор блока цилиндров – это процесс контроля и анализа состояния коренных опор с целью выявления возможных дефектов, износа или повреждений, включающий в себя следующие этапы:

очистка блока цилиндров и коренных опор от загрязнений и масла;

визуальный осмотр поверхностей коренных опор на наличие трещин, сколов, коррозии и других видимых дефектов;

измерение размеров коренных опор в собранном виде;

оценка степени износа коренных опор по сравнению с отклонениями и допусками, установленными в технических условиях на ремонт двигателя;

определение необходимости ремонта или замены блока цилиндров;

составление отчета о результатах дефектации и рекомендации по ремонту коренных опор.

Цель исследований: рассмотреть процесс дефектации коренных опор с позиции вероятности появления при контроле ошибок первого и второго рода.

Материалы и методы

Методика выбора средств измерений и оценки ошибок при допусковом контроле в машиностроительном производстве описана в действующих нормативных документах: ГОСТ 8.051-81 и РД 50-98-86.

Выбор средств измерений при допусковом контроле обеспечивается выполнением условия¹ [9]:

$$\Delta \lim \leq \delta, \quad (1)$$

где $\Delta \lim$ – предельная погрешность средства измерений; δ – допускаемая погрешность измерения.

Выполнение условия выбора средств измерений (1) применимо для машиностроения, но при дефектации оно должно быть ужесточено. Это связано со значительным расширением зоны рассеяния изношенных размеров по отношению к допуску, и контроль при дефектации будет осуществляться не по краям зоны рассеяния размеров, а в ряде случаев – ближе к середине.

При дефектации коренных опор блока цилиндров необходимо применять средства, позволяющие уменьшить потери, возникающие от погрешности измерений, в результате которых коренная опора может быть неправильно принята или неправильно забракована. Ошибка приведет либо к отказу блока по коренной опоре в момент эксплуатации, либо к покупке нового блока взамен старого.

При дефектации блока цилиндров рассмотрена возможность использования средств измерений с меньшей погрешностью и проведено сравнение их характеристик точности с аналоговыми.

Произведен анализ 20 блоков цилиндров, в каждом из которых контролю подверглось 5 коренных опор.

Результаты и их обсуждение

Двигатели ЯМЗ, применяемые в тракторах, комбайнах и сельскохозяйственных машинах, являются ремонтнопригодными. Согласно технической

¹ Шкаруба Н.Ж. Совершенствование метрологического обеспечения ремонтного производства агропромышленного комплекса: Дис. ... д-ра техн. наук. М., 2019. 274 с. EDN QJHJY

документации на ремонт коленчатый вал может обрабатываться под один ремонтный размер, а распределительный вал – под два размера. Но при ремонте двигателя расточку коренных опор блока цилиндров на величину +0,5 мм уже не проводят, и вкладыши такого ремонтного размера отсутствуют в продаже. Параметры дефектации коренных опор блока цилиндров, изложенные в руководстве по ремонту 236.01.01 РК на двигателях ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238 всех комплектаций и исполнений, представлены в таблице 1.

В случае обнаружения одного из дефекта (табл. 1) блок цилиндров выбраковывается и отправляется в лом, а вместо него приобретается новый. Однако эта деталь является дорогой, и необоснованная потеря ее по причине ошибок контроля первого рода (когда годная деталь принимается бракованной) принесет дополнительные затраты предприятию. Ошибки второго рода (когда бракованная деталь принимается годной) также могут нанести ущерб предприятию ввиду отказа двигателя в гарантийный послеремонтный период эксплуатации.

При визуальном контроле и обнаружении первого дефекта (табл. 1) ошибки можно минимизировать, применив тщательную очистку блока цилиндров после разборки специальными моющими средствами и используя лупу для выявления мелких повреждений.

При контроле второго дефекта (табл. 1) ошибки возможны по причине несоответствия допуска размера (21 мкм) и дискретности отсчета нутромера НИ 100-160 со стандартным индикатором часового типа ИЧ-10 (10 мкм). Погрешность измерений может быть еще больше.

Контроль третьего дефекта почти не проводится на ремонтных предприятиях ввиду отсутствия специальных приспособлений. Деформация поверхностей под вкладыши коренных подшипников – это отклонение положения базовых поверхностей коренных опор блока цилиндров (поверхность, на которой устанавливается коренной подшипник коленчатого вала) от номинального или заданного значения. Это отклонение может возникать ввиду износа, механических повреждений, последствий перегрузки и перегрева двигателя, неправильной сборки или производственного дефекта, связанного с материалом опоры. Смещение баз коренных опор может привести к проблемам в работе двигателя включая повышенный износ шеек коленчатого вала, вкладышей и коренных подшипников, нарушение геометрии двигателя, вибрации и снижение мощности. Чаще всего «уходит» одна опора, что приводит к проворачиванию коренного вкладыша. Для решения этой проблемы может потребоваться замена блока цилиндров, коленчатого вала и вкладышей.

Произведем оценку неправильно принятых и неправильно забракованных коренных опор при допусковом контроле во время дефектации при использовании различных средств измерений отверстий. В таблице 2 представлены основные характеристики нутромеров индикаторных: типового НИ 100-160 с головкой ИЧ-10; нутромера индикаторного повышенной точности НИ-ПТ с индикаторной головкой, имеющей цену деления 0,001 мм; НИ-ПТ с цифровой головкой с ценой деления 0,002 мм.

Результаты расчета количества неправильно принятых и неправильно забракованных опор при использовании нутромеров приведены в таблице 3.

Таблица 1
Параметры дефектации коренных опор блока цилиндров двигателя ЯМЗ, обуславливающие их выбраковку

Parameters for defect detection of the main bearings of the YaMZ engine cylinder block

Table 1

Параметр дефектации <i>Defect</i>	Способ выявления-дефекта, средство контроля <i>Defect elimination method and control tools</i>	Размер или параметр, мм / <i>Size or parameter, mm</i>	
		номинальный <i>nominal</i>	предельно допустимый без ремонта <i>maximum size limit without repair</i>
1. Обломы, захватывающие отверстия под вкладыши коренных подшипников <i>Breaks of holes for main bearing shells</i>	Осмотр <i>Inspection</i>	-	-
2. Износ или деформация отверстий под вкладыши коренных подшипников <i>Wear or deformation of the holes for the main bearing shells</i>	Осмотр, нутромер НИ 100-160 <i>Inspection Inside caliper</i>	Ø116 ^{+0,021}	116,021
3. Деформация поверхностей под вкладыши коренных подшипников <i>Wear or deformation of the holes for the main bearing journals</i>	Осмотр, приспособление <i>Inspection Device</i>	Допуск биения осей промежуточных опор относительно крайних <i>Tolerance for runout of the intermediate support axes relative to the outer ones</i>	
		0,025	0,05

Таблица 2

Характеристики индикаторных нутромеров

Table 2

Characteristics of inside calliper

Индикаторный нутромер <i>Measuring instrument</i>	Пределы измерений, мм <i>Measurement limits, mm</i>	Цена деления головки, мм <i>Scale factor of head, mm</i>	Погрешность измерений, мкм <i>Measurement error, μm</i>
1. НИ 100-160 с головкой ИЧ-10 <i>Inside caliper NI 100-160 with a ICh-10head dial indicator</i>	100...160	0,01	±0,014*
2. НИ-ПТ с индикаторной головкой <i>Inside caliper NI-PT with a detecting head</i>		0,001	±0,005
3. НИЦ-ПТ с цифровой головкой <i>Inside caliper NITs-PT with a digital head</i>		0,002	±0,006

*В пределах перемещения измерительного стержня 1 мм. / *Within the measuring rod movement range of 1 mm.

Таблица 3

Результаты расчета количества неправильно принятых и неправильно забракованных опор при использовании нутромеров для контроля коренных опор ЯМЗ

Table 3

Results of calculating the number of incorrectly accepted and incorrectly rejected bearings when using bore gauges to control the main bearings of YaMZ engines

Показатели <i>Indicators</i>	Нутромер / <i>Inside caliper</i>		
	НИ 100-160	НИ-ПТ	НИЦ-ПТ
Цена нутромера, руб. / <i>Price of measuring instrument</i>	7800	30500	28300
Контролируемый размер / <i>Controlled size</i>	Ø116 ^{+0,021}	Ø116 ^{+0,021}	Ø116 ^{+0,021}
Зона рассеяния размеров, мкм / <i>Spread sizes, mkm</i>	56	56	56
Погрешность измерений, мкм* / <i>Measurement error, mkm*</i>	±10	±5	±6
Коэффициент точности измерений, % / <i>Measurement accuracy factor, %</i>	23	12	14
Количество неправильно забракованных опор, % / <i>Number of incorrectly rejected bearings, %</i>	16	7,5	8,5
Количество неправильно принятых опор, % / <i>Number of incorrectly accepted bearings, %</i>	9	4,8	5,6

*В пределах хода измерительного стержня 1 мм. / *Within the measuring rod movement range of 1 mm.

Наиболее рациональным средством измерения является наиболее точный и дорогой нутромер НИ-ПТ (табл. 3).

Неправильное забракование опоры как слева, так и справа от границы поля допуска приводит к замене блока цилиндров. Неправильное принятие опоры по наименьшему размеру может привести к выпутанию вкладышей в постели при заданном усилии затяжки опоры динамометрическим ключом, что грозит неплотным прилеганием крышки к опоре и вероятным обрывом. Неправильное принятие опоры по наибольшему размеру может привести к проворачиванию вкладышей. Неправильное принятие опоры по размеру приводит к необходимости проведения внепланового ремонта двигателя с заменой блока цилиндров на новый.

Результаты расчета потерь при использовании трех видов нутромеров представлены в таблице 4.

Согласно данным таблицы 4 предприятие, ремонтирующее по программе ремонта 1000

двигателей ЯМЗ в год, при дефектации классическим нутромером НИ 100-160 будет нести убытки в виде потерь от неправильно забракованных блоков в размере 9,44 млн руб. и неправильно принятых блоков в размере 2,18 млн руб. (при условии вероятности проявления дефектов 0,25). Применение более точных нутромеров НИ-ПТ и НИЦ-ПТ приводит к значительному снижению вышеназванных потерь, причем стоимость нутромеров несравнима с возможными потерями, которые могут возникнуть по причине неправильного забракования или принятия опор. С другой стороны, использование цифрового нутромера НИЦ-ПТ с дискретностью отсчета 0,002 мм является нерациональным (верхнее отклонение контролируемого размера – 0,021 мм), и сделать заключение о годности по верхней границе не представляется возможным. Ввиду такой дискретности отсчета возникают дополнительные погрешности и ошибки в принятии блока цилиндров.

Таблица 4

Результаты расчета потерь при использовании нутромеров для контроля коренных опор ЯМЗ

Table 4

Results of calculation of losses when using the inside caliper of varying accuracy to control the main bearings of YaMZ engines

Показатели <i>Indicators</i>	Нутромер / <i>Inside calliper</i>		
	НИ 100-160	НИ-ПТ	НИЦ-ПТ
Цена нутромера, руб. / <i>Price of measuring instrument, rub.</i>	7800	30500	28300
Контролируемый размер / <i>Controlled size</i>	$\varnothing 116^{+0,021}$	$\varnothing 116^{+0,021}$	$\varnothing 116^{+0,021}$
Программа производства, шт. / <i>Production program</i>	1000		
Стоимость блока цилиндров, тыс. руб. / <i>Cost of the cylinder block, thousand rub.</i>	295		
Затраты на устранение последствий от принятия бракованного блока, тыс. руб. <i>Costs of eliminating the consequences of accepting a defective unit, thousand rub.</i>	97		
Потери от неправильно забракованных блоков, млн руб. <i>Losses from incorrectly rejected blocks, million rub.</i>	9,44	4,42	5,02
Потери от неправильно принятых блоков, млн руб.* <i>Losses from incorrectly accepted blocks, million rub.*</i>	2,18	1,16	1,36

*При вероятности проявления дефекта 0,25. / *When the probability of defect occurrence is 0.25.

Выводы

При дефектации коренных опор двигателей ЯМЗ рационально использовать индикаторный нутромер НИ-ПТ 160-0,001. Его применение по сравнению с использованием классического нутромера НИ 160-0,01 позволит снизить потери от неправильного забракования в 2,13 раза и потери от неправильного принятия в 1,88 раза. Использование цифрового

нутромера НИЦ-ПТ 160-0,002 является нерациональным ввиду необходимости контроля размера с верхним отклонением 0,021 мм, когда дискретность отсчета в два раза грубее разряда измеряемой величины и возможно увеличение потерь.

Предлагаемую методику можно применять при дефектации других деталей двигателя: например, при контроле внутреннего диаметра гильзы цилиндров, нижней головки шатуна и т.д.

Список источников

1. Ерохин М.Н., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Скороходов Д.М. Производство и ремонт отечественных машин для агропромышленного комплекса с позиции принципа 5М // Вестник машиностроения. 2023. № 8. С. 701-704. EDN: BUMPSG
2. Пастухов А.Г. Расчетная оценка долговечности подшипниковых узлов сельскохозяйственных карданных валов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2023. № 2 (38). С. 25-31. EDN: NGKLNH
3. Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Рулько И.И. Анализ системы технологии контроля качества ремонтного производства // Сельский механизатор. 2020. № 4. С. 38-39. EDN: CMDNRI
4. Чигрик Н.Н. Исследование влияния погрешности средства измерений на параметры разбраковки и точность технологического процесса при измерительном контроле высоты поршневых колец автомобильного двигателя // Омский научный вестник. 2014. № 2 (130). С. 86-92. EDN: SFTRLJ
5. Чигрик Н.Н. Количественная оценка неопределенности случайного рассеивания среднего зазора и натяга в сопряжениях // Омский научный вестник. 2022. № 4 (184). С. 101-111. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2022-184-101-111> EDN: SSGNNN
6. Дорохов А.С., Скороходов Д.М. Контроль геометрических и физико-механических параметров запасных частей сельскохозяйственной техники с использованием автоматизированной измерительной установки // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 122. С. 59-62. EDN: TLHGAI

References

1. Erokhin M.N., Leonov O.A., Shkaruba N.Z., Vergazova Yu.G., Skorokhodov D.M. Production and repair of domestic machines for agroindustrial complexes from the position of the 5M principle. *Vestnik Mashinostroeniya*. 2023;8:701-704. (In Russ.)
2. Pastukhov A.G. Design evaluation of durability of bearing units of agricultural cardan shafts. *Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives*. 2023;2(38):25-31. (In Russ.)
3. Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G., Rulko I.I. Analysis of the system of technology for quality control of repair production. *Selskiy mekhanizator*. 2020;4:38-39. (In Russ.)
4. Chigrik N.N. Research of influence of error of means of measuring of parameters of grading and accuracy of technological process at measuring control of height of piston-rings of the automobile motor engine. *Omsk Scientific Bulletin*. 2014;2(130):86-92. (In Russ.)
5. Chigrik N.N. A quantitative estimate of uncertainty of the random scattering of the average clearance and interference in mating. *Omsk Scientific Bulletin*. 2022;4(184):101-111. (In Russ.) <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2022-184-101-111>
6. Dorokhov A.S., Skorokhodov D.M. Control of geometric and physical-mechanical parameters of spare parts of agricultural machinery using an automated measuring installation. *Proceedings of GOSNITI*. 2016;122:59-62. (In Russ.)
7. Shkaruba N.Zh. Influence of measurement errors on the results of grading during inspection of machine parts. *Traktory i Selkhoz mashiny*. 2016;2:41-43. (In Russ.)

7. Шкаруба Н.Ж. Влияние погрешностей измерения на результаты разбраковки при дефектации деталей машин // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 2. С. 41-43. EDN: VKWHQX

8. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Голиницкий П.В., Антонова У.Ю. Методы и средства контроля качества обработки гильз цилиндров на ремонтных машиностроительных предприятиях // Вестник машиностроения. 2020. № 6. С. 40-45. EDN: WFKNZB

9. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Совершенствование методики проведения микрометража и дефектации шеек коленчатых валов // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2007. № 3-1 (23). С. 81-85. EDN: UBVMON

8. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G., Golitskiy P.V., Antonova U.Yu. Methods and means of quality control of processing of cylinder liners at repair machine-building enterprises. *Vestnik Mashinostroeniya*. 2020;6:40-45. (In Russ.)

9. Shkaruba N.Zh. Improving the methodology for micrometering and defect detection of crankshaft journals. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2007;3-1(23):81-85. (In Russ.)

Информация об авторах

Олег Альбертович Леонов¹, д-р техн. наук, профессор;
oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>;
Scopus Autor ID: 57209748174; Researcher ID: ABC-5873-2020

Владислав Кириллович Зимогорский², ассистент;
zimogorskij@rgau-msha.ru

Юлия Геннадьевна Вергазова³, канд. техн. наук, доцент;
vergazova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7564-7656>;
Scopus Autor ID: 57210258726;
Researcher ID: AAD-5899-2022

Ульяна Юрьевна Антонова⁴, канд. техн. наук, доцент;
uantonova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>;
Scopus Autor ID: 57216809631; Researcher ID: AAD-5690-2022

Дмитрий Олегович Леонов⁵, студент, metr@rgau-msha.ru
^{1,2,3,4,5} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

О.А. Леонов – руководство исследованием; формулирование основной концепции исследования и задач.

В.К. Зимогорский – визуализация данных, описание результатов и формирование выводов исследования.

Ю.Г. Вергазова – верификация данных; разработка программного обеспечения.

У.Ю. Антонова – разработка методологии исследования, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование.

Д.О. Леонов – подготовка начального варианта текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 25.12.2023, после рецензирования и доработки 11.01.2024; принята к публикации 14.03.2024

Author Information

Oleg A. Leonov¹, DSc (Eng), Professor;
oaleonov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>;
Scopus Autor ID: 57209748174; Researcher ID: ABC-5873-2020

Vladislav K. Zimogorskiy², Assistant Professor;
zimogorskij@rgau-msha.ru

Yuliya G. Vergazova³, CSc (Eng), Associate Professor;
vergazova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7564-7656>;
Scopus Autor ID: 57210258726;
Researcher ID: AAD-5899-2022

Uliana Yu. Antonova⁴, CSc (Eng), Associate Professor;
uantonova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>;
Scopus Autor ID: 57216809631; Researcher ID: AAD-5690-2022

Dmitriy O. Leonov⁵, student; metr@rgau-msha.ru
^{1,2,3,4,5} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Author Contribution

O.A. Leonov – research supervision; conceptualization and setting objectives.

V.K. Zimogorskiy – data visualization, description of results and making conclusions.

Y.G. Vergazova – data verification; software development.

U.Yu. Antonova – methodology, finalizing (reviewing and editing) of the manuscript.

D.O. Leonov – original draft preparation

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism

Received 25.12.2023; Revised 11.01.2024; Accepted 14.03.2024

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.317.3:621.317.3:621.313

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-71-77>



Диагностика электротехнических компонентов гидротехнического оборудования: эффективность комплексного подхода

С.Н. Редников¹, В.Ф. Сторчевой²✉, Е.Н. Ахмедьянова³✉, Т.И. Матвеева⁴

^{1,2,3,4} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

¹ srednikov@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3435-7166>; Scopus Autor ID: 57170810400

² v.storchevoy@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-6929-3919>

³ karinlen@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1483-6813>

⁴ timatveeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5598-8189>; Scopus Autor ID: 57226403084

Аннотация. Диагностика электротехнических компонентов гидротехнического оборудования АПК в планируемые интервалы обслуживания при непрерывном анализе остаточного ресурса позволяет снизить затраты на эксплуатацию оборудования. Применение недорогого универсального диагностического оборудования в комплексе с первичным анализом состояния агрегатов позволяет выявлять 60...80% предотказных состояний. С целью возможности и эффективности применения комплексного подхода к первичной диагностике электротехнических компонентов гидротехнического оборудования АПК рассмотрены наиболее распространенные электродвигатели насосных агрегатов, электрогидравлические распределители и коммутационное оборудование. При комплексной диагностике применялись методы с использованием тепловизора, систем обработки вибрационного сигнала и систем контроля токового сигнала. Проводился анализ виброграмм контрольных точек оборудования, методами акустической и вибрационной диагностики оценивалось состояние подшипниковых узлов, кавитационных характеристик насосов, производился поиск утечек гидравлического оборудования, выявлялись зоны пробоя силовых кабелей в соответствии с методическими указаниями по определению места повреждения силовых кабелей напряжением до 10 кВ РД 34.20.516-90. Показано применение методики диагностики состояния объектов с применением термограмм поверхности при типовых дефектах. Приведены параметры токовых сигналов с катушек электромагнитов при неисправности распределительной аппаратуры. Дана сравнительная оценка методов диагностики с расчетным определением эффективности. Установлено, что метод комбинированной диагностики с использованием анализа внешних тепловых полей позволяет в 2 раза сократить время предварительной диагностики неисправностей со стабильным прогнозом времени отказа за 2-3 месяца до критического состояния. Это снижает затраты на выявление отказов агрегатов и упрощает планирование процедур технического обслуживания.

Ключевые слова: диагностика, диагностика электротехнических компонентов гидротехнического оборудования, отказ, анализ виброграмм, тепловизор, контроль токового сигнала, оборудование, насос, электродвигатели

Для цитирования: Редников С.Н., Сторчевой В.Ф., Ахмедьянова Е.Н., Матвеева Т.И. Диагностика электротехнических компонентов гидротехнического оборудования: эффективность комплексного подхода // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 2. С. 71-77. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-71-77>

ORIGINAL PAPER

Diagnostics of electrotechnical components of hydraulic equipment: efficiency of complex approach**S.N. Rednikov¹, V.F. Storchevoy^{2✉}, E.N. Akhmedyanova³, T.I. Matveeva⁴**^{1,2,3,4} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ srednikov@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3435-7166>; Scopus Autor ID: 57170810400² v.storchevoy@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-6929-3919>³ karinlen@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1483-6813>⁴ timatveeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5598-8189>; Scopus Autor ID: 57226403084

Abstract. Diagnostics of electrical components of hydrotechnical equipment used in agricultural production within the planned maintenance intervals with continuous analysis of residual resource is useful for reducing equipment operation costs. The use of inexpensive universal diagnostic equipment in conjunction with primary analysis of the state of units makes it possible to detect 60 to 80% of pre-failure states. To ensure efficient application of complex approach to primary diagnostics of electrical components of hydraulic equipment used in agricultural production, the authors considered the most common electric motors of pumping units, electrohydraulic distributors and switching equipment. Complex diagnostics included the use of a thermal imager, vibration signal processing systems and current signal control systems. The vibrograms of equipment control points were analyzed, the state of bearing units, cavitation characteristics of pumps were assessed by methods of acoustic and vibration diagnostics, hydraulic equipment leaks were searched, power cables breakdown zones were detected in accordance with methodical instructions for determining the breakdowns of power cables with voltage up to 10 kV RD34.20.516-90. The article shows the possibilities of applying the diagnostics methodology based on surface thermograms to determine typical defects. Particularly discussed are the parameters of current signals from the electromagnet coils observed in case of distribution equipment malfunction. The authors give comparative evaluation of diagnostics methods with calculated efficiency determination. It is established that the method of combined diagnostics using the analysis of external thermal fields can halve the time of preliminary diagnostics of faults with a stable forecast of the failure time 2-3 months before the critical state. This reduces the costs for detection of unit failures and simplifies the planning of maintenance procedures.

Keywords: diagnostics, diagnostics of electrical components of hydraulic equipment, failure, vibrogram analysis, thermal imager, current signal control, equipment, pump, electric motors

For citation: Rednikov S.N., Storchevoy V.F., Akhmedyanova E.N., Matveeva T.I. Diagnostics of electrotechnical components of hydraulic equipment: efficiency of complex approach. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(2):71-77. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-71-77>

Введение

Анализ состояния оборудования современных гидротехнических сооружений включает в себя диагностику различного силового оборудования и систем управления. Практика показала, что наиболее часто применяется метод органолептики, основанный на анализе визуальной, тактильной, акустической информации, при котором первичное воздействие воспринимается органами чувств оператора. Этот подход зависит от индивидуальных особенностей восприятия специалиста и приводит к затратам на устранение внезапных отказов.

Для оценки состояния механического оборудования применяются методы диагностики по внешним тепловым полям и вибросигналам. Комплекс методов оценки состояния электротехнического оборудования, широко применяемых в промышленности, позволяет значительно повысить эффективность выявления дефектов [1]. Но для АПК применение этого подхода

не всегда экономически оправдано, поскольку для периодической экспертной диагностики требуется дорогостоящее оборудование. При обследовании электротехнического оборудования для АПК наибольший эффект дает применение недорогого универсального диагностического оборудования в комплексе с первичным анализом состояния агрегатов, что позволяет выявлять от 60 до 80% предотказных состояний [2]

Цель исследований: анализ возможностей и эффективности применения комплексного подхода к первичной диагностике электротехнических компонентов гидротехнического оборудования.

Материалы и методы

Традиционно тепловизионная диагностика осуществляется при сравнении термограмм поверхности объектов с эталоном, предыдущим состоянием или между аналогичными техническими объектами [3]. Достаточно просто выявить неисправности,

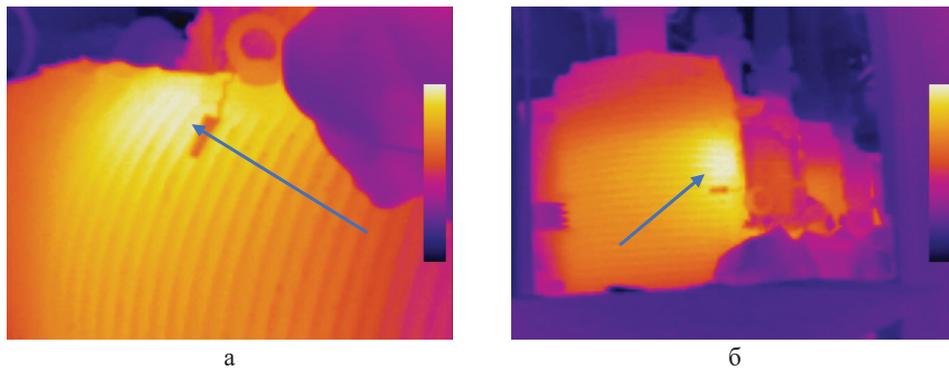


Рис. 1. Тепловизионная диагностика электродвигателей насосных агрегатов:

а – дефект обмотки статора электродвигателя; б – сравнение тепловых полей ряда электродвигателей

Fig. 1. Thermal imaging diagnostics of the electric motors of pump units:

a – defect of the stator winding of the electric motor; b – comparison of thermal fields of a number of electric motors

связанные с повреждением обмоток электродвигателей насосных агрегатов (на рисунке 1 стрелками обозначены зоны межвитковых замыканий) и утечками в гидравлическом силовом оборудовании, а также проблемы контактных зон распределительного оборудования (на рисунке 2 стрелкой выделена зона дефекта).

Тепловизионный контроль широко применяется персоналом, контролирующим электротехническое оборудование [4, 5], при выявлении межвитковых замыканий [6], перегрузок катушек магнитных систем управления, ослабших контактных соединений [7], разбега фаз [8]. Но в более сложных случаях единственный анализ термограмм может затруднить выявление причин наступления неисправного состояния. Решить данную задачу можно, применив перекрестные методы диагностики и анализ объемного распределения температур.

Ранее при анализе термограмм поверхности авторами успешно применялся метод определения объемного распределения температур [5] в двухмерной постановке с коррекцией граничных условий. В зависимости от диапазона изменения температур объекта производилась коррекция коэффициентов теплопроводности элементов многослойной конструкции как функции от температуры. На точность локализации внутренних дефектов оказывают влияние разрешающая способность тепловизора, применяемого для получения термограмм внешних поверхностей, и временные интервалы фиксации полей температур при нестационарном режиме.

Применялась система дифференциальных уравнений в цилиндрической системе координат:

$$\begin{cases} (1-s)\rho_k c_k \frac{\partial t_k}{\partial t} = \alpha_v (T-t) + \lambda_b \left(\frac{\partial^2 t}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial t}{\partial R} \right) \\ (-s)uc_g \frac{\partial T}{\partial x} = a_v (T-t), \end{cases}$$

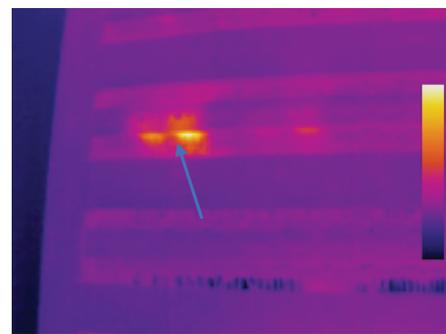


Рис. 2. Термограмма дефекта ослабших клееных соединений в шкафу управления

Fig. 2. Thermogram of the defect of weakened glued joints in the control cabinet

с учетом начальных и граничных условий:

$$\tau = 0, t = t(x, R);$$

$$R = 0, \frac{\partial t}{\partial R} = 0, T = T_g;$$

$$R = R_n, k \cdot (t - t_b) = \lambda_b \left(\frac{\partial t}{\partial R} \right);$$

$$x = H, \frac{\partial t}{\partial x} = 0,$$

где a_v – приведенный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); s – параметр направления теплового потока ($s = 1$ при охлаждении, $s = -1$ при нагреве); ρ_k – плотность материала, кг/м³, c_k – теплоемкость материала, Дж/кг·К; λ_b – теплопроводность, Вт/(м²·К); c_g – теплоемкость газа на границе, Дж/кг·К; k – коэффициент теплоотдачи к окружающей среде; R , R_n – соответственно текущий и наружный радиусы рассматриваемых зон, м; H – линейный размер, м; t – температура материала, К; u – скорость теплоносителя, м/с; t_b – температура окружающей среды, К; T – температура по объему тела, К (T_g – часть массива температур T на границе объекта); τ – время, с.

При комплексной диагностике авторами применялся анализ виброграмм контрольных точек оборудования [1]. Методами акустической и вибрационной диагностики оценивалось состояние подшипниковых узлов, кавитационных характеристик насосов [6], производился поиск утечек гидравлического оборудования, оценивалось состояние электротехнической части силового оборудования: в частности, выявлялись зоны пробоя силовых кабелей в соответствии с методическими указаниями по определению места повреждения силовых кабелей напряжением до 10 кВ РД 34.20.516-90.

Результаты и их обсуждение

После ремонта трехфазного силового электродвигателя [8] традиционными методами (контроль токопотребления, анализ сопротивления обмоток) дефект не был выявлен, но анализ виброграмм электродвигателя выявил аномалию (рис. 3б). Сделано предположение о наличии дефекта крепления стержней ротора. При вскрытии электродвигателя был обнаружен предполагаемый дефект (рис. 3а).

Высокая чувствительность метода затрудняет распознавание спектрограмм при наличии нескольких дефектов разной степени развития и требует высокой квалификации исполнителей, занятых расшифровкой спектра вибрационного сигнала. Комплексное использование нескольких методов оценки состояния позволяет избежать ошибок диагностирования [7]. Использование методов контроля токового сигнала оборудования позволяет значительно упростить выявление дефектов не только электрической части силовых агрегатов [8, 9], но и линейных электромагнитов систем управления. На рисунках 4, 5 представлены записи токовых сигналов, снимаемых с силовых электромагнитов исправного и неисправного электрогидравлических распределителей.

При проведении анализа изменения характера токового сигнала при функционировании электромагнитов распределителей удалось разработать методику выявления неисправностей до момента функционального отказа [6].

Проведение диагностических мероприятий сопровождается затратами [10-12]. Анализ временных затрат диагностических мероприятий приведен в таблице.

Диагностическое мероприятие включает в себя анализ технической документации на объект диагностики, оценку состояния агрегата на основании визуального осмотра, тактильной и акустической информации, непосредственно инструментальное проведение диагностических мероприятий [5]. Оценка состояния агрегата завершается анализом результатов и оценкой времени до оптимального проведения ремонтных мероприятий объекта, подготовкой технического заключения [13]. Использование метода контроля тепловых полей как метода первичной оценки состояния оправдано более чем двукратным снижением затрат времени диагностирования объектов в сравнении с методами вибродиагностики, акустического контроля, методиками, основанными на анализе продуктов износа в рабочих жидкостях [14, 15].

Для оценки эффективности применения того или иного подхода к анализу состояния объекта был получен коэффициент эффективности диагностических мероприятий. Под показателем эффективности использования методов диагностики понимается отношение затрат на проведение диагностических мероприятий с использованием существующих сертифицированных методик [16] к затратам при применении сравниваемой методики комплексной первичной диагностики с коррекцией на вероятность выявляемых дефектов. Результаты расчета коэффициента эффективности диагностических мероприятий [8]

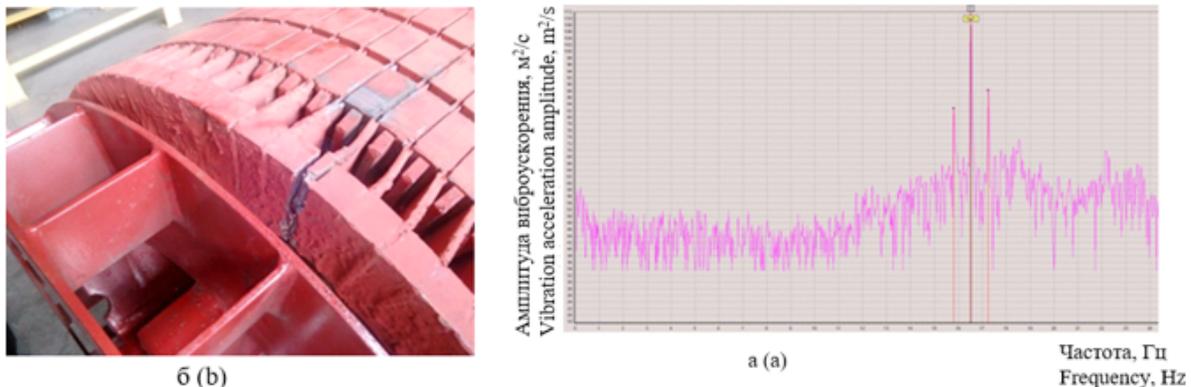


Рис. 3. Дефект зон крепления стержней ротора электродвигателя (а) и спектр вибрационного сигнала электродвигателя (б)
 Fig. 3. Defect of the attachment zones of the rotor rods of the electric motor (a); spectrum of the vibration signal of the electric motor (b)

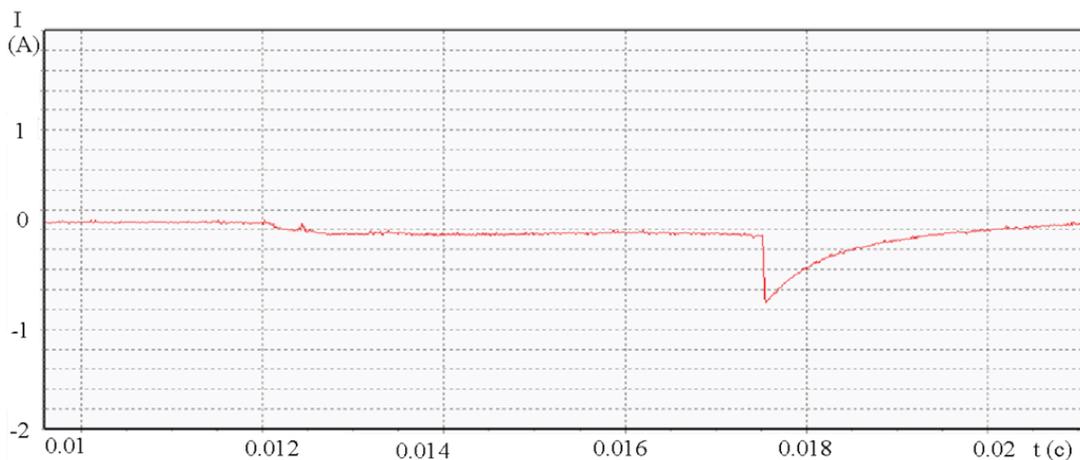


Рис. 4. Работа распределителя при отсутствии предотказного состояния
 Fig. 4. Distributor operation in the absence of a pre-failure condition

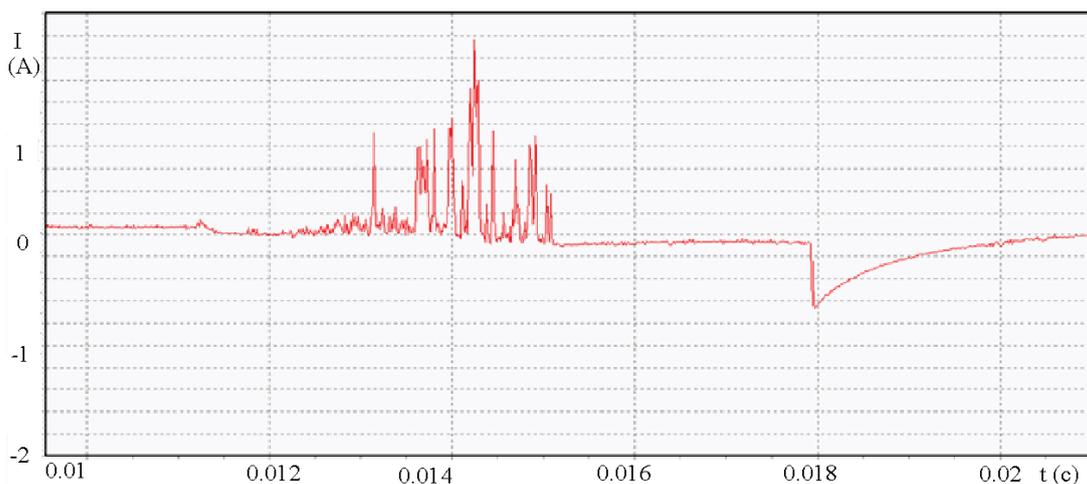


Рис. 5. Токковый сигнал при интенсивном абразивном износе золотника гидравлического распределителя
 Fig. 5. Current signal in case of intensive abrasive wear of the hydraulic distributor spool

Время диагностирования, ч

Таблица

Diagnosis time, h

Table

Затраченное время, ч <i>Diagnosing time, h</i>	Вибро-диагностика <i>Vibration diagnostics</i>	Анализ температурных полей <i>Analysis of temperature fields</i>	Анализ токовых сигналов <i>Analysis of current signal</i>	Анализ состояния смазывающего материала <i>Analysis of the state of lubricants</i>
Работа с технической документацией <i>Working with technical documentation</i>	20,6	20,6	20,6	20,6
Диагностирование / <i>Diagnostic time</i>	10	0,75	7	4
Обработка результатов измерений <i>Processing time of measurement results</i>	10		5	10
Анализ полученных данных <i>Analyzing the received data</i>	8,1		8,1	8,1
Итого / <i>Total</i>	48,7	21,35	40,7	42,7
Норматив / <i>Standard</i>	56,98	24,98	47,62	49,96

с момента постановки диагноза приведены на рисунке 6.

Эффективность диагностических мероприятий и выявляемость дефектов зависят от степени развития дефекта и интенсивности нагружения объекта. Наиболее эффективным является применение предложенного метода за 3 месяца до выхода оборудования из строя. Эффективность метода в этом случае превысила эффективность вибродиагностики почти на 34% ($K_{\text{инт}} = 1,41$, $K_{\text{эв}} = 1,06$).

Выводы

Метод комбинированной диагностики с использованием анализа внешних тепловых полей позволяет в 2 раза сократить время предварительной диагностики неисправностей со стабильным прогнозом времени отказа за 2-3 месяца до критического состояния, что снижает затраты на выявление отказов агрегатов и упрощает планирование процедур технического обслуживания.

Список источников

1. Rednikov S., Akhmedyanova E., Akhmedyanova K., Toymurzin D. Effective diagnostics of metallurgical equipment. Proceedings-2020 Global Smart Industry Conference, GloSIC, 2020. Chelyabinsk, Russia, 2020. Pp. 151-156. <https://doi.org/0.1109/GloSIC50886.2020.9267858>
2. Матвеева Т.И., Редников С.Н. Анализ применения методики экспресс-диагностики насосных агрегатов // Сельский механизатор. 2023. № 6. С. 38-40. EDN: KLDTXQ
3. Макеенко И.П., Семков В.А., Степанов А.А. Совершенствование способов контроля и диагностики электрооборудования // Материалы Национальной научно-практической конференции «Инновационные направления развития в образовании, экономике, технике и технологиях»: Сборник статей. Ставрополь, 2020. С. 297-300. EDN: СВАКРН
4. Редников С.Н., Закиров Д.М., Ахмедьянова Е.Н., Ахмедьянова К.Т. Особенности моделирования и регулировки горелок металлургических агрегатов // Тяжелое машиностроение. 2018. № 10. С. 18-19. EDN: YWLQVN
5. Редников С.Н., Караашев Х.А. Методика оценки режимов работы насосов в системах охлаждения металлургических агрегатов // Тяжелое машиностроение. 2018. № 10. С. 20-23. EDN: VTQSAR
6. Редников С.Н., Ахмедьянова Е.Н., Ахмедьянова К.Т. Использование токовых методов контроля состояния элементов приводов металлургических агрегатов // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 11 (89). С. 27-29. EDN: YURALZ
7. Гареев А.М., Прокофьев А.Б., Рыжкова Ю.П., Стадник Д.М. Прогнозирование остаточного срока службы гидравлического насоса с применением методов машинного обучения // Динамика и виброакустика. 2021. Т. 7, № 3. С. 13-21. <https://doi.org/10.18287/2409-4579-2021-7-3-13-21>
8. Лобур И.А., Негадаев В.А., Гаргаев А.Н., Котляров Р.В. Автоматизированная система диагностики состояния агрегатов с электроприводом // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 3 (161). С. 59-66. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2022-3-59-66>
9. Соколова О.В., Соколов И.С. Устройство для диагностики межвитковых замыканий и дефектов подшипников

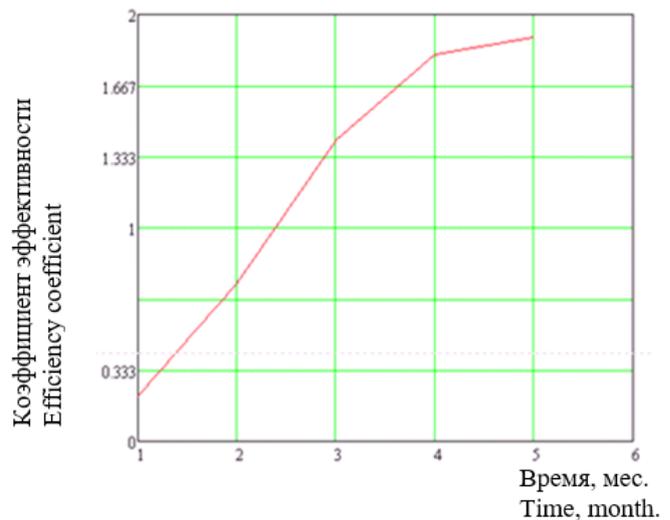


Рис. 6. Результат оценки коэффициента эффективности метода контроля внешних температурных полей

Fig. 6. Evaluation results for the efficiency coefficient of the control method of external temperature fields

References

1. Rednikov S., Akhmedyanova E., Akhmedyanova K., Toymurzin D. Effective diagnostics of metallurgical equipment. Proceedings – 2020 Global Smart Industry Conference, GloSIC2020, Chelyabinsk, Russia, 2020. Pp. 151-156. <https://doi.org/0.1109/GloSIC50886.2020.9267858>
2. Matveeva T.I., Rednikov S.N. Analysis of the application of the method of express diagnostics of pumping units. *Selskiy Mechanizator*. 2023;6:38-40. (In Russ.)
3. Makeenko I.P., Semkov V.A., Stepanov A.A. Improving methods of monitoring and diagnostics of electrical equipment. In: *Innovative trends of development in education, economics, engineering and technology. National Scientific and Practical Conference: collection of papers*. Stavropol, 2020:297-300. (In Russ.)
4. Rednikov S.N., Zakirov D.M., Akhmedyanova E.N., Akhmedyanova K.T. Features of modelling and adjusting of metallurgical units' burners. *Russian Journal of Heavy Machinery*. 2018;10:18-19. (In Russ.)
5. Rednikov S.N., Karaashev H.A. Evaluation method of pump duty in the systems of cooling melting facilities. *Russian Journal of Heavy Machinery*. 2018;10:20-23. (In Russ.)
6. Rednikov S.N., Akhmedyanova E.N., Ahmedyanova K.T. The use of the current control over the state of drive elements of metallurgical units. *Science and Business: Ways of Development*. 2018;11:27. (In Russ.)
7. Gareev A.M., Prokofiev A.B., Ryzhkova Yu.P., Stadnik D.M. Forecasting the residual service life of a hydraulic pump using machine learning methods. *Journal of Dynamics and Vibroacoustics*. 2021;7(3):13-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.18287/2409-4579-2021-7-3-13-21>
8. Lobur I.A., Negadaev V.A., Gargaev A.N., Kotlyarov R.V. Automated system for diagnostics of the state of electric drive units. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2022;3(161):59-66. (In Russ.)
9. Sokolova O.V., Sokolov I.S. A device for diagnostics of turn-to-turn faults and bearings defects of induction electric motors. *Vestnik Gosudarstvennogo Universiteta Morskogo i Rechnogo Flota imeni Admirala S.O. Makarova*. 2019;11(3):592-599. (In Russ.)

асинхронных электродвигателей // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2019. Т. 11, № 3. С. 592-599. EDN: RTEUIU

10. Шакурова Р.З. Разработка надежного и энергоэффективного способа диагностики технического состояния энергетического оборудования // Научному прогрессу – творчество молодых. 2019. № 2. С. 195-197. EDN: CQDRFA

11. Шичёв П.С. Решения по реализации автоматизированных систем технической диагностики электроприводного оборудования // Научно-технический вестник Поволжья. 2022. № 12. С. 279-281. EDN: KURBIQ

12. Старцев А.Э., Шичёв П.С., Канев В.А., Канев В.В. Анализ амплитудных спектров тока и напряжения цепи питания асинхронного электродвигателя при изменении нагрузки на его валу // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2020. Т. 63, № 5. С. 32-39. <https://doi.org/10.17213/0136-3360-2020-5-32-39>

13. Евсюкова В.К., Сысолятина В.В., Герасимов Д.А. Thermal diagnostics of pump motor in conditions of Yakutia // AgroEcoInfo. 2019. № 1 (35). С. 33. EDN: ADZIWF

14. Bashirov M., Nemirovskiy A., Aluynov A., Vyatkina O., Salikhova R. Destruction of electrical insulating structures of electric motors during various drying techniques. *E3S Web of Conferences*. 2020;220:01066. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022001066>

15. Bashirov M.G., Khismatullin A.S., Sirotina E.V. Cooling system oil-immersed transformers with the use of a circulating sulfur hexafluoride. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2020;641LNEE:613-621. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39225-3_67

16. Bashirov M.G., Luneva N.N., Khusnutdinova I.G., Bashirova E.M., Zakharov N.M., Gaziev R.R. Perfecting evaluation methods of energy equipment technical condition and resource based on electromagnetic-acoustic effect. *E3S Web of Conferences*. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES2019. 2019;124:05034. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912405034>

Информация об авторах

Сергей Николаевич Редников¹, д-р техн. наук, доцент; srednikov@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3435-7166>; Scopus Autor ID: 57170810400

Владимир Фёдорович Сторчевой², д-р техн. наук, профессор; v.storchevoy@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-6929-3919>

Елена Наильевна Ахмедьянова³, старший преподаватель; karinlen@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1483-6813>

Татьяна Ивановна Матвеева⁴, канд. техн. наук, доцент; timatveeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5598-8189>; Scopus Autor ID: 57226403084

^{1,2,3,4} ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Российская Федерация

Вклад авторов

С.Н. Редников – руководство исследованием, концептуализация

В.Ф. Сторчевой – методология

Е.Н. Ахмедьянова – проведение исследования, программное обеспечение, верификация данных, формальный анализ

Т.И. Матвеева – администрирование данных, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 07.11.2023, после рецензирования и доработки 19.02.2024, принята к публикации 26.02.2024

10. Shakurova R.Z. Development of a reliable and energy-efficient method for diagnosing the technical condition of power equipment. *Nauchnomu Progressu – Tvorchestvo Molodykh*. 2019;2:195-197. (In Russ.)

11. Shichev P.S. Solutions for the implementation of automated systems for technical diagnostics of electric drive equipment. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*. 2022;12:279-281. (In Russ.)

12. Startsev A.E., Shichev P.S., Kanev V.A., Kanev V.V. Amplitude spectrum analysis of the current and voltage of the asynchronous motor power circuit when changing the load on its shaf. *Russian Electromechanics*. 2020;63(5):32-39. (In Russ.)

13. Evsyukova V.K., Sisyolyatina V.V., Gerasimov D.A. Thermal diagnostics of pump motor in conditions of yakutia. *AgroEcoInfo*. 2019;1(35):33.

14. Bashirov M., Nemirovskiy A., Aluynov A., Vyatkina O., Salikhova R. Destruction of electrical insulating structures of electric motors during various drying techniques. *E3S Web of Conferences*. 2020;220:01066. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022001066>

15. Bashirov M.G., Khismatullin A.S., Sirotina E.V. Cooling system oil-immersed transformers with the use of a circulating sulfur hexafluoride. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2020;641LNEE:613-621. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39225-3_67

16. Bashirov M.G., Luneva N.N., Khusnutdinova I.G., Bashirova E.M., Zakharov N.M., Gaziev R.R. Perfecting evaluation methods of energy equipment technical condition and resource based on electromagnetic-acoustic effect. *E3S Web of Conferences*. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES2019. 2019;124:05034. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912405034>

Author Information

Sergei N. Rednikov¹, DSc (Eng), Associate Professor, srednikov@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-3435-7166>; Scopus Autor ID: 57170810400

Vladimir F. Storchevoy², DSc (Eng), Professor, v.storchevoy@rgau-msha.ru

Elena N. Akhmedyanova³, senior lecturer; karinlen@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1483-6813>

Tatiana I. Matveeva⁴, CSc (Eng), Associate Professor, timatveeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5598-8189>; Scopus Autor ID: 57226403084

^{1,2,3,4} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

Author Contribution

S.N. Rednikov – research supervision, conceptualization

V.F. Storcheva – methodology

E.N. Akhmedyanova – research, software, data verification, formal analysis

T.I. Matveeva – data curation, original draft preparation and editing

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 07.11.2023; Revised 19.02.2024; Accepted 26.02.2024.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 378.126:371.14

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-78-85>**Анализ несчастных случаев в электросетевых компаниях***А.В. Виноградов¹✉, А.В. Хименко², А.А. Лансберг³*¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия¹ winaleksandr@gmail.com² avmkh87@gmail.com³ lansbergaa@vk.com; <https://orcid.org/0000-0002-2834-6092>

Аннотация. Проблема возникновения несчастных случаев при эксплуатации объектов электроэнергетики является актуальной на протяжении длительного времени. Анализ несчастных случаев позволяет разработать мероприятия по повышению производственной безопасности на объектах агропромышленного комплекса и электрических сетях, осуществляющих электроснабжение сельскохозяйственных объектов и предприятий. С этой целью рассмотрены несчастные случаи, произошедшие в электросетевых компаниях Российской Федерации за 2014-2022 гг. Для проведения исследований использовались данные ПАО «Россети» о несчастных случаях в электросетевых компаниях из программного комплекса Synergy Center. В программу вносились данные по расследованию несчастных случаев по форме № 1 согласно приказу Минтруда России от 20 апреля 2022 г. № 223. В программный комплекс внесен 191 несчастный случай, в котором пострадали 200 чел. за период 2014-2022 гг. В результате анализа выявлено 58% случаев летального исхода. Наиболее частым поражающим фактором, ставшим причиной 65 несчастных случаев (34%), является пробой диэлектрического воздушного промежутка вследствие нарушения допустимого расстояния до токоведущих частей оперативным персоналом электросетевых компаний. Причиной возникновения 53 несчастных случаев (28%) являлось нарушение правил охраны труда при работе с электроустановками. Максимальное количество несчастных случаев происходило с 08:00 до 16:00 в периоды март-май и июль-август. Из 191 пострадавших сотрудников 114 чел. (57%) – это оперативный персонал (электромонтеры), из них 108 чел. (54%) имели стаж работы от 3 до 10 лет. Сделаны выводы о необходимости внедрения устройств сигнализации и блокировки обратной трансформации, повышения квалификации персонала и обучения его с помощью технологии виртуальной реальности на цифровых двойниках электросетевых объектов. Предложенные организационные и технические мероприятия позволят снизить количество несчастных случаев в электросетевых компаниях Российской Федерации.

Ключевые слова: анализ несчастных случаев, несчастный случай, ПАО «Россети», оперативный персонал, электромонтер, пробой диэлектрического воздушного промежутка, нарушение правил охраны труда

Для цитирования: Виноградов А.В., Хименко А.В., Лансберг А.А. Анализ несчастных случаев в электросетевых компаниях // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 2. С. 78-85. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-78-85>

ORIGINAL ARTICLE

Accident analysis in electric grid companies*A. V. Vinogradov¹✉, A. V. Khimeko², A. A. Lansberg³*¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia¹ winaleksandr@gmail.com² avmkh87@gmail.com³ lansbergaa@vk.com; <https://orcid.org/0000-0002-2834-6092>

Abstract. The problem of accidents occurring during the operation of electric power facilities has remained relevant for a long time. The analysis of accidents makes it possible to develop measures to improve industrial safety at agricultural facilities and electrical networks that supply electricity to agricultural facilities and enterprises. For this purpose, the authors considered accidents that occurred in power grid companies of the Russian

Federation in 2014-2022. To conduct the research, they used data from Rosseti PJSC on accidents in power grid companies obtained with the Synergy Center software package. The program included data on the investigation of accidents in Form No. 1 in accordance with the order of the Russian Ministry of Labor dated April 20, 2022, No.223. The software package included 191 accidents, in which 200 people were injured for the period between 2014 and 2022. The analysis revealed 58% of fatal outcomes. The most common damaging factor, which caused 65 accidents (34%), is a breakdown of the dielectric air gap due to violation of the permissible distance to live parts by operational personnel of electric grid companies. The cause of 53 accidents (28%) was the violation of labor safety rules when working with electrical installations. The maximum number of accidents occurred from 8 am to 4 pm during the periods March-May and July-August. Of the 191 injured employees, 114 were (57%) operational personnel (electricians), 108 of them (54%) having work experience from 3 to 10 years. Conclusions are drawn about the need to introduce signaling devices and reverse transformation blocking, improve the qualifications of personnel and train them using virtual reality technology on digital twins of power grid facilities. The proposed organizational and technical measures will reduce the number of accidents in power grid companies in the Russian Federation.

Key words: accident analysis, accident, Rosseti PJSC, operating personnel, electrician, breakdown of the dielectric air gap, violation of labor protection rules

For citation: Vinogradov A.V., Khimeko A.V., Lansberg A.A. Accident analysis in electric grid companies. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(2):78-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-78-85>.

Введение

Анализ аварийности и травматизма на предприятиях электроэнергетики Российской Федерации за 2012-2017 гг. показал, что наибольшее количество аварий происходило в генерирующих компаниях на объектах ПАО «ОГК-2» и ПАО «Т Плюс» (ежегодно – от 300 до 700) [1]. В электросетевых компаниях на объектах выше 110 кВ наибольшее количество аварий зафиксировано на объектах ПАО «Россети Центр», «Россети Сибирь», «Россети Волга» (от 1000 до 1500). С 2012 по 2017 гг. на генерирующих объектах ежегодно происходило не менее 80 несчастных случаев, на электросетевых объектах – не менее 60. Наиболее частыми поражающими факторами стали дорожно-транспортные происшествия, падение пострадавших во время работы с высоты и поражение электрической дугой. В основном несчастные случаи происходили с персоналом в возрасте 30-59 лет. Наиболее подверженная риску группа работников, с которыми ежегодно происходило от 40 до 100 несчастных случаев, имела стаж работы более 10 лет.

За 1998-2016 гг. в электросетевых компаниях России зафиксировано 34 несчастных случая от наведенного напряжения, из них 13 случаев произошло на воздушных линиях электропередачи 110 кВ [2]. Основными причинами поражения стали ошибочные действия с переносным заземлением (12 случаев) и прикосновение к проводу или грозозащитному тросу, находящемуся под наведенным напряжением (11 случаев).

На предприятиях энергетики наиболее подверженная риску группа работников – это оперативный

персонал в возрасте от 25 до 39 лет со стажем работы более 10 лет [3].

Анализ 98 несчастных случаев на ОАО «Южно-Кузбасская ГРЭС» за 1978-2010 гг. показал, что из всех несчастных случаев наиболее частыми причинами травматизма стали нарушение персоналом требований правил и норм (31,65%), неудовлетворительная организация безопасного выполнения работ (20,25%), неосторожность пострадавшего (19%) [4]. Оперативный персонал отличается наибольшим количеством пострадавших (21 слесарь, 10 электрогазосварщиков, 7 электрослесарей).

В электроэнергетике в период 2010-2014 гг. 37% несчастных случаев происходило при выполнении ремонтно-восстановительных работ [5]. Причиной 20,7% случаев являлась неудовлетворительная организация безопасного выполнения работ, а в 19,2% случаев было нарушение инструкций по эксплуатации.

С 2001 по 2005 гг. на предприятиях электроэнергетики выявлено 2529 несчастных случаев, из которых 70% были со смертельным исходом. Максимальное количество несчастных случаев (896) зафиксировано на воздушных линиях электропередачи. Поражающим фактором в 2430 случаях стало воздействие электрической дуги, в 113 случаях – пар или горячая вода. Среди пострадавших 856 чел. находились в должности электромонтера, 592 чел. – в должности оперативного персонала, 4 группу допуска по электробезопасности имели 516 чел. Причиной 26% несчастных случаев стали ошибочные действия оперативного персонала. Наибольшее количество несчастных случаев (522) происходило с 9:00 до 11:00 [6, 7].

Анализу несчастных случаев в электроэнергетике посвящено большое количество работ также зарубежных авторов и специалистов [8-11].

В электроэнергетических компаниях Греции с 1983 по 1996 гг. ежегодно происходило от 373 до 560 несчастных случаев. Выявлено, что 78,57% случаев произошло в электросетевых компаниях. При этом 80% пострадавших имели должности оперативного персонала. Порядка 60% пострадавших были в возрасте от 31 до 45 лет, а наиболее подверженная риску группа сотрудников работала в компании в течение 6-10 лет (35,71% пострадавших). Максимальное количество несчастных случаев произошло в среду (24,11%), при этом в течение суток 36,61% несчастных случаев произошло в период с 11:00 до 13:00. Наиболее частыми их причинами стали нарушение правил охраны труда (18,84% от общего количества несчастных случаев) и неудовлетворительная организация безопасного выполнения работ (22,49%) [12].

Цель исследований: анализ несчастных случаев в электросетевых компаниях Российской Федерации, произошедших с 2014 по 2022 гг.

Материалы и методы

Для проведения исследований использованы данные ПАО «Россети» по несчастным случаям в электросетевых компаниях из программного комплекса Synergy Center. В программу вносились данные о расследовании несчастных случаев по форме № 1 согласно приказу Минтруда России от 20 апреля 2022 г. № 223 «Об утверждении Положения об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях, форм документов, соответствующих классификаторов, необходимых для расследования несчастных случаев на производстве». Всего в программный комплекс был внесен 191 несчастный случай, произошедший с 2014 по 2022 гг., с 200 чел. пострадавшими.

Распределение несчастных случаев, внесенных в программный комплекс Synergy Center, по дочерним зависимым обществам компании ПАО «Россети» представлено в таблице.

Согласно данным, представленным в таблице 1, за рассматриваемый период наибольшее количество несчастных случаев (28) произошло в электросетевой организации ПАО «Россети Центр».

В исследованиях все несчастные случаи анализировались по нескольким критериям: тяжесть исхода; месяц и время происшествия; причины возникновения; объект возникновения; вид выполняемых работ и поражающего фактора; должность, разряд, группа электробезопасности и стаж работы пострадавшего.

Таблица

Распределение количества проанализированных несчастных случаев по дочерним зависимым обществам ПАО «Россети» за 2014-2022 гг.

Table 1

Distribution of the number of analyzed accidents among subsidiaries and dependent companies of PJSC Rosseti for 2014-2022

№ п/п	Дочернее зависимое общество	Количество, ед.
1	АО «Дагестанская сетевая компания»	2
2	АО «Чеченэнерго»	1
3	АО «Янтарьэнерго»	1
4	ПАО «Россети Волга»	10
5	ПАО «Россети Кубань»	10
6	ПАО «Россети Ленэнерго»	13
7	ПАО «Россети Московский регион»	11
8	ПАО «Россети Северный Кавказ»	9
9	ПАО «Россети Северо-Запад»	18
10	ПАО «Россети Сибирь»	21
11	ПАО «Россети Тюмень»	7
12	ПАО «Россети Урал»	18
13	ПАО «Россети Центр и Приволжье»	14
14	ПАО «Россети Центр»	28
15	ПАО «Россети Юг»	6
16	ПАО «ТРК»	2
17	ПАО «ФСК ЕЭС»	20
	Всего	191

Результаты и их обсуждение

За 2014-2022 гг. в дочерних зависимых обществах ПАО «Россети» произошел 191 несчастный случай с 200 пострадавшими работниками, получившими травмы различной степени тяжести (рис. 1).

Согласно проведенному анализу (рис. 1) больше половины всех рассмотренных несчастных случаев произошло с летальным исходом (58%). Отметим, что указанные случаи преимущественно фиксировались на объектах электросетевого комплекса. При этом незначительная часть смертельных исходов была характерна для дорожно-транспортных происшествий. В свою очередь, 18 пострадавших сотрудников с легкой и 67 – с тяжелой степенью тяжести получили травмы преимущественно на производственных базах и в результате дорожно-транспортных происшествий. При этом количество пострадавших работников на электроустановках с данными степенями тяжести является незначительным. Можно сделать вывод о том, что поражающим фактором в электросетевых компаниях является воздействие на организм электрического тока, приводящее в большинстве случаев к летальному исходу.

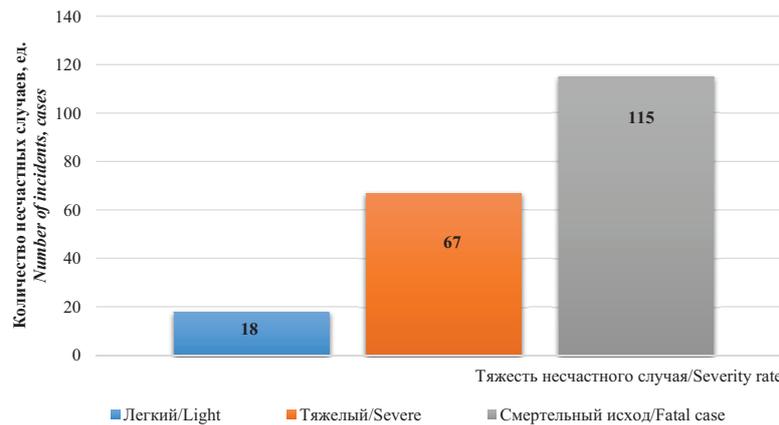


Рис. 1. Анализ тяжести исхода несчастных случаев в электросетевых компаниях

Fig. 1. Analysis of the severity of accidents in power grid companies

Причиной наибольшего количества несчастных случаев (53 эпизода из 191, или 28%) стало грубое нарушение правил охраны труда при работе с электроустановками при нарушении работниками электросетевых компаний требований безопасности (например, коммутация токов нагрузки разъединителями или работа на электроустановках под напряжением без применения специальных средств защиты), а также при осуществлении оперативных переключений с нарушением требований бланков переключений.

В 44 несчастных случаях (23%) отмечена неудовлетворительная организация безопасного выполнения работ: отсутствие у персонала бригады взаимного контроля, не допускающего получение травмы; допущение ошибок по определению электроустановки при осуществлении оперативных переключений; неприменение средств защиты: например, сигнализаторов напряжения для определения токоведущих частей, находящихся под напряжением.

Причиной возникновения 35 несчастных случаев (18%) послужило нарушение трудовой дисциплины: самовольное выполнение работ персоналом электросетевых организаций с отступлением от заданий диспетчеров, бланков переключений; отсутствие информирования вышестоящего руководства об осуществлении работ; осмотр электроустановок и вывод их из работы без согласования отключения с центром управления сетями или оперативно-технологической группой района электрических сетей.

Причиной 28 несчастных случаев (15%) стало нарушение правил дорожного движения при направлении к месту выполнения работ или с места выполнения работ на производственные базы со стороны как работников электросетевых компаний, так и других участников дорожного движения. Отметим, что 46% несчастных случаев, произошедших по причине нарушения правил дорожного движения, привели к летальному исходу. Наименее распространенными

причинами произошедшего стали: неисправная автотехника, у которой при работе на производственных объектах при перемещении электроустановок или расчистке трасс линий электропередачи происходили излом и разрыв основных частей и тросов (10 случаев); нарушение правил безопасности жизнедеятельности работников электросетевых организаций (9 случаев); конструктивные недостатки электроустановок, в которых ввиду малых габаритов и наличия излишних конструктивных элементов были допущены ошибочные действия оперативного персонала, приведшие к летальным исходам (7 случаев); нарушение правил работы на высоте вследствие неприменения страховочных ремней при работе как на лазах, так и на гидроподъемнике автовышек (4 случая).

Распределение 191 несчастного случая по месяцам и по времени суток за период 2014-2022 гг. представлено на рисунках 2, 3.

Наибольшее количество несчастных случаев характерно для марта и мая, что связано с проведением работ по повышению технического состояния электроустановок после осенне-зимнего периода, а также для июля и августа, во время которых проводятся работы по техническому обслуживанию и ремонту при подготовке к осенне-зимнему периоду (рис. 2). Наибольшее количество несчастных случаев зафиксировано в мае (27), наименьшее количество – в ноябре (6).

Наибольшее количество несчастных случаев происходило с 08:00 до 16:00 с пиком в 14:00 (25 фактов) в период работы оперативно-выездных бригад и дежурного персонала электроустановок электросетевых организаций. В другое время количество несчастных случаев не превышало 10 (рис. 3).

Несчастные случаи происходили не только на объектах электросетевых компаний. Максимальное количество несчастных случаев произошло при подъезде к ним – на автодорогах (36 случаев 19%). На воздушных линиях (ВЛ) электропередачи 0,4 кВ произошло

22 несчастных случая, на ВЛ 6 кВ – 3, на ВЛ 10 кВ – 30, на ВЛ 35 кВ – 4, на ВЛ 110 кВ – 16, на ВЛ 220 кВ – 3, на ВЛ 330 кВ – 1, на ВЛ 500 кВ – 2 случая. На водоемах произошло 2 несчастных случая, на производственных базах электросетевых компаний – 6. При осуществлении работ на кабельных линиях 6 кВ отмечено 5 несчастных случаев, на кабельных линиях 10 кВ – 2. При проведении работ в распределительных устройствах (РУ) подстанций 6 кВ произошло 3 несчастных случая, РУ 10 кВ – 13, РУ 35 кВ – 13, РУ 110 кВ – 6, РУ 220 кВ – 1, РУ 500 кВ – 1. При работах на трансформаторных подстанциях (ТП) 6-10/0,4 кВ произошло 22 несчастных случая.

Несчастные случаи возникают при выполнении следующих видов работ: замена электрооборудования – 38 несчастных случаев (20%); перемещение к месту проведения работ – 36 (19%); осмотр электрооборудования – 21 случай; проведение работ по техническому ремонту и обслуживанию электроустановок – 20; проведение аварийно-восстановительных работ на электроустановках после неблагоприятных метеорологических условий – 19; монтаж нового электрооборудования – 12; оперативные переключения – 10; расчистка трассы воздушных линий электропередачи – 10; установка опор – 5;

чистка изоляции электрооборудования – 4; оперативные замеры электрооборудования электросетевых компаний – 4; перемещение электрооборудования в производственных цехах и на производственных объектах с применением автотехники – 4; покраска электрооборудования – 4; ремонт автотехники – 2; иное (во время рабочего перерыва) – 2.

Результаты анализа пострадавших в несчастных случаях сотрудников производственных компаний по видам должностей представлены на рисунке 4.

Наибольшее количество пострадавших находилось в должности электромонтера (114 чел., или 57%) и электрослесаря (30 чел., или 15%) (рис. 4).

Среди пострадавших 2 разряд по занимаемой должности имели 72 чел., 3 разряд – 17 чел., 4 разряд – 52 чел., 5 разряд – 26 чел., 6 разряд – 12 чел., 7 разряд – 1 чел.

Отметим, что 2 группу по электробезопасности имели 7 чел., 3 группу – 27 чел., 4 группу – 59 чел., 5 группу – 22 чел.

Количество пострадавших в несчастных случаях в возрасте 22-30 лет составляет 42 чел., 31-40 лет – 60 чел., 41-50 лет – 45 чел., 51 год и выше – 53 чел.

Количество пострадавших в несчастных случаях сотрудников: со стажем работы в компании

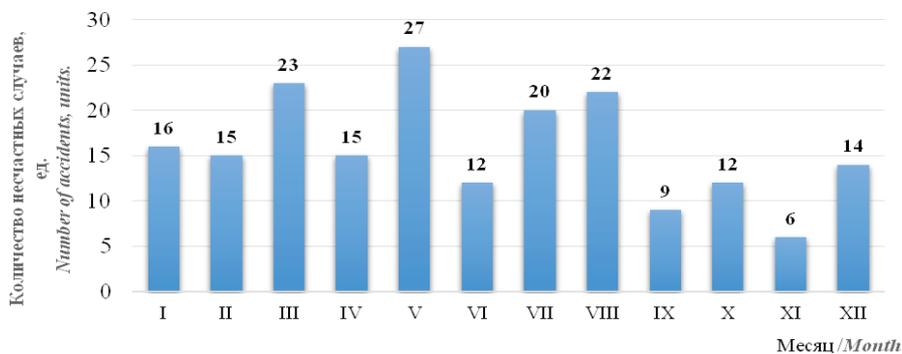


Рис. 2. Распределение несчастных случаев по месяцам

Fig. 2. Distribution of accidents by months

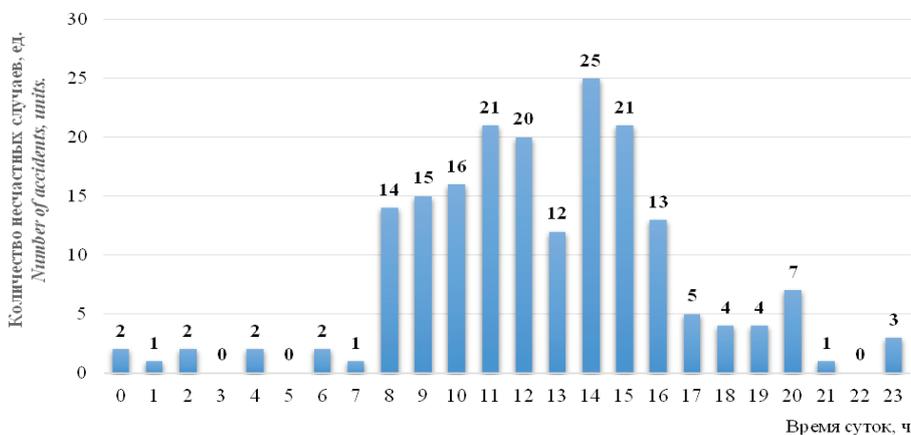


Рис. 3. Распределение несчастных случаев в течение суток

Fig. 3. Distribution of accidents during the day

до 3 лет – 22 чел. (11%); со стажем 3-10 лет – 108 чел. (54%); 10-20 лет – 33 чел.; свыше 20 лет – 37 чел. Можно заключить, что наибольшее количество несчастных случаев происходит не с сотрудниками, вновь пришедшими на работу или работающими несколько лет, а с более опытным персоналом электросетевых компаний.

Рассмотрим поражающие факторы, ставшие причиной несчастных случаев. Пробой диэлектрического воздушного промежутка вследствие нарушения допустимого расстояния до токоведущих частей стал поражающим фактором в 65 несчастных случаях (34%). Один из таких случаев произошел в филиале ПАО «Россети Центр»-«Курскэнерго» на ВЛ 110 кВ Курская ТЭЦ-1 – Счетмаш с отпайкой вследствие неправильного расположения автогидроподъемника между отключенной цепью ВЛ 110 кВ и другой цепью ВЛ 110 кВ, находящейся под напряжением (рис. 5).

Среди распространенных факторов, являющихся причиной несчастных случаев, можно отметить: дорожно-транспортные происшествия (26 случаев);

поражение электрической дугой вследствие ошибок при осуществлении оперативных переключений (16 случаев); воздействие электрического тока при неумышленном касании сотрудниками электросетевых компаний токоведущих частей низкого напряжения (15 случаев); попадание под производственную автотехнику при выполнении работ (15); падение сотрудников с высоты (12); падение электроопоры на пострадавших (15); падение дерева – 5. Так, в филиале ПАО «ФСК ЕЭС»-Нижегородское ПМЭС в результате нарушения правил работы на высоте электромонтер упал с опоры № 766 ВЛ 500 кВ Вешкайма-Осиновка (рис. 6).

Наведенное напряжение на отключенных электроустановках от высоковольтных установок, расположенных вблизи, стало поражающим фактором в 4 несчастных случаях. При обратной трансформации пострадали 4 сотрудника электросетевых компаний. Фактор личной неосторожности стал причиной 9 несчастных случаев. По 1 несчастному случаю произошло при опрокидывании электрооборудования



Рис. 4. Должности пострадавших в результате несчастных случаев сотрудников электросетевых компаний

Fig. 4. Positions of electric grid employees affected by accidents



Рис. 5. Место несчастного случая в филиале ПАО «Россети Центр»-«Курскэнерго»

Fig. 5. Location of the accident at the “Kurskenergo” branch of PJSC “Rosseti Center”



Рис. 6. Место несчастного случая в филиале ПАО «ФСК ЕЭС»-Нижегородское ПМЭС

Fig. 6. Location of the accident at the Nizhny Novgorod Enterprise of Main Power Networks, Branch of PJSC “FSK EES”

на пострадавшего и шаговом напряжении от высоковольтной сети с изолированной нейтралью.

Проведенный анализ показывает, что большинство несчастных случаев вызвано недостаточной квалификацией персонала. В связи с этим для сокращения несчастных случаев необходимо реализовывать мероприятия, направленные на проверку знаний об охране труда, правил дорожного движения, разработать мероприятия по повышению квалификации, обучить персонал на цифровых двойниках электросетевых объектов с помощью технологии виртуальной реальности (VR). Так, прохождение обучения персонала Росатом и ПАО «Россети Ленэнерго» позволило снизить количество ошибок сотрудников на реальных производственных объектах [13]. В рамках концепции цифровой трансформации электросетевого комплекса необходимо внедрение устройств сигнализации и блокировки обратной трансформации, предотвращающих подачу напряжения на сторону высокого напряжения 6-10 кВ со стороны низкого напряжения 0,4 кВ при неправильном включении потребительских источников резервного питания [14].

Выводы

Анализ 191 несчастного случая с 200 пострадавшими в ПАО «Россети» в период 2014-2022 гг. позволил заключить следующее.

1. Наибольшее количество несчастных случаев отмечено:

– при проведении работ по повышению технического состояния электроустановок (ежемесячно

более 20 эпизодов) в периоды март-май и июль-август, в течение суток – в период 8:00-16:00 (ежечасно более 10 случаев);

– во время перемещения к месту проведения работ – 36 случаев (19%);

– на воздушных линиях электропередачи и на ТП 6-10/0,4 кВ 0,4 кВ (по 22 несчастных случая), на ВЛ 10 кВ (30 случаев), на ВЛ 110 кВ (16 случаев), в РУ 10 кВ и РУ 35 кВ (по 13 несчастных случаев).

2. Самой частой причиной возникновения несчастных случаев стало грубое нарушение правил охраны труда при работе с электроустановками (нарушение работниками электросетевых компаний требований безопасности) – 53 несчастных случая (28%).

3. Наибольшее количество пострадавших сотрудников (114 чел., или 57%) числились в должности электромонтера; 52 чел. имели 4 разряд в соответствии с занимаемой должностью, 59 чел. имели 4 группу по электробезопасности. Из них выявлено 108 пострадавших (54%) со стажем от 3 до 10 лет. Наиболее подверженной риску является группа сотрудников в возрасте 31-40 лет (60 пострадавших).

4. Самым частым поражающим фактором являлся пробой диэлектрического воздушного промежутка вследствие нарушения допустимого расстояния до токоведущих частей оперативным персоналом электросетевых компаний – 65 несчастных случаев (34%).

Список источников

1. Тряпицын А.Б., Кирпичникова И.М., Бухтояров В.Ф., Круглов Г.А. Анализ аварийности и травматизма в электроэнергетике Российской Федерации // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». 2018. Т. 18, № 4. С. 30-40. <https://doi.org/10.14529/power180404>
2. Мюльбаер А.А. Анализ причин несчастных случаев при работах на воздушных линиях электропередачи, находящихся под наведенным напряжением // Новое в российской электроэнергетике. 2017. № 4. С. 71-77. EDN: YQFURN
3. Петров О.П. Производственный травматизм на предприятиях энергетики // Молодой ученый. 2020. № 16 (306). С. 158-160. EDN: GPRCBY
4. Поздняков А.Н., Лежава С.А. Анализ травматизма на предприятиях электроэнергетической отрасли на примере ОАО «Южно-Кузбасская ГРЭС» // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2013. № 3. С. 69-74. EDN: PZXIXF
5. Ерёмин Т.В., Калинин А.Ф., Гармаев А.Л. Анализ электротравматизма на объектах электроэнергетики // Вестник ВСГУТУ. 2016. № 3 (60). С. 28-31. EDN: WGBANH
6. Дорофеев Н.П., Титов В.Л., Степанов Б.М. Анализ причин несчастных случаев на энергоустановках с 1 января 2001 г. по 1 мая 2005 г. (по статистическим данным) // Энергобезопасность в документах и фактах. 2005. № 3. С. 3-8. EDN: KGXDJX
7. Степанов Б.М. Обстоятельства и причины несчастных случаев на энергоустановках г. Москвы в 2004 г.

References

1. Tryapitsyn A.B., Kirpichnikova I.M., Buhtoyarov V.F., Kruglov G.A. Analysis of accidents and injuries in the electric power industry of the Russian Federation. *Bulletin of South Ural State University. Series: Power Engineering*. 2018;18(4):30-40. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/power180404>
2. Myulbaer A.A. Analysis of the causes of accidents during work on overhead power lines under induced voltage. *Novoe v Rossiyskoy Elektroenergetike*. 2017;4:71-77. (In Russ.)
3. Petrov O.P. Industrial injuries at energy enterprises. *Molodoy Ucheniy*. 2020;16(306):158-160. (In Russ.)
4. Pozdnyakov A.N., Lezhava S.A. Analysis of injuries at electric power industry enterprises on the example of JSC Yuzhno-Kuzbass GRES. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2013;3:69-74. (In Russ.)
5. Eremina T.V., Kalinin A.F., Garmaev A.L. Analysis of electrical injuries at electric power facilities. *Vestnik VSGUTU*. 2016;3:28-31. (In Russ.)
6. Dorofeev N.P., Titov V.L., Stepanov B.M. Analysis of the causes of accidents at power plants from January 1, 2001 to May 1, 2005 (according to statistical data). *Energy Safety in Documents and Facts*. 2005;3:3-8. (In Russ.)
7. Stepanov B.M. Circumstances and causes of accidents at power plants in Moscow in 2004. *Energy Safety in Documents and Facts*. 2005;1:6-15. (In Russ.)

// Энергобезопасность в документах и фактах. 2005. № 1. С. 6-15. EDN: KGXDEN

8. Chia-Fen Chi, Chong-Cheng Yang, Zheng-Lun Chen. In-depth accident analysis of electrical fatalities in the construction industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2009;39(4):635-644. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2007.12.003>

9. Koustellis J.D., Halevidis C.D., Polykrati A.D., Bourkas P.D. Analysis of a fatal electrical injury due to improper switch operation. *Safety Science*. 2013;53:226-232. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.10.005>

10. Kalte H.O., Hosseini A.H., Arabzadeh S., Najafi H., Dehghan N., Akbarzadeh A., Keshavarz S., Karchani M. Analysis of electrical accidents and the related causes involving citizens who are served by the Western of Tehran. *Electron Physician*. 2014;6(2):820-826. <https://doi.org/10.14661/2014.820-826>

11. Hao X., Cao C., Yu S., Sun X., Feng M., Luo W., Xu Z., Xiao H. Emergency Decision Making for Electric Power Personal Accidents Based on Ontology and Case-Based Reasoning. *Sustainability*. 2023;15:11404. <https://doi.org/10.3390/su151411404>

12. Batra P.E., Ioannides M.G. Assessment of electric accidents in power industry. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*. 2002;12(2):151-169. <https://doi.org/10.1002/hfm.10005>

13. Моравель В.И., Борисов В.А. Технологии виртуальной и дополненной реальности в энергетике // Современные научные исследования и инновации. 2022. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2022/06/98556> (дата обращения: 17.10.2023)

14. Лансберг А.А., Панфилов А.А., Виноградов А.В. Анализ возможных способов несанкционированной подачи напряжения в электрических сетях 0,4-10 кВ и последствий от этого // Научный журнал молодых ученых. 2022. № 2 (27). С. 43-50. EDN: DZUNEE

Информация об авторах

Александр Владимирович Виноградов¹, д-р техн. наук, доцент; winaleksandr@gmail.com

Алексей Виторович Хименко², канд. техн. наук, старший научный сотрудник; avmkh87@gmail.com

Александр Александрович Лансберг³, специалист, магистрант 2 курса направления подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»; lansbergaa@vk.com

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Вклад авторов

А.В. Виноградов – научное руководство, концептуализация, анализ полученных данных, разработка рекомендаций, критический анализ, доработка текста.

А.В. Хименко – методология, визуализация, анализ полученных данных, доработка текста, формирование выводов исследования.

А.А. Лансберг – ресурсы, первичный анализ полученных результатов, создание черновика рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 08.11.2023, после рецензирования и доработки 04.03.2024; принята к публикации 05.03.2024

8. Chia-Fen Chi, Chong-Cheng Yang, Zheng-Lun Chen. In-depth accident analysis of electrical fatalities in the construction industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2009;39(4):635-644. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2007.12.003>

9. Koustellis J.D., Halevidis C.D., Polykrati A.D., Bourkas P.D. Analysis of a fatal electrical injury due to improper switch operation. *Safety Science*. 2013;53:226-232. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.10.005>

10. Kalte H.O., Hosseini A.H., Arabzadeh S., Najafi H., Dehghan N., Akbarzadeh A., Keshavarz S., Karchani M. Analysis of electrical accidents and the related causes involving citizens who are served by the Western of Tehran. *Electron Physician*. 2014;6(2):820-826. <https://doi.org/10.14661/2014.820-826>

11. Hao X., Cao C., Yu S., Sun X., Feng M., Luo W., Xu Z., Xiao H. Emergency Decision Making for Electric Power Personal Accidents Based on Ontology and Case-Based Reasoning. *Sustainability*. 2023;15:11404. <https://doi.org/10.3390/su151411404>

12. Batra P.E., Ioannides M.G. Assessment of electric accidents in power industry. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*. 2002;12(2):151-169. <https://doi.org/10.1002/hfm.10005>

13. Moravel V.I., Borisov V.A. Virtual and augmented reality technologies in the energy sector. *Sovremennye Nauchnye Issledovaniya i Innovatsii*. 2022;6. (In Russ.) <https://web.snauka.ru/issues/2022/06/98556>

14. Lansberg A.A., Panfilov A.A., Vinogradov A.V. Analysis of possible ways of unauthorized voltage supply in 0.4-10 kV electrical networks and the consequences of this. *Scientific Journal of Young Scientists*. 2022;2:43-50. (In Russ.)

Author Information

Aleksandr V. Vinogradov¹, DSc (Eng), Associate Professor, Head of the Laboratory of Power Supply and Heat supply; winaleksandr@gmail.com

Aleksei V. Khimeko², CSc(Eng), Senior Research Engineer, Laboratory of Power Supply and Heat Supply; avmkh87@gmail.com

Aleksandr A. Lansberg³, specialist, first-year MSc student, training area 13.04.02 “Electric Power and Electrical Engineering”; lansbergaa@vk.com

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation

^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutskiy Proezd Str., 5.

Author Contribution

A.V. Vinogradov – research supervision, conceptualization, data curation, development of recommendations, critical analysis, finalizing (reviewing and editing) of the manuscript.

A.V. Khimenco – methodology, visualization, analysis of the obtained data, finalizing (reviewing and editing) of the manuscript, formulation of conclusions.

A.A. Lansberg – resources, primary analysis of obtained results, original draft preparation.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism.

Received 08.11.2023; Revised 04.03.2024; Accepted 05.03.2024

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 378.126:371.14

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-86-91>



Преемственная образовательная программа: разработка и внедрение в Университетский комплекс

Ю.А. Атапина

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия
atapina@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-1098-503X>

Аннотация. Возрастающий спрос на среднее профессиональное образование актуализировал внимание к вопросам дидактического обеспечения преемственности образовательных программ в системе «Колледж-вуз» и обоснования возможности сокращения сроков профессиональной подготовки специалистов при сохранении ее качества в условиях Университетского комплекса. Реализация образовательных программ среднего профессионального образования в рамках Университетского комплекса «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева» и специфика профессионально-педагогического образования обусловили необходимость развития его инфраструктуры – организации Технологического колледжа и Центра технологической поддержки образования. Результаты анкетирования 254 студентов Технологического колледжа подтвердили необходимость и востребованность разработки вузовских преемственных образовательных программ с сокращенным сроком обучения. Методология проектирования преемственных образовательных программ складывается из последовательных логически взаимосвязанных этапов: аналитико-конструктивного, проверочно-реализующего, коррекционно-оптимизирующего. Первый этап является наиболее сложным и трудоемким, разработчикам программ необходимо определить инвариантную составляющую среднего профессионального и высшего образования, с учетом которой разработать преемственную программу подготовки бакалавра в сокращенные сроки. На последующих этапах преемственная образовательная программа реализуется, и осуществляются ее оценка и корректировка. В ходе исследований была разработана преемственная образовательная программа по направлению подготовки 44.03.04 «Профессиональное обучение (по отраслям)» на основе образовательной программы колледжа 44.02.03 «Педагогика дополнительного образования (в области технического творчества)», обеспечивающая подготовку педагогов профессионального обучения в сокращенные сроки в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Ключевые слова: непрерывное профессиональное образование, Университетский комплекс, преемственная образовательная программа, методология проектирования преемственных образовательных программ, среднее профессиональное образование

Для цитирования: Атапина Ю.А. Преемственная образовательная программа: разработка и внедрение в Университетский комплекс // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 2. С. 86-91.
<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-86-91>

ORIGINAL PAPER

Continuing education program: development and implementation at the University cluster

Yu.A. Atapina

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia
atapina@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-1098-503X>

Abstract. The increasing demand for secondary vocational education programs has drawn even more attention to the didactic support of the continuing education programs implemented in the college-to-university transition system. Their obvious benefit is the shortened period of professional training of specialists while maintaining the highest

possible quality of the University cluster, where a vocational college is the primary level of the university training. The experience of implementing secondary vocational education programs in Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy taking into account the specifics of the technical training and vocational teacher training necessitated the appropriate infrastructural modification: the establishing of the College of Technology and the Center for Technological Support of Education. The results of the questionnaire survey of students of the College of Technology confirmed the need and relevance of the development of continuing educational programs with a shortened period of study. The methodology of designing continuing educational programs consists of successive logically interrelated stages: analytical designing, verification and implementation, correction and optimization. The first stage is the most challenging and time-consuming for the program developers: it is necessary to determine the invariant component of secondary vocational and higher education, which should be taken into account to develop a continuous Bachelor program that would provide short-time training. In the subsequent stages, this program is to be implemented, evaluated and adjusted. Using this methodology, the author attempted to develop a continuous educational program for the training area 44.03.04 ‘Vocational Education and Training (Sector-Specific)’ based on the vocational college program 44.02.03 ‘Pedagogy of Additional Training (Technical Creativity Area)’. The program is intended for training vocational teachers in accordance with the requirements of the Federal State Educational Standard in a shortened time.

Key words: continuing professional education, University cluster, continuing education program, technology of designing continuing education programs, secondary vocational education

For citation: Atapina Yu.A. Continuing education program: development and implementation at the University cluster. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(2):86-91. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-86-91>

Введение

Программы среднего профессионального образования (СПО) все чаще востребуются выпускниками школ. Колледжи привлекают абитуриентов возможностью в короткий срок получить востребованную профессию, обрести самостоятельность и начать «взрослую» жизнь. Обучение в колледже является более практико-ориентированным (практическая подготовка может достигать 80% учебной нагрузки, содержание теоретической части обучения формируется как ориентировочная основа для успешной практической деятельности по данной профессии и специальности). Благодаря договорам с предприятиями выпускники колледжей получают гарантированную возможность трудоустройства после обучения. Прием в колледжи осуществляется без вступительных испытаний (по среднему баллу аттестата), оплата обучения является существенно более низкой, чем в вузе. К тому же обучение в колледже можно использовать как промежуточную ступень между школой, вузом и др. [1, 2]. Согласно действующим нормативно-правовым документам для выпускников колледжей предусмотрена возможность освоения программ бакалавриата по индивидуальным учебным планам в более короткие сроки.

Возрастающий спрос на СПО активизировал развитие университетских комплексов путем организации в их составе профильных колледжей. Построение преемственных образовательных программ среднего профессионального и высшего образования в условиях Университетского комплекса имеет свои особенности и возможности в решении вопросов

дидактического обеспечения интеграции образовательных программ и сокращения сроков профессиональной подготовки при сохранении ее качества.

Цель исследований: методология проектирования содержания преемственных образовательных программ непрерывного профессионально-педагогического образования и развития инфраструктуры их реализации в условиях Университетского комплекса.

Материалы и методы

Исследования проводились с 2020 по 2024 гг. на базе Университетского комплекса «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева» на примере подготовки бакалавров по направлению 44.03.04 «Профессиональное обучение (по отраслям)» и специалистов среднего звена по специальности 44.02.03 «Педагог дополнительного образования (в области технического творчества)».

Проведен теоретико-методологический анализ дидактического обеспечения преемственности образовательных программ в системе «Колледж-вуз» и обобщен опыт их реализации. Рассмотрены нормативно-правовые документы, регламентирующие непрерывное профессиональное образование в РФ. В исследованиях применялись методы педагогического моделирования, анкетирования, наблюдения, экспертные оценки, опытно-поисковая работа.

Результаты и их обсуждение

Реализация образовательных программ СПО в рамках Университетского комплекса обусловила необходимость соответствующего развития его структуры, в связи с чем был организован Технологический

колледж как подразделение РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, на который возложена задача обеспечения подготовки специалистов среднего звена. В контексте организационно-педагогического обеспечения преемственности программ среднего и высшего профессионально-педагогического образования возникают как дополнительные трудности, так и дополнительные возможности. Обусловлены они спецификой профессионально-педагогического образования, заключающейся в бипрофессиональном содержании подготовки, объединяющем отраслевую технико-технологическую и педагогическую ее составляющие [3-6].

Анализ теории и практики обеспечения преемственности среднего и высшего профессионально-педагогического образования с учетом бипрофессионального содержания подготовки позволил обосновать гипотезу о целесообразности развития инфраструктуры и, в частности, организации в составе Университетского комплекса Центра технологической поддержки образования (ЦТПО) (рис. 1).

Центр технологической поддержки образования имеет несколько целей: создание открытой информационной и технологической площадки как объекта инфраструктуры непрерывного профессионального образования; развитие современной системы профессионального самоопределения обучающихся; обеспечение условий профессиональной коммуникации и роста педагогических кадров в области современных образовательных технологий [7]; осуществление методических разработок, проведение научных исследований; внедрение результатов научно-исследовательской деятельности в практику образовательного процесса.

В 2023 г. ЦТПО был присвоен статус Инновационной площадки Российской академии образования.

Анализ состояния системы дополнительного образования показывает, что в настоящее время возрастает

востребованность преподавателей, способных реализовывать программы дополнительного образования. При этом данная тенденция касается не только организаций профессионального образования и дополнительного профессионального образования, но и обычных общеобразовательных школ. С 2022 г. действуют новые образовательные стандарты для основной школы, согласно которым ученики с 5 по 9 классы в рамках предмета «Технология» должны изучать робототехнику и системы автоматического управления, технологии цифрового производства в области обработки материалов, в том числе станками с числовым программным управлением и лазерной обработкой, заниматься 3D-моделированием, прототипированием и программированием и др.

В ходе исследований на базе ЦТПО были разработаны и апробированы дополнительные общеразвивающие программы для школьников: «Использование беспилотных летательных аппаратов и геоинформационных систем»; «Космические технологии в сельском хозяйстве»; «Космический мониторинг агропромышленных угодий и техники»; «3D-моделирование и прототипирование»; «Растениеводство в агроэкосистемах»; «Основы робототехники» и др. Программы прошли экспертную проверку Департамента образования и науки г. Москвы. Результаты текущей успеваемости и участия школьников, осваивающих дополнительные общеразвивающие программы, в городских конкурсах (научно-технические проекты «Инженерный старт», «Инженеры будущего», предпрофессиональные смены для школьников профильных классов «Инженерные каникулы», «Академические каникулы», демонстрационный экзамен и др.) свидетельствуют об эффективности реализуемых программ, их положительном влиянии на профессиональное самоопределение школьников, о формировании у них готовности к выбору профессии [8].

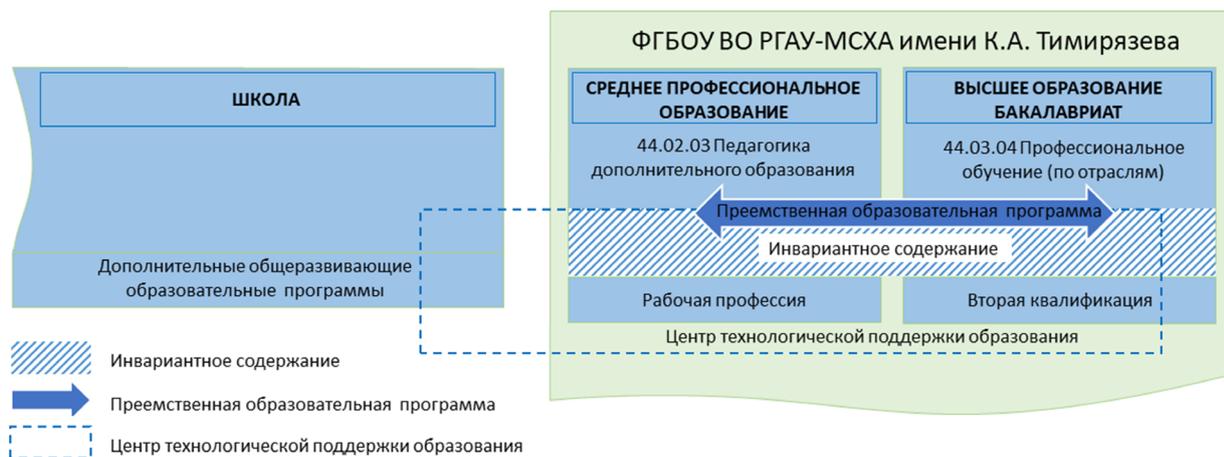


Рис. 1. Развитие инфраструктуры реализации преемственных образовательных программ

Fig. 1. Development of infrastructure for the implementation of successive educational programs

С учетом содержания разработанных и апробированных общеразвивающих программ и методики их реализации было спроектировано содержание профессионального модуля ПМ.01 «Преподавание в одной из областей дополнительного образования детей», являющегося частью программы подготовки педагога дополнительного образования по специальности 44.02.03 «Педагогика дополнительного образования (в области технического творчества)».

Выявление отношения студентов, обучающихся по программам высшего образования, к освоению дополнительных образовательных программ и непрерывному повышению квалификации показало, что более 60% студентов, обучающихся по направлению подготовки 44.03.04 «Профессиональное обучение (по отраслям)», готовы совмещать учебу по основной программе с дополнительным профессиональным образованием (получение второй квалификации). По мнению большинства опрошенных студентов, профессиональному росту способствуют систематическое повышение квалификации по профессии (64%), профессиональная переподготовка (освоение новой квалификации) (42%), самообразование (76%). В результате студентам была предложена дополнительная профессиональная программа (программа переподготовки) «Педагог дополнительного образования», интегрированная с основной образовательной программой 44.03.04 «Профессиональное обучение (по отраслям)».

Выполненные построения содержания дополнительных образовательных программ, безусловно, способствуют непрерывности и преемственности профессионального образования в системе «Школа-колледж-вуз»: от формирования готовности

к выбору профессии у школьников до интегрированных программ профессиональной переподготовки выпускников высшего образования. Однако остаются нерешенными проблемы преемственности основных образовательных программ СПО и ВО.

Основной задачей исследований остается разработка преемственной образовательной программы направления подготовки 44.03.04 «Профессиональное обучение (по отраслям)», направленности «Информационные системы и технологии» на основе образовательной программы колледжа по специальности 44.02.03 «Педагогика дополнительного образования (в области технического творчества)», способной обеспечить подготовку педагогов профессионального обучения в соответствии с требованиями ФГОС ВО в сокращенные сроки в условиях Университетского комплекса.

Результаты анкетирования студентов колледжа подтверждают необходимость и востребованность подготовки специалистов с высшим образованием по сокращенным образовательным программам в условиях Университетского комплекса «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева». Опрос 254 студентов Технологического колледжа показал, что они не хотят останавливаться на уровне СПО. Для 59% опрошенных желаемым уровнем образования является бакалавриат, 14% студентов настроены дойти до уровня магистратуры, 5% участников опроса хотели бы пройти все три ступени высшего образования включая аспирантуру (рис. 2). Среди студентов специальности «Педагогика дополнительного образования» (23 чел.) показатели еще выше. Так, продолжить обучение в вузе по выбранной профессии готовы 61,5% опрошенных, из них 46,2%

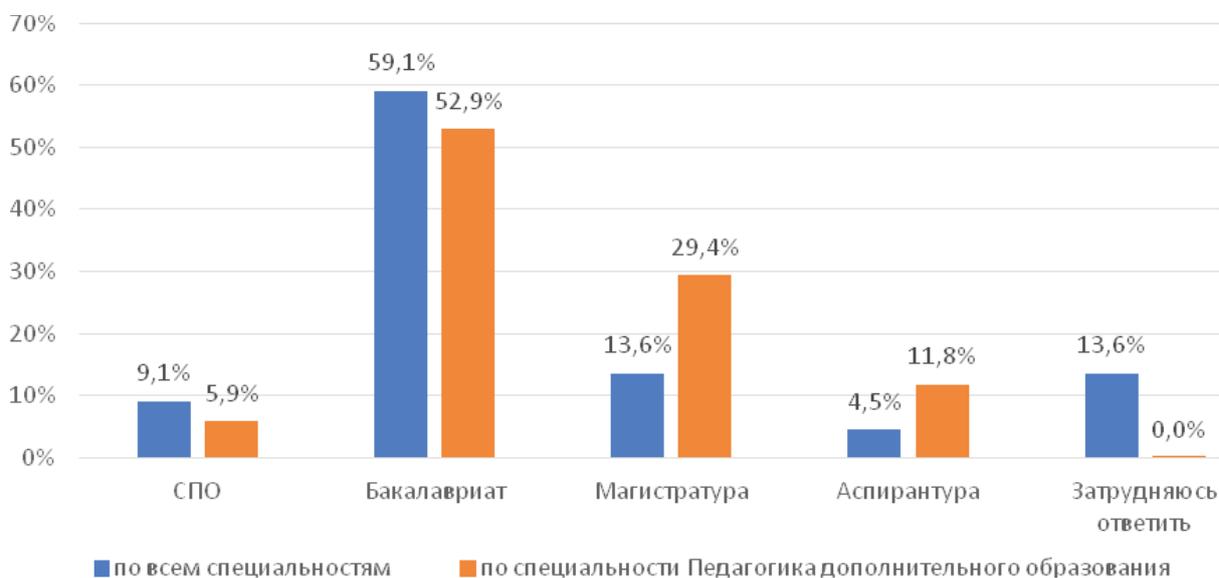


Рис. 2. Отношение студентов колледжа к повышению уровня профессионального образования

Fig. 2. Attitude of college students towards the opportunity of receiving further professional education

студентов высоко оценивают свои шансы сразу после колледжа поступить на программу бакалавриата в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Однако в перечне направлений подготовки высшего образования отсутствует направление «Педагогика дополнительного образования», подготовка профессионально-педагогических кадров для системы дополнительного образования осуществляется только на уровне СПО. В такой ситуации продолжение образования в вузе может осуществляться по одной из родственных специальностей в рамках той же укрупненной группы специальностей. В нашем случае это может быть направление подготовки 44.03.04 «Профессиональное обучение (по отраслям)».

Анализ успеваемости и ценностных ориентаций в отношении профессии у студентов бакалавриата направления подготовки «Профессиональное обучение (по отраслям)» выявил противоречивую ситуацию в среде успешных студентов. С одной стороны, это хорошая профессиональная подготовка студентов выпускных курсов к решению профессионально-педагогических задач, подтверждаемая результатами комплексного тестирования, сопоставимыми с формальными оценками студентов по дисциплинам, курсовым работам и практикам, экспертными оценками руководителей практик и самооценками студентов. С другой стороны, желание работать по профессии является слабо выраженным. Только порядка 20% опрошенных имеют намерения соответствующего трудоустройства.

Эффективность профессионального образования, как известно, во многом зависит от мотивационно-ценностного отношения обучаемых к избранной специальности, к сфере предстоящей трудовой деятельности и процессу подготовки в вузе [5].

Полученные данные наших исследований указывают на то, что контингент студентов направления 44.03.04 «Профессиональное обучение (по отраслям)» целесообразно формировать из числа выпускников колледжа. Студенты, имеющие педагогическое образование предшествующего уровня, в большинстве своем хорошо осведомлены о будущей деятельности и сознательно выбирают свою специальность.

Основываясь на вышеизложенном, можно констатировать, что реализованная в ходе исследований методология проектирования преемственных образовательных программ и развития инфраструктуры Университетского комплекса предусматривала следующие логически взаимосвязанные этапы: аналитико-конструктивный; проверочно-реализующий; коррекционно-оптимизирующий.

Цель первого этапа заключается в том, чтобы, основываясь на концепции инвариантной структуры

содержания профессионального образования¹, определить инвариантную составляющую среднего профессионального и высшего образования, с учетом которой разработать преемственную программу подготовки бакалавра в сокращенные сроки. Цель определяет следующий порядок действий (задачи):

1) изучить нормативную и учебно-программную документацию (профессиональные стандарты, ФГОС, учебные планы, программы дисциплин, модулей, практик), выявить преемственные компетенции;

2) провести многоуровневый анализ образовательных программ² среднего профессионального и высшего образования с целью выделения инвариантной составляющей их содержания;

3) с учетом выделенной инвариантной составляющей содержания разработать преемственную программу подготовки бакалавра в сокращенные сроки;

4) предусмотреть входной контроль и возможность восполнения дефицита профессиональных знаний, умений и навыков за счет разработки индивидуальной траектории освоения элективных курсов, дополнительного образования и самообразования;

5) определить условия, необходимые для эффективной реализации разработанной программы (материально-технические, кадровые, методические).

Цель второго этапа – реализация и проверка эффективности разработанной программы. Задачами этого этапа являются обучение и диагностика образовательных результатов, разработка индивидуальных траекторий освоения образовательной программы.

Цель третьего этапа заключается в объективной оценке разработанной программы, а при необходимости – в осуществлении ее корректировки.

Оценка преемственной образовательной программы может осуществляться на основе результатов мониторинга студентов, экспертных оценок преподавателей и руководителей практик, ранжирования значимости изучаемых дисциплин и модулей.

Выводы

1. Актуальность проблемы проектирования содержания преемственных образовательных программ обусловлена развитием системы непрерывного профессионального образования, потребностями личности и государства в оптимизации сроков обучения.

2. Реализация образовательных программ среднего профессионального образования в условиях

¹ Леднев В.С. Непрерывное образование: структура и содержание. М.: Изд-во АПН СССР, 1988. 282 с.

² Тимофеев Н.И. Инвариантная составляющая содержания образовательных программ среднего и высшего профессионального образования разного профиля: Автореф. дис. ... канд. пед. наук. М., 2004. 18 с.

Университетского комплекса и специфика содержания профессионально-педагогических программ обуславливают необходимость развития инфраструктуры, способной обеспечить соответствующую технологическую поддержку процесса обучения.

Список источников

1. Кубрушко П.Ф., Шингарева М.В., Атапина Ю.А. Подготовка кадров для агропромышленного комплекса в системе непрерывного профессионального образования // *Агроинженерия*. 2022. Т. 24, № 4. С. 58-63. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-58-63>
2. Блинов В.И., Сатдыков А.И., Сергеев И.С., Родичев Н.Ф. Методы разработки сценариев развития среднего профессионального образования в субъектах Российской Федерации // *Образование и наука*. 2021. Т. 23, № 2. С. 11-38. <https://doi.org/10.17853/1994-5639-2021-2-11-38>
3. Корпоративные стратегии и технологии в цифровой экономике: Монография / И.Ю. Беляева и др. / Под науч. ред. И.Ю. Беляевой, О.В. Даниловой. М.: КноРус, 2021. 248 с. EDN: ENHGGM
4. Федоров В.А., Кубрушко П.Ф., Дубицкий В.В., Феоктистов А.В. Профессионально-педагогическое образование в России на современном этапе: концептуальный аспект // *Образование и наука*. 2022. Т. 24, № 7. С. 11-44. <https://doi.org/10.17853/1994-5639-2022-7-11-44>
5. Кривчанский И.Ф., Симан А.С. Особенности государственной итоговой аттестации выпускников профессионально-педагогических образовательных программ // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»*. 2020. № 1 (95). С. 60-66. EDN: WKROCW
6. Симбирских Е.С., Рачеев Н.О. Дидактический потенциал робототехнических VR-конструкторов в программах подготовки агроинженеров для отечественного АПК // *Агроинженерия*. 2021. № 2 (102). С. 75-79. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-75-79>
7. Козленкова Е.Н., Кривчанский И.Ф. Проектная деятельность школьников как средство профессионального самоопределения в области инженерных профессий // *Международный научный журнал*. 2019. № 4. С. 62-69. EDN: DWHSKE
8. Козленкова Е.Н., Кубрушко П.Ф. Современные подходы к реализации профориентационных дополнительных образовательных программ // *Инновации в профессиональном и профессионально-педагогическом образовании: Материалы 28-й Международной научно-практической конференции*. Екатеринбург, 23-24 мая 2023 г. Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2023. С. 137-140. EDN: YEXLIN

Сведения об авторе

Атапина Юлия Алексеевна, аспирант; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; <http://orcid.org/0000-0002-1098-503X>; atapina@rgau-msha.ru

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов и несет ответственность за плагиат

Статья поступила 20.12.2023, после рецензирования и доработки 20.03.2024; принята к публикации 20.03.2024

3. Проектирование преемственных образовательных программ предусматривает выявление инвариантной составляющей содержания среднего профессионального и высшего образования, с учетом которой разрабатывается преемственная программа подготовки бакалавра с сокращенным сроком обучения.

References

1. Kubrushko P.F., Shingareva M.V., Atapina Yu.A. Agricultural staff training in the system of lifelong professional education. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(4):58-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-58-63>
2. Blinov V.I., Satdykov A.I., Sergeev I.S., Rodichev N.F. The methods of scenario designing for the development of regional systems of vocational education and training. *The Education and Science Journal*. 2021;23(2):11-38. (In Russ.). <https://doi.org/10.17853/1994-5639-2021-2-11-38>
3. Belyayeva I.Yu. et al. Corporate strategies and technologies in the digital economy: monograph. Ed. by I.Yu. Belyaeva O.V. Danilova. Moscow, KnoRus, 2021. 248 p. (In Russ.)
4. Fedorov V.A., Kubrushko P.F., Dubitskiy V.V., Feoktistov A.V. Vocational teacher training in Russia at the present stage: Conceptual aspect. *The Education and Science Journal*. 2022;24(7):11-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.17853/1994-5639-2022-7-11-44>
5. Krivchanskiy I.F., Siman A.S. Specific features of state final assessment of graduates majoring in vocational training. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2020;1(95):60-66. (In Russ.)
6. Simbirskikh E.S., Racheev N.O. Teaching capabilities of robotic VR-constructors in the training programs of agricultural engineers for the domestic farm industry. *Agricultural Engineering*. 2021;2(102):75-79. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-75-79>
7. Kozlenkova E.N., Krivchanskiy I.F. Design activity of schoolchildren as a means of professional self-determination in the field of engineering professions. *International Scientific Journal*. 2019;4:62-69. (In Russ.)
8. Kozlenkova E.N., Kubrushko P.F. Modern approaches to the implementation of vocational guidance additional educational programs. *Innovations in professional and professional-pedagogical education: Proceedings of the 28th International Scientific and Practical Conference, Yekaterinburg, 23-24 May 2023. Yekaterinburg: Russian State Vocational and Professional Pedagogical University*. 2023. 137-140 p. (In Russ.)

Author Information

Yuliya A. Atapina, postgraduate student; Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; <http://orcid.org/0000-0002-1098-503X>; atapina@rgau-msha.ru

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests regarding the publication of this article and is individually responsible for plagiarism

Received 20.12.2023; Revised 20.03.2024; Accepted 20.03.2024.

К изданию принимается ранее не опубликованное автором (авторами) оригинальное произведение (научно-техническая или обзорно-аналитическая статья), соответствующее основным направлениям журнала объемом 3-4 тыс слов и оформленное согласно ГОСТ Р 7.0.7-2021.

Структура статьи (образец)

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК:

<https://doi.org/10.26897/2687-1149->

Название статьи (маx до 15 слов, включает ключевые слова!)

Инициалы, фамилия первого автора¹, инициалы, фамилия второго автора²

¹ Название организации первого автора (в именительном падеже без составных частей названий организаций); страна, город

² Название организации второго автора; страна, город

¹ e-mail первого автора; [https://orcid.org/..](https://orcid.org/)

² e-mail первого автора; [https://orcid.org/..](https://orcid.org/)

Аннотация – самостоятельный законченный материал. Вводная часть минимальна. Нужно коротко и емко отразить актуальность и цель исследований, условия и схемы экспериментов, привести полученные результаты (с обязательным аргументированием на основании цифрового материала), сформулировать выводы. Нельзя использовать аббревиатуры и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы) (объем 200 слов, включает ключевые слова!).

Ключевые слова: 7-10 слов или словосочетаний для поисковых систем и классификации статей по темам.

Благодарности: сведения о грантах, финансировании.

Для цитирования: ФИО авторов. Название статьи // *Агроинженерия*. Год. Том. № . С. . <https://doi.org/10.26897/2687-1149->.

© ФИО авторов, год

ORIGINAL PAPER

Article title

Full name¹, Full name²

¹ Name of the organization; full address; e-mail

² Name of the organization; full address; e-mail

¹ e-mail; [https://orcid.org/..](https://orcid.org/)

² e-mail; [https://orcid.org/..](https://orcid.org/)

Abstract.

Keywords:

Acknowledgments:

For citation: Full name of the authors. Article title. *Agricultural Engineering (Moscow)*. year; volume (number); pages. <https://doi.org/10.26897/2687-1149->

Статья должна быть структурирована, обязательно содержать следующие разделы:

- Введение (актуальность);
- Цель исследований;
- Материалы и методы;
- Результаты и их обсуждение;
- Выводы.

Библиографический список должен быть составлен в соответствии с последовательностью ссылок в тексте.

Информация об авторах
Вклад авторов

Требования к оформлению статьи

1. **Шрифт** Times New Roman, размер – 14 пт, интервал – 1,5. Буквы латинского алфавита выделяются курсивом, греческого и русского алфавитов, индексы и показатели степени, математические символы \lim , \lg , const , \sin , \cos , tg , \min , \max и др. приводятся в прямом начертании. Аббревиатуры должны быть пояснены. Диапазон любых значений указать в виде многоточия («...»: 13,25...13,50), кроме периода лет, где используется дефис («-»: 5-6).

2. **Рисунки** (иллюстрации, графики, диаграммы, схемы) должны иметь качество 300 dpi для растровых изображений (например, фотографий), их обрезка должна производиться до вставки в документ. Каждый график, диаграмма или схема вставляется в текст как объект MS Excel. Наименования осей, единицы измерения физических величин и прочие надписи должны быть выполнены на русском и английском языке.

Рисунки должны иметь сквозную нумерацию, название и ссылку в тексте: (рис. 1). Каждый рисунок должен иметь подрисовочную подпись, в которой даётся объяснение всех его элементов.

3. **Таблицы** должны иметь сквозную нумерацию и заголовки. К таблицам и рисункам необходим англоязычный перевод подрисовочных подписей и заголовков. Сокращать слова в таблице не допускается.

4. Для набора **формул** необходимо использовать программы Math Type (в приоритете) либо Equation. Недопустимо вставлять уравнения в текст в виде растровых либо векторных изображений. Простые математические выражения, не содержащие дробей, корней, сложных индексов и т.д. (цифры и буквы (русские, латинские, греческие; знаки, имеющиеся в таблице символов), размещаются в тексте без использования специальных программ. Формулы должны создаваться одним объектом, а не состоять из частей. Править стили отдельных букв (приводить их к прямому начертанию) в уравнении, набранном в разрешённых программах, неприемлемо.

Формулы и уравнения печатаются с новой строки и центрируются. Все обозначения в формулах должны быть объяснены с указанием единиц измерения в системе СИ. Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в тексте статьи.

5. **Список литературы** к статье необходимо составлять в порядке цитирования, библиографическое описание – согласно ГОСТ Р 7.0.5-2008. Все ссылки должны быть оформлены единообразно: только с точкой, без тире между частями описания. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. В тексте статьи ссылки на источник цитирования приводятся в квадратных скобках, в конце предложения перед точкой и размещаются последовательно в тексте статьи по мере упоминания. Названия цитируемых журналов приводятся полностью, без сокращений. Необходимо также при наличии указывать DOI цитируемой статьи.

Перевод названия статьи, ФИО, аффилиации, аннотации, ключевых слов и списка литературы должен выполняться качественно (механический перевод недопустим!)

Автор несёт ответственность за содержание статьи.

Статьи присылать по адресу: agroeng@rgau-msha.ru