



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. Алипичев

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

Подписано в печать 22.11.2024
Формат 60 84/8
Тираж 500 экз.

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

Главный научный редактор

Михаил Никитичевич 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 Алипичев, канд. пед. наук, доцент кафедры иностранных и русских 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

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

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/0000-0001-8469-8052>, oaleonov@rgau-msha.ru

Тамара Петровна Кобозева, д-р. с.-х. наук, профессор ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва, Россия), tkobozeva@rgau-msha.ru
Алексей Иванович Купреенко, 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>, kupreenkoai@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>, aevshin@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

Ирена 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 кафедры «Теоретическая электротехника», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>, v.storcheyov@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

Иностраные 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@rambler.ru

Павел Викторович Авраменко, 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>, quangoang1510@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 22.11.2024

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
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
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. Storchevoy, DSc (Eng), Professor, Professor of the Department of Theoretical Electrical Engineering; Moscow Aviation Institute (National Research University) (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>, v.storchevoy@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
Snezhan 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

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

А.С. Свиридов, М.Е. Чаплыгин Р.А. Попов Исследование стойкости стеблей лубяных культур к абразивному истиранию.....	4
В.В. Кузнецов, А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, С.Х. Исаев, С.М. Михайличенко Обоснование элементов механизированной операции и рационального типа распылителя для уничтожения сорной растительности в рядах малины гербицидом.....	11
А.Ю. Несмиян, А.Г. Арженовский, М.Ю. Горенков Доопытная оценка влияния угла атаки рабочего органа бороны-мотыги на эффективность воздействия на почву.....	19
С.С. Воложанинов, Н.В. Алдошин, А.А. Завалий, Д.Д. Волобуев Экспериментальное исследование температурного поля в слое почвы при нагреве сверхвысокочастотным излучением.....	28
С.И. Некрасов, А.В. Шитикова, А.С. Апатенко Оптимизация перевозки сельскохозяйственной продукции с применением технологий имитационного моделирования.....	36
О.Н. Дидманидзе, В.И. Пляка Лабораторно-полевые испытания экспериментальной сеялки для сплошного посева газонных трав: определение показателей качества.....	44
Е.Л. Чепурина, А.В. Чепурин, Д.Л. Кушнарева Технический сервис машин и оборудования животноводства: состояние и перспективы его организации.....	49

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

М.Н. Ерохин, С.П. Казанцев, И.Ю. Игнаткин, К.М. Логачев, Д.М. Скороходов Критическая толщина упрочняющего покрытия на рабочих поверхностях деталей распылителя форсунки.....	56
А.В. Чавдаров, Ю.В. Катаев, А.А. Мамедов, Н.А. Попов Исследование адгезионной прочности напыленного покрытия для ремонта рабочей поверхности гильз цилиндров.....	63
Е.А. Улюкина, О.П. Андреев, С.С. Гусев, А.А. Андреев, А.В. Меликов Очистка биотоплива с помощью высокопористого полимерного фильтра.....	71

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

А.В. Виноградова, А.В. Виноградов, А.В. Букреев Удельные показатели надежности электрических сетей 0,4 кВ.....	77
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Л.В. Занфирова, Т.П. Коваленок, М.В. Шингарева Социально-психологические барьеры создания инклюзивной образовательной среды в аграрном вузе.....	86
М.В. Григорьева Разработка профессионально-ориентированного содержания дисциплины «Химия» для студентов агроинженерных направлений подготовки.....	93

CONTENTS

FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

A.S. Sviridov, M.E. Chaplygin R.A. Popov Study of the resistance of bast fiber crop stems to abrasive wear.....	4
V.V. Kuznetsov, A.I. Kupreenko, K.M. Isaev, S.K. Isaev, S.M. Mikhailichenko Rationale for the elements of a mechanized operation and a sprayer type for killing weeds with a herbicide in raspberry rows.....	11
A.Yu. Nesmiyan, A.G. Arzhenovskiy, M.Yu. Gorenkov Pre-experimental assessment of the influence of the approach angle of the working element of a harrow-hoe on the efficiency of impact on the soil.....	19
S.S. Volozhaninov, N.V. Aldoshin, A.A. Zavaliy, D.D. Volobuev Experimental study of the temperature field in the soil layer when heated by ultrahigh frequency radiation.....	28
S.I. Nekrasov, A.V. Shitikova, A.S. Apatenko Optimization of transportation of agricultural products using simulation technologies.....	36
O.N. Didmanidze, V.I. Plyaka Laboratory and field tests of an experimental seeder for close seeding of lawn grasses: determining the quality indicators.....	44
E.L. Chepurina, A.V. Chepurin, D.L. Kushnareva Technical service of livestock machinery and equipment: current state and prospects of its organization.....	49

TECHNICAL SERVICE IN AGRICULTURE

M.N. Erokhin, S.P. Kazantsev, I.Yu. Ignatkin, K.M. Logachev, D.M. Skorokhodov Critical thickness of the hardening coating layer on the working surfaces of injector nozzle parts.....	56
A.V. Chavdarov, Yu.V. Kataev, A.A. Mamedov, N.A. Popov Study of the adhesion strength of sprayed coating used to repair cylinder faces.....	63
E.A. Ulyukina, O.P. Andreev, S.S. Gusev, A.A. Andreev, A.V. Melikov Biofuel purification using a highly porous polymer filter.....	71

POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION

A.V. Vinogradova, A.V. Vinogradov, A.V. Bukreev Study of specific reliability indicators of 0.4 kV power networks.....	77
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

THEORY AND METHODOLOGY OF PROFESSIONAL EDUCATION

L.V. Zanfirova, T.P. Kovalenok, M.V. Shingareva Socio-psychological barriers to creating an inclusive educational environment in an agricultural university.....	86
M.V. Grigoryeva Development of job-related content of the "Chemistry" subject for students of agro-engineering training areas.....	93

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 633.522:631.352.5

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-4-10>



Исследование стойкости стеблей лубяных культур к абразивному истиранию

А.С. Свиридов¹, М.Е. Чаплыгин² Р.А. Попов³

^{1,2} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия

³ Федеральный научный центр лубяных культур; г. Тверь, Россия

¹ sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>

² misha2728@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0031-6868>

³ r.popov@fncl.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9400-3530>

Аннотация. Разработка технических средств с оптимальными конструктивными параметрами для уборки лубяных культур тесно связана с механико-технологическими свойствами растительного материала, характеризующими строение стебля, сопротивление воздействию на него нагрузкам, поведение при различных деформациях и разрушении, трение о рабочие поверхности и т.д. Лубяные культуры – такие, как техническая конопля, содержат в стеблях лубяные волокна, обладающие абразивными свойствами и являющиеся причиной быстрого износа режущих кромок ножей. Однако стойкость стеблей к абразивному истиранию не изучена. С целью определения стойкости волокнистого слоя стеблей конопли к абразивному истиранию проведены исследования физико-механических и прочностных свойств стеблей технической конопли трех сортов: Людмила, Надежда и Сурская. Исследование микрорельефа поверхности лубоволокнистого слоя технической конопли проводилось методом атомно-силовой микроскопии на сканирующем зондовом микроскопе. Эксперимент по истиранию реализовывался на ротационном абразиметре АТ-100 в соответствии с ГОСТ Р 17076-1-2014. Исследование микрорельефа показало более развитую внешнюю поверхность с ярко выраженной волокнистой структурой. Наибольшие различия микронеровностей наблюдались между нижней и верхушечной частью стебля. Показатели, характеризующие механические свойства лубяных волокон – такие, как эластичность, твердость и модуль упругости, отличались в разных частях стебля. Наибольшее значение модуля упругости и твердости волокон выявлено в средней части стебля. Экспериментальные данные объемного износа лубоволокнистого слоя стеблей технической конопли показали, что наибольшей стойкостью к истиранию обладают стебли сорта Надежда (индекс истирания – 1,67), наименьшей – сорт Людмила (индекс истирания – 3,71). Результаты исследований необходимо учитывать при проектировании и разработке инновационных уборочных машин и выборе материалов режущих кромок ножей, устойчивых к абразивному истиранию.

Ключевые слова: лубяные культуры, техническая конопля, лубяные волокна, стебли, индекс истирания, механические свойства лубяных волокон, стойкость стеблей к абразивному истиранию

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственных заданий: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ № FGUN-2022-0007 и № FGUN-2022-0009, а также ФГБНУ ФНЦ ЛК № FGSS-2022-0005.

Для цитирования: Свиридов А.С., Чаплыгин М.Е., Попов Р.А. Исследование стойкости стеблей лубяных культур к абразивному истиранию // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 4-10. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-4-10>

ORIGINAL ARTICLE

Study of the resistance of bast fiber crop stems to abrasive wear**A.S. Sviridov¹, M.E. Chaplygin², R.A. Popov³**^{1,2}Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia³Federal Research Center for Bast Fiber Crops; Tver, Russia¹sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>²misha2728@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0031-6868>³r.popov@fncll.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9400-3530>

Abstract. The development of technical means with optimal design parameters for harvesting bast fiber crops is closely related to the mechanical and technological properties of plant material. These properties characterize the structure of the stem, resistance to loads acting on it, behavior under various deformations and destruction, friction on working surfaces, etc. The stems of bast fiber crops, such as industrial hemp, contain fibers that have abrasive properties and cause rapid wear of the cutting edges of knives. However, there are still no studies of the resistance of the stems to abrasive wear. In order to determine the resistance of the fibrous layer of hemp stems to abrasive wear, the authors studied the physico-mechanical and strength properties of the stems of industrial hemp of three varieties – Lyudmila, Nadezhda, and Surskaya. The authors studied the micro-relief of the surface of the bast fiber layer of industrial hemp using atomic force microscopy with a scanning probe microscope. The abrasion experiment was carried out on the AT-100 rotary abrasion tester in accordance with GOST R17076-1-2014. The study of the microrelief showed a more developed outer surface with a brightly colored fibrous structure. The greatest differences in microroughnesses were observed between the lower and apical parts of the stem. Indicators characterizing the mechanical properties of bast fibers, such as elasticity, hardness and modulus of elasticity, differed in various parts of the stem. The greatest value of the modulus of elasticity and hardness of the fibers was found in the middle part of the stem. Experimental data on the volumetric wear of the bast fiber layer of industrial hemp stems showed that the stems of the Nadezhda variety have the highest abrasion resistance (an abrasion index of 1.67), the Lyudmila variety has the lowest (an abrasion index of 3.71). The research results should be taken into account when designing and developing innovative harvesting machines and choosing abrasive wear-resistant materials to manufacture the cutting edges of knives.

Keywords: bast fiber crops, industrial hemp, bast fibers, stems, abrasion index, mechanical properties of bast fibers, resistance of stems to abrasive wear

Funding: The research was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of State assignments: Federal Scientific Agroengineering Center VIM No. FGUN-2022-0007 and No. FGUN-2022-0009, as well Federal Scientific Center for Bast Crops No. FGSS-2022-0005.

For citation: Sviridov A.S., Chaplygin M.E., Popov R.A. Study of the resistance of bast fiber crop stems to abrasive wear. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(6):4-10. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-4-10>

Введение

Для эффективного выполнения технологических операций в сельскохозяйственном производстве важно знать механико-технологические свойства и агробиологические особенности возделываемых культур, проявляемые при воздействии на них нагрузок и при механической обработке. Эти данные необходимо учитывать при разработке и проектировании рабочих органов уборочных машин [1].

В процессе уборки лубяных культур происходит взаимодействие стеблей между собой и с рабочими органами сельскохозяйственных машин. При этом возникают силы трения, обеспечивающие захват

и удержание стеблей при их срезе и транспортировке, оказывающие влияние на траекторию движения растительного материала, вызывающие непроизвольные энергозатраты и повреждение самих стеблей и т.д. Характер контактной деформации является неодинаковым, поскольку различные материалы различаются своей структурой, шероховатостью поверхности и величиной модуля упругости [2, 3].

Лубяные культуры, такие, как техническая конопля (безнаркотическая), в фазе биологического созревания содержат в своих стеблях длинные и прочные лубяные волокна, обладающие абразивными свойствами, что является причиной быстрого износа

режущих кромок ножей срезающих и измельчающих аппаратов, других деталей и узлов, а также забивок, намоток на вращающиеся элементы и преждевременного выхода их из строя [4, 5].

Научно обоснованное проектирование сельскохозяйственных машин требует глубокого изучения свойств и особенностей возделываемых культур, которые нужно учитывать при силовых расчетах, выборе формы и материалов для изготовления деталей и т.д. Изучению свойств лубяных культур посвящен ряд работ [1, 5-7], однако стойкость стеблей к абразивному истиранию недостаточно исследована.

Цель исследований: определение стойкости волокнистого слоя стеблей технической конопли к абразивному истиранию.

Материалы и методы

Методика включала в себя исследование микро-рельефа поверхности стебля (лубоволокнистого слоя) технической конопли методом атомно-силовой микроскопии на сканирующем зондовом микроскопе для построения трехмерных изображений [2], а также лабораторные исследования стойкости лубоволокнистого слоя к абразивному истиранию.

Эксперимент по истиранию проводился на ротационном абразиметре марки АТ-100 (рис. 1) в лаборатории инновационных конструкционных полимерных, композитных и биокompозитных материалов деталей сельскохозяйственных машин ФГБНУ ФНАЦ ВИМ по методу Табера в соответствии с ГОСТ Р 17076-1-2014 «Кожа. Определение сопротивляемости истиранию. Часть 1. Метод Табера»¹. Абразиметр АТ-100 состоит из горизонтальной платформы с приводом от электродвигателя, вращающейся

со скоростью 60 об/мин, съемного плоского держателя в форме круга, пары поворотных консолей для удерживания абразивных кругов, вакуумной насадки, счетчика числа оборотов платформы, абразивных кругов и дополнительных грузов для увеличения силы их прижатия к образцу.

Испытуемый образец вращается вокруг вертикальной оси против направления движения двух абразивных кругов, прижатых к образцу с определенным усилием и скользящих по нему. Один абразивный круг истирает образец в направлении его границы, другой – внутри, по направлению к центру.

В качестве исследуемого материала использовалась техническая конопля селекции Федерального научного центра лубяных культур (ОП Пензенский НИИСХ). Образцы стеблей отбирались в Пензенской области согласно методике² в полевых условиях в период уборки. Исследовались перспективные сорта технической конопли среднерусского экотипа зеленцового и двустороннего (семена + волокно) направления возделывания: Людмила, Надежда, Сурская. Данные сорта характеризуются высоким содержанием волокна в стеблях, пригодны для механизированной уборки и рекомендованы к возделыванию в Центральном, Центрально-Черноземном и Средневолжском регионах.

Абразивный износ V_i образцов стеблей определяли по формуле:

$$V_i = M - M_1, \quad (1)$$

где M – масса образцов растительного материала до испытаний, г; M_1 – масса образцов после испытаний, г.

Исходные данные и характеристика исследуемого материала приведены в таблице 1.



Рис. 1. Общий вид абразиметра АТ-100 и образцы технической конопли
Fig. 1. General view of the AT-100 abrasive meter and samples of plant material

¹ГОСТ Р 17076-1-2014 «Кожа. Определение сопротивляемости истиранию. Часть 1. Метод Табера». М.: Стандартинформ, 2015. 6 с.

²Методические указания по селекции конопли и производственной проверке законченных научно-исследовательских работ / ВАСХНИЛ, Отделение растениеводства и селекции, ВНИИ лубяных культур. М.: ВАСХНИЛ, 1980. 30 с.

Таблица 1

Исходные данные для проведения исследований

Table 1

Initial data for conducting research

Показатель <i>Parameter</i>	Сорт технической конопли / <i>Industrial hemp variety</i>		
	Людмила <i>Lyudmila</i>	Надежда <i>Nadezhda</i>	Сурская <i>Surskaya</i>
Влажность стеблей, % / <i>Humidity of stems, %</i>	55	55	55
Урожайность стеблей, т/га / <i>Yield of stems, t/ha</i>	12,3	9,0	8,4
Высота растения, м / <i>Plant height, m</i>	2,2...2,7	2,0...2,2	2,0...2,5
Содержание волокна в стеблях, % / <i>Fiber content in stems, %</i>	30...33	26...29	28...30
Диаметр образцов стеблей, мм / <i>Diameter of the stem samples, mm</i>	23	22	21
Длина образцов стеблей, мм / <i>Length of stem samples, mm</i>	150	150	150
Число циклов испытаний, шт. / <i>Number of test cycles, no.</i>	1000	1000	1000

В ходе подготовки опытных образцов стебли разрезали вдоль оси, снимали с них лубоволокнистый слой, который разворачивали и наклеивали на круг из плотной бумаги. В качестве клея использовался поливинилацетат (ПВА). Для лучшего прилегания стеблей к бумаге все образцы перед испытаниями помещали под пресс и выдерживали в течение 24 ч. От каждого сорта исследовалось по два комплекта образцов.

Результаты и их обсуждение

Среди лубяных культур лен и техническая конопля выделяются высоким содержанием волокна, целлюлозы и наименьшим содержанием лигнина в структуре стеблей. Лубоволокнистый слой конопли состоит из длинных элементарных волокон, имеющих высокую прочность на разрыв и обладающих низкими биоразлагаемыми свойствами, поэтому техническая конопля является идеальным источником для армирования композитов [8].

Результаты исследований физико-механических и технологических свойств волокон конопли [8] показывают, что их механические свойства (эластичность, твердость и модуль упругости) в разных

частях стебля различаются. Наибольшие значения модуля упругости и твердости волокон наблюдаются в средней части стебля (табл. 2).

Результаты углубленных исследований микрорельефа поверхности стебля (лубоволокнистого слоя) технической конопли методом атомно-силовой микроскопии [2] представлены на рисунке 2.

Анализ рельефа поверхности лубоволокнистого слоя на микрометровом уровне в разных частях стебля показал заметные различия в структуре волокон. Микрорельеф внешней поверхности более развит и характеризуется ярко выраженной волокнистой структурой. Наибольшие различия микронеровностей наблюдаются в комлевой (нижней) и верхушечной частях стебля. Результаты обработки профилограмм свидетельствуют об уменьшении размера элементарных волокон в верхушечной части.

Рабочие органы уборочных машин и других технических средств, воздействуя на стебли лубяных культур, подвергают их определенным деформациям. Надежность рабочих органов зависит от свойств материала, его сопротивления воздействию нагрузкам, плотности, жесткости и т.д. [1]. Для надежной работы техники важно рассчитать нагрузки,

Таблица 2

Физико-механические свойства лубяных волокон технической конопли

Table 2

Physical and mechanical properties of bast fibers

Часть стебля / <i>Hemp stem</i>	Модуль упругости, ГПа / <i>Elastic modulus, GPa</i>	Твердость, ГПа / <i>Hardness, GPa</i>
Комлевая / <i>Main part</i>	14,0	0,45
Средняя / <i>Middle part</i>	16,9	0,52
Верхушечная / <i>Apical part</i>	8,1	0,37

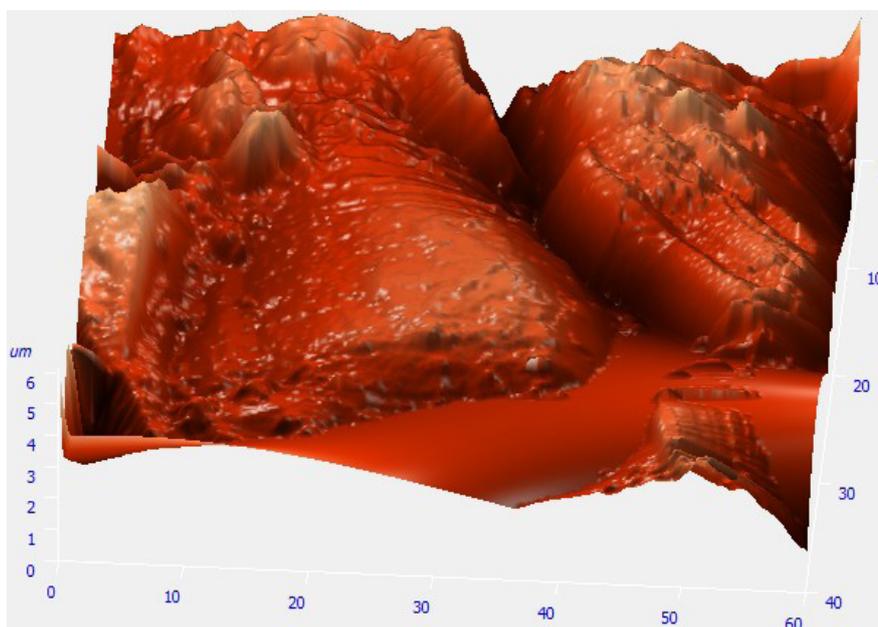
используя данные параметры, а также учитывать поведение растительного материала при деформации.

По результатам абразивного истирания образцов стеблей конопли получены данные объемного износа в результате воздействия абразивных кругов (табл. 3). Предложен новый показатель, характеризующий степень разрушения лубоволокнистого слоя в результате воздействия абразивного материала, обозначенный как индекс истирания.

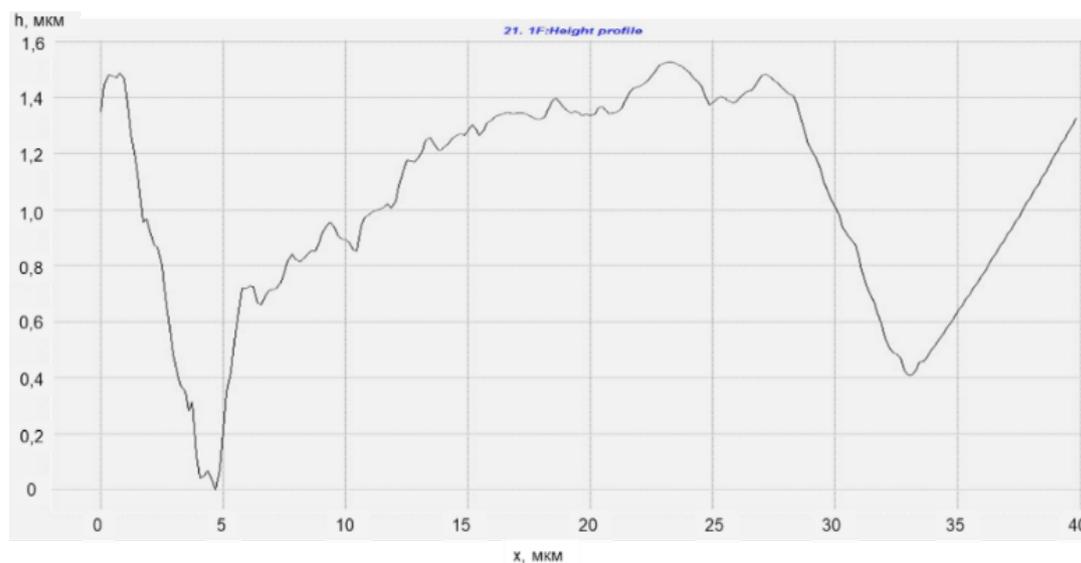
В процессе истирания происходит постепенное разрушение волокон и падение прочности волокна и луба. Характер изменений индекса истирания у каждого сорта различен, что, вероятнее всего, объясняется совокупностью свойств растительного

материала. Наибольшую стойкость к объемному износу имеют образцы конопли сорта Надежда (индекс истирания – порядка 1,67), наименьшую – сорт Людмила (индекс истирания – порядка 3,71). Разница в износе исследуемых образцов может быть обусловлена различной структурой и механическими свойствами лубяных волокон, а также процентным содержанием волокна в стеблях растений (сорт Надежда – 26...29%, сорт Людмила – 30...33%).

Полученные результаты исследований будут использованы в дальнейшей работе, связанной с повышением износостойкости и упрочнением трущихся поверхностей рабочих органов сельскохозяйственных машин для уборки лубяных культур.



а)



б)

Рис. 2. 3D-изображение (а) и характерная профилограмма рельефа поверхности (б) стебля конопли (разрешение 40×60 мкм)

Fig. 2. 3-D image (a) and characteristic profile of the relief (b) of hemp stem surface (resolution of 40×60 microns)

Таблица 3

Результаты испытаний

Table 3

Research results

Сорт технической конопли <i>Industrial hemp variety</i>	Масса, г / <i>Weight, g</i>		Индекс истирания <i>Abrasion index</i>
	до испытания / <i>before testing</i>	после испытания / <i>after testing</i>	
Людмила 1 / <i>Lyudmila 1</i>	7,4980	4,0026	3,4954
Людмила 2 / <i>Lyudmila 2</i>	7,2537	3,5400	3,7137
Надежда 1 / <i>Nadezhda 1</i>	9,3642	5,8060	3,5582
Надежда 2 / <i>Nadezhda 2</i>	9,3808	7,7207	1,6601
Сурская 1 / <i>Surskaya 1</i>	6,9729	4,4360	2,5369
Сурская 2 / <i>Surskaya 2</i>	6,9427	4,0228	2,9199

Выводы

1. Исследования физико-механических и прочностных свойств стеблей технической конопли трех сортов (Людмила, Надежда и Сурская) показали особенности микрорельефа поверхности разных частей стебля. Внешняя поверхность более развита и имеет ярко выраженную волокнистую структуру. Наибольшие различия микронеровностей наблюдаются между нижней и верхушечной частями стебля. Также отличаются и показатели, характеризующие механические свойства лубяных волокон, такие, как эластичность, твердость и модуль упругости. Наибольшее

значение модуля упругости и твердости волокон выявлено в средней части стебля.

2. По результатам истирания растительного материала установлено, что наибольшей стойкостью к объемному износу обладают стебли конопли сорта Надежда (индекс истирания – 1,67), наименьшей – сорт Людмила (индекс истирания – 3,71). Это необходимо учитывать при проектировании и разработке инновационных технических средств, выборе материалов для изготовления деталей, которые будут устойчивыми к воздействию убираемых культур.

Список источников

- Ковалев М.М., Просолов С.В., Перов М.Г., Шишин Д.А. Результаты исследований сопротивления растительных материалов изгибу при взаимодействии с рабочими органами уборочных машин // Наука в Центральной России. 2021. № 2 (50). С. 5-12. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-2-5-12>
- Попов Р.А., Уткин А.А., Барабанова Е.В. Исследование микрорельефа поверхности стебля конопли для проектирования рабочих органов коноплеуборочных машин // Аграрный научный журнал. 2022. № 5. С. 86-89. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp86-89>
- Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Попов Р.А., Романенко В.Ю., Ростовцев А.А. Определение коэффициентов трения стеблей льна по характеристикам шероховатости // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. Т. 13, № 1. С. 41-47. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-13-1-41-47>
- Пашин Е.Л., Жукова С.В., Пашина Л.В., Степанов Г.С. Исследование морфологических и технологических свойств стеблей новых сортов конопли // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2010. № 4 (325). С. 21-24. EDN: OTWWXJ
- Хайлис Г.А., Ковалёв М.М. О свойствах с.-х. материалов, учитываемых при создании новой техники // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 8. С. 3-4. EDN: QZZAHV
- Бойко Г.А., Тихосова А.А., Кутасов А.В. Исследование физико-механических свойств конопляного котонина // Материалы и технологии. 2018. № 2 (2). С. 14-17. <https://doi.org/10.24411/2617-149X-2018-12002>

References

- Kovalev M.M., Prosolov S.V., Perov M.G., Shishin D.A. Study results on the resistance of plant materials to bending when interacting with the working elements of harvesting machines. *Science in the Central Russia*. 2021;2(50):5-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-2-5-12>
- Popov R.A., Utkin A.A., Barabanova E.V. The hemp stalk surface microrelief research for the hemp harvesting working tools design. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2022;5:86-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp86-89>
- Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Popov R.A., Romanenko V.Yu., Rostovtsev A.A. Calculation of the friction coefficients of flax stems according to their roughness characteristics. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2019;13(1):41-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-13-1-41-47>
- Pashin E.L., Zhukova S.V., Pashina L.V., Stepanov G.S. Research of morphological and technological properties of stalks of the small hemp new cultivars. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti*. 2010;4(325):21-24. (In Russ.)
- Khailis G.A., Kovalev M.M. On agricultural materials' properties taken into consideration during new machinery development. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2013;8:3-4. (In Russ.)
- Boyko G.A., Tikhosova A.A., Kutasov A.V. Investigation of physical and- mechanical properties of hemp cottonine. *Materials and Technologies*. 2018;2(2):14-17. (In Russ.)

7. Клевцов К.Н., Соболев О.А. Исследование новых механических воздействий в процессе декортикаций растительно-го сырья // Вестник Херсонского национального технического университета. 2014. № 2 (49). С. 73-79. EDN: SFRBIZ

8. Xiaoping Li, Siqun Wang, Guanben Du, Zhangkang Wu, Yujie Meng. Variation in physical and mechanical properties of hemp stalk fibers along height of stem. *Industrial Crops and Products*. 2013;42(1):344-348. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.043>

Информация об авторах

Алексей Сергеевич Свиридов^{1✉}, младший научный сотрудник; sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>

Михаил Евгеньевич Чаплыгин², канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; misha2728@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0031-6868>

Роман Андреевич Попов³, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; r.popov@fncl.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9400-3530>

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

³ Федеральное научное учреждение лубяных культур; 170041, Российская Федерация, г. Тверь, Комсомольский пр-т, 17/56

Вклад авторов

А.С. Свиридов – проведение лабораторных исследований, лабораторное обеспечение, подготовка начального текста статьи;

М.Е. Чаплыгин – разработка концепции исследований, общее руководство, постановка цели, верификация исследований; Р.А. Попов – подготовка образцов, анализ результатов исследований, доработка, редактирование и визуализация рукописи, утверждение финальной версии

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 12.04.2024; поступила после рецензирования и доработки 15.10.2024; принята к публикации 16.10.2024

7. Klevtsov K.N., Sobolev O.A. Investigation of new mechanical influences during decortication plant materials. *Vestnik KHNTU*. 2014;2(49):73-79. (In Russ.)

8. Xiaoping Li, Siqun Wang, Guanben Du, Zhangkang Wu, Yujie Meng. Variation in physical and mechanical properties of hemp stalk fibers along height of stem. *Industrial Crops and Products*. 2013;42(1):344-348. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.043>

Author Information

Aleksey S. Sviridov^{1✉}, Junior Research Engineer; sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>

Mikhail E. Chaplygin², CSc (Eng), Lead Research Engineer; misha2728@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0031-6868>

Roman A. Popov³, CSc (Eng), Lead Research Engineer; r.popov@fncl.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9400-3530>

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

³ Federal Research Center for Bast Fiber Crops; Komsomolsky Ave., 17/56, Tver, 170041, Russian Federation

Author Contribution

A.S. Sviridov – laboratory investigation and support, writing – original draft preparation;

M.E. Chaplygin – research conceptualization, research supervision, goal setting, research data verification;

R.A. Popov – writing – original draft preparation, analysis of research results, editing, visualization, writing – manuscript review and finalizing

Conflict of interests

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

Received 12.04.2024; Revised 15.10.2024; Accepted 16.10.2024.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.348.46

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-11-18>

Обоснование элементов механизированной операции и рационального типа распылителя для уничтожения сорной растительности в рядах малины гербицидом

В.В. Кузнецов¹, А.И. Купреенко², Х.М. Исаев³, С.Х. Исаев⁴, С.М. Михайличенко⁵

^{1,2,3,4}Брянский государственный аграрный университет; Брянская область, Россия

⁵Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

¹vlg3k@rambler.ru; <https://orcid.org/0009-0002-0595-2521>

²kupreenkoai@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>

³haf-is@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>

⁴Samir.isaev.94@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>

⁵S.M. Mikhailichenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2305-2909>

Аннотация. Уничтожение сорной растительности в рядах малины агротехническим способом в России имеет низкий уровень механизации, и внесение гербицидов не практикуется. Поэтому конструктивные параметры и режимы работы опрыскивателей для уничтожения сорной растительности в рядах малины химическим способом недостаточно исследованы. С целью решения этой проблемы проведены эксперименты по оценке равномерности осаждения жидкости различного типа распылителями по ширине захвата в зависимости от высоты установки, углов наклона и скорости ветра. Исследования проведены в лабораторных условиях Брянского ГАУ и Всероссийского института защиты растений, г. С.-Петербург-Пушкин, с использованием распределительного стенда. Показателем равномерности осаждения жидкости по ширине захвата распылителя принят коэффициент вариации. Установлено, что наиболее рациональным по геометрическим параметрам образуемого капельного факела и дисперсности распыла является щелевой распылитель IS желтого цвета. В зависимости от скорости ветра изменение высоты установки распылителя от 0,1 до 0,7 м приводит к снижению коэффициента вариации с 68 до 10%. При высоте установки распылителя от 0,3 до 0,7 м увеличение угла наклона распылителя навстречу воздушному потоку приводит к увеличению коэффициента вариации, а при расположении от 0,1 до 0,3 м коэффициент вариации снижается. Влияние рассматриваемых факторов на коэффициент вариации носит нелинейный характер, что дает основание предположить о существовании глобального экстремума и необходимости дальнейших испытаний.

Ключевые слова: ряды малины, уничтожение сорной растительности, гербицид, внесение гербицидов, распылитель, высота установки распылителя, угол наклона распылителя, коэффициент вариации

Для цитирования: Кузнецов В.В., Купреенко А.И., Исаев Х.М., Исаев С.Х., Михайличенко С.М. Обоснование элементов механизированной операции и рационального типа распылителя для уничтожения сорной растительности в рядах малины гербицидом // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 6. С. 11-18. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-11-18>

ORIGINAL ARTICLE

Rationale for the elements of a mechanized operation and a sprayer type for killing weeds with a herbicide in raspberry rows

V.V. Kuznetsov¹, A.I. Kupreenko², K.M. Isaev³, S.K. Isaev⁴, S.M. Mikhailichenko⁵

^{1,2,3,4}Bryansk State Agrarian University; Bryansk, Russia

⁵Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

¹vlg3k@rambler.ru; <https://orcid.org/0009-0002-0595-2521>

²kupreenkoai@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>

³haf-is@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>

⁴Samir.isaev.94@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>

⁵S.M. Mikhailichenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2305-2909>

Abstract. The agrotechnology of weed killing in raspberry rows is poorly mechanized in Russia. Unlike in other countries, herbicides are not typically applied in the raspberry rows. Therefore, there has been little study of the design parameters and operating modes of sprayers used for killing weeds chemically in raspberry rows. The authors used

a distribution trial unit for carrying out experiments to evaluate the liquid deposition uniformity of various types of sprayers along working width, depending on the installation height, tilt angles and wind speed. The experiments were carried out in the laboratory conditions of Bryansk State Agrarian University and All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg-Pushkin. The coefficient of variation was used as an indicator of the liquid deposition uniformity over the working width of the sprayer. It has been established that the IS yellow slot sprayer is the most rational option in terms of geometric parameters of the formed drip torch and spray dispersion. Changing the height of the sprayer installation from 0.1 to 0.7 meters leads to a decrease in the coefficient of variation from 68 to 10%, depending on the wind speed. An increase in the angle of inclination of the sprayer towards the airflow at a height of 0.3 to 0.7 meters leads to an increase in the coefficient of variation, and in the height range of the sprayer from 0.1 to 0.3 meters – to a slight decrease in the coefficient of variation. The influence of the considered factors on the coefficient of variation is nonlinear, which suggests the existence of a global extremum and the need for further tests.

Keywords: rows of raspberry, weed killing, herbicide, application of herbicides, sprayer, sprayer installation height, sprayer inclination angle, coefficient of variation

For citation: Kuznetsov V.V., Kupreenko A.I., Isaev K.M., Isaev S.K., Mikhailichenko S.M. Rationale for the elements of a mechanized operation and a sprayer type for killing weeds with a herbicide in raspberry rows. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(6):11-18. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-11-18>

Введение

Согласно прогнозу¹ на 2024–2028 гг. в России будет ежегодно расти спрос на свежую малину. В рамках государственной программы «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия Брянской области» производителям предоставляется субсидия в размере свыше 45,5 млн руб. [1]. В хозяйствах Брянской области² ягодные культуры возделываются на площади свыше 0,6 тыс. га, а урожайность ягод с 1 га варьируется от 68,4 до 79,5 ц.

В России комплекс операций по уходу за ягодными плантациями включает в себя химическую защиту в основном от болезней и вредителей³. Технические средства химической защиты растений малины постоянно совершенствуются: оптимизируются конструкции штанг и их крепления к энергетическому средству [2, 3]; разрабатываются конструкции машин, выполняющих несколько технологических операций [4]; создаются различного типа распылители [5]. Однако известные конструкции садовых опрыскивателей не предназначены для работы с гербицидами в рядах малины. Агротехнический способ уничтожения сорной растительности в рядах промышленных плантаций малины имеет низкий уровень механизации и высокую трудоемкость, что существенно повышает

себестоимость продукции. Например, затраты на выполнение ручных и механизированных работ на плантации малины площадью 4 га составляют 45,2% от общих затрат⁴. В России в отличие от других стран при выращивании малины внесение гербицидов для борьбы с сорняками не применяют, а используют различные агротехнические методы [6]. В связи с этим конструктивные параметры и режимы работы опрыскивателей для выполнения операции уничтожения сорной растительности в рядах малины химическим способом недостаточно исследованы.

Минимизировать негативное влияние средств химической защиты [7] на окружающую среду можно повышением равномерности распределения пестицидов по поверхности обрабатываемых растений [8] и созданием роботизированных устройств для дифференцированного внесения средств защиты растений, способных распознавать полезную культуру и сорную растительность [9].

Основным рабочим органом опрыскивателей, обеспечивающим качественное распыливание и равномерность осадения препарата на обрабатываемый объект, является распылитель.

Цель исследований: обоснование элементов механизированной операции и рационального типа распылителя для уничтожения сорной растительности в рядах малины гербицидом.

Материалы и методы

Проведен анализ трудов основоположников направления исследований и современных источников.

Анализ внешних условий, влияющих на качество выполнения операции, выполнили с учетом

¹ Анализ рынка малины в России в 2019–2023 гг., прогноз на 2024–2028 гг. (табл. 2. Прогноз спроса на свежую малину в России в 2024–2028 гг.). [Электронный ресурс]. URL: <https://businessstat.ru/catalog/id75287/> (дата обращения: 01.06.2024).

² Сельское хозяйство Брянской области: Статистический сборник / Брянскстат. Брянск, 2023. С. 79.

³ Защита промышленных плантаций малины от основных вредителей. [Электронный ресурс]. URL: <http://asprus.ru/blog/zashhita-promyshlennykh-plantacij-maliny-ot-osnovnykh-vreditelej/> (дата обращения: 01.06.2024).

⁴ Ожерельева М.В. Экономические основы эффективного ягодоводства. Брянск: Изд-во БГСХА, 2007. 217 с.

пространственного расположения необлиственной и облиственной вегетативной части растений малины, ширины рядов и защитных зон. Учитывалось также расположение распылителя относительно культурных и сорных растений.

Технические требования к операции разработаны с учетом внешних условий выполнения и требований, обеспечивающих гарантированное уничтожение сорной растительности в рядах малины.

С целью подбора рационального типа распылителя проанализировали геометрию факелов распыла известных типов распылителей [5, 10].

Предварительно в лабораторных условиях выполнили сравнительные испытания распылителей ОС-0,1 и IS на плотность покрытия каплями обрабатываемой поверхности. Провели оценку дисперсности осажденных на обрабатываемую поверхность капель. Испытания выполнили в лаборатории Брянского ГАУ на оригинальном стенде [11].

Дисперсность распыла и распределение капель по поверхности макета ряда малины фиксировали с помощью разложенных учетных карточек согласно ОСТ 106.1-2000.

Стендовые испытания выполнили на базе Всероссийского института защиты растений, г. С.-Петербург-Пушкин, в лабораторных условиях. Использовалось следующее оборудование: стенд распределительный, штанга крепления и изменения высоты и углов наклона распылителя в поперечной и продольной относительно каналов стенда плоскостях, вентилятор, анемометр, гигрометр, термометр, транспортер, линейка, секундомер.

Стенд распределительный (рис. 1) состоит из стола 1, разделенного ребрами на каналы шириной по 0,05 м, блока мерных цилиндров 2 для сбора жидкости из каждого канала, насосной установки, обеспечивающей подачу жидкости в распылитель под рекомендуемым фирмами производителями для каждого испытуемого распылителя давлением, измеряемым манометром 3, штанги 4, монтируемой над ребристой поверхностью стола. Распылитель устанавливался на штанге с направлением факела вдоль и поперек каналов стенда с возможностью изменения высоты и угла установки в соответствующих реализациях эксперимента.

Исследовался процесс осаждения капель на поверхность стенда в поперечных и продольных сечениях факела распыла, а также изучались характеристики распределения выливаемой распылителем жидкости по ширине факела.

Экспериментальные исследования проводились в статическом режиме методом планирования эксперимента по известной методике⁵.

Планом эксперимента явилась матрица ортогонального центрального композиционного плана третьего порядка⁶ (табл.).

Изменяемыми факторами и уровнями их варьирования являлись:

X_1 – высота установки распылителя (h) над обрабатываемой поверхностью, 0,1...0,7 м;

X_2 – угол наклона распылителя (α) к обрабатываемой поверхности в вертикальной плоскости, поперечной каналам стенда, 0...5 град.;

X_3 – скорость V_v ветра, 0...5 м/с.



Рис. 1. Вид распределительного стенда:

1 – стол; 2 – блок мерных цилиндров; 3 – манометр; 4 – штанга

Fig. 1. View of the distribution trial unit:

1 – table; 2 – block of measuring cylinders; 3 – pressure gauge; 4 – rod

⁵ Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 139 с.

⁶ Статистические методы в инженерных исследованиях / В.П. Бородюк и др.; Под ред. Г.К. Круга. М.: Высшая школа, 1983. 216 с.

Таблица

Ортогональный центральный композиционный план третьего порядка

Table

Orthogonal central compositional plan of the third order

Содержание плана <i>Content of the plan</i>	№ опыта <i>Experiment number</i>	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2
План типа 2^3 <i>Type plan 2^3</i>	1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
	2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
	3	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1
	4	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1
	5	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1
	6	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1
	7	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
	8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
«Звездные» точки <i>“Star” points</i>	9	+1	-1,215	0	0	1,476	0	0
	10	+1	+1,215	0	0	1,476	0	0
	11	+1	0	-1,215	0	0	1,476	0
	12	+1	0	+1,215	0	0	1,476	0
	13	+1	0	0	-1,215	0	0	1,476
	14	+1	0	0	+1,215	0	0	1,476
Нулевая точка / <i>Zero point</i>	15	+1	0	0	0	0	0	0

Откликами являлись объемы q_i жидкости, вылитой распылителем на каждые 5 см ширины захвата (в каждый отдельный канал стенда).

Лабораторные опыты проводились в соответствии с матрицей планирования эксперимента в трехкратной повторности с точностью измерения рабочей жидкости до 1 мл.

Показателем равномерности осаждения жидкости по ширине захвата распылителя принят коэффициент вариации V (%), определяемый по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{q}} \cdot 100, \tag{1}$$

где σ – среднее квадратическое отклонение количества жидкости, собранной в мерные цилиндры от средней величины; \bar{q} – среднее количество жидкости, собранное в отдельные мерные цилиндры в каждом опыте.

Результаты и их обсуждение

По результатам анализа научных публикаций установлены основные факторы, влияющие на качество внесения гербицидов в ряды малины ниже облиственной части растений: ширина рядов малины, высота расположения нижних листьев малины над поверхностью почвы, тип распылителя, давление в распылителе, дисперсность распыла, скорость движения опрыскивателя, скорость ветра, высота установки распылителя над поверхностью почвы, угол наклона распылителя в поперечно-вертикальной и продольно-вертикальной плоскостях. Проанализируем эти факторы с помощью данных рисунка 2.

Средняя ширина рядов l малины при различных технологиях возделывания составляет 0,35...0,60 м, средняя нижняя граница k расположения листьев

растений малины – порядка 0,13 м, а средняя ширина защитной зоны a – около 0,15 м [6].

Как следует из рисунка 2, необходимо использовать движущийся сбоку от ряда малины распылитель, создающий смещенный факел распыла, – например, американский плоскоструйный распылитель типа ОС фирмы Teejet или распылитель типа IS германской фирмы LECHLER.

При использовании таких распылителей условие осаждения гербицида в пределах полосы шириной $l + 2a$ можно обеспечить регулированием угла α наклона распылителя в поперечно-вертикальной плоскости (рис. 2а).

Высоту c плоского факела распыла меньше высоты k расположения нижних листьев малины можно обеспечить регулированием высоты h расположения распылителя над поверхностью почвы и угла β наклона распылителя в продольно-вертикальной плоскости (рис. 2б).

Важным фактором, влияющим на качество уничтожения сорной растительности, является соблюдение равномерного распределения капель рабочей жидкости по поверхности сорных растений на всей обрабатываемой площади. Должна обеспечиваться минимально допустимая плотность (густота) покрытия (МДПП), ниже которой не достигается достаточная биологическая эффективность применения средств защиты растений. Для гербицидов МДПП⁷ составляет в среднем 30 капель на 1 см².

⁷Маркевич А.Е., Немировец Ю.Н. Основы эффективного применения пестицидов: Справочник в вопросах и ответах по механизации и контролю качества применения пестицидов в сельском хозяйстве. Горки: Могилевский государственный учебный центр подготовки, повышения квалификации, переподготовки кадров, консультирования и аграрной реформы, 2004. 60 с.

Номинальное давление в выбранном типе распылителя должно соответствовать его технической характеристике, установленной фирмой-производителем, и нашему исследованию не подлежит.

Исходя из перечисленных условий, к операции внесения гербицидов в ряды малины, направленной на уничтожение сорной растительности, необходимо установить следующие технические требования:

- скорость движения агрегата⁸ должна быть равномерной в диапазоне 1,4...1,7 м/с;
- распылители должны перемещаться сбоку от ряда малины (рис. 1а) на расстоянии, не касаясь растений при колебаниях агрегата, и копировать макро- и мезорельеф поверхности поля, сохраняя заданную высоту над почвой;
- факел распыла должен быть плоским и иметь ограничения по высоте;
- распыливание рабочей жидкости должно быть с минимальной долей мелких и крупных капель.

В результате испытаний распылителей ОС-0,1 и IS получены учетные карточки со следами капель рабочего раствора (рис. 3).

Статистическую обработку характеристик следов капель выполнили с помощью компьютерной программы «Анализатор капель» [13].

Лучшие показатели дисперсности распыла и плотности осаждения капель показал концевой

распылитель IS фирмы LECHLER желтого цвета, который выбран для дальнейших исследований на распределительном стенде.

Выполнив регрессионный анализ результатов экспериментов и проанализировав полученные уравнения регрессии, мы установили зависимость коэффициента вариации равномерности осаждения жидкости по ширине захвата распылителями IS.

По результатам исследований получены характеристики процесса осаждения капель жидкости распылителем IS в поперечных и продольных сечениях факела распыла. Влияние угла наклона распылителя IS на осаждение количества жидкости q в каждом канале стенда в процентах от общего объема осажденной жидкости при отсутствии ветра представлено на рисунке 4.

Вариационные кривые осаждения жидкости распылителем IS желтого цвета при повторностях в продольном и поперечном направлениях имеют по центру широкую равномерную зону, а по краям осаждается небольшое количество жидкости. Это дает возможность при оптимальном расположении распылителя относительно рядов малины достичь равномерного осаждения капель по площади ряда и минимальных потерь гербицидов в междурядье и окружающую среду.

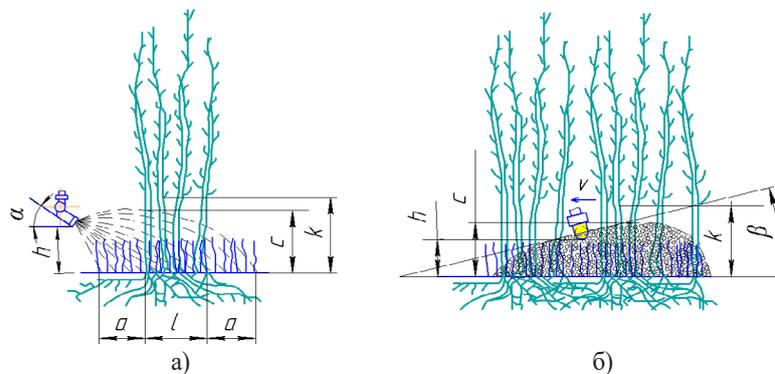


Рис. 2. Схема внесения гербицидов в ряды малины в поперечно-вертикальной (а) и продольно-вертикальной плоскостях (б):

a – ширина защитной зоны; l – ширина рядов; k – нижняя граница расположения листьев; c – высота плоского факела распыла; h , α , β – высота расположения и углы наклона распылителя

Fig. 2. Pattern of herbicide application in raspberry rows in a transversely vertical plane (a) and in a longitudinally vertical plane (b):

a – width of a protective zone; l – width of rows; k – lower boundary of leaves; c – height of a flat spray torch; h , α , β – height of arrangement and inclination angles of the sprayer

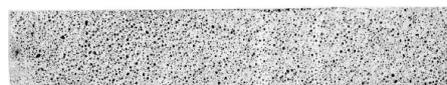


Рис. 3. Вид учетной карточки со следами осажденных капель
Fig. 3. View of the registration card with traces of deposited droplets

⁸ Факторы, влияющие на качество опрыскивания: скорость движения. URL: <https://direct.farm/post/factory-vliayushchiye-nakachestvo-opryskivaniya-skorost-dvizheniya-16108> (дата обращения: 03.05.2024).

Получив аналогичные данные для всех условий работы распылителя, заданных в матрице (табл. 1), выполнили регрессионный анализ результатов экспериментов. Для коэффициента вариации распределения жидкости по ширине захвата одним распылителем получили уравнение регрессии со значимыми коэффициентами:

$$V = 69,53 - 38,76X_1 - 0,77X_2 - 1,47X_3 + 13,10X_1X_2 + 13,75 X_1X_3 - 1,87 X_2X_3 - 66,64X_1^2 - 0,59 X_2^2 + 0,13 X_3^2. \quad (2)$$

Гипотезу о статистической значимости (об отличии от нуля) коэффициентов регрессии проверяли по известной методике с вычислением расчетного $t_{расч}$

критерия Стьюдента и сравнении его с критическим значением $t_{кр}$.

Для проверки адекватности математической модели использовали коэффициент детерминации R^2 .

С помощью уравнения (2) получена зависимость коэффициента вариации распределения жидкости по ширине захвата факела одного распылителя от высоты установки штанги при различной скорости ветра (рис. 5).

Увеличение угла наклона распылителя IS желтого цвета навстречу воздушному потоку в поперечном к движению агрегата направлении при высоте установки распылителя от 0,3 до 0,7 м приводит к увеличению коэффициента вариации, а в диапазоне высот от 0,1 до 0,3 м – некоторому его снижению (рис. 6).

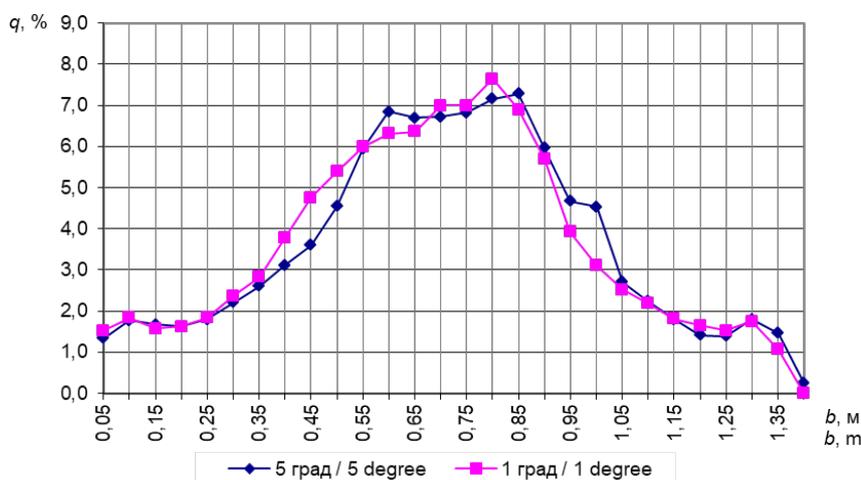


Рис. 4. Распределение осажденной жидкости в продольном сечении факела распылителя IS при различном угле наклона в поперечно-вертикальной плоскости

Fig. 4. Distribution of the deposited liquid in the longitudinal section of the IS spray torch at different angles of inclination in the transversely vertical plane

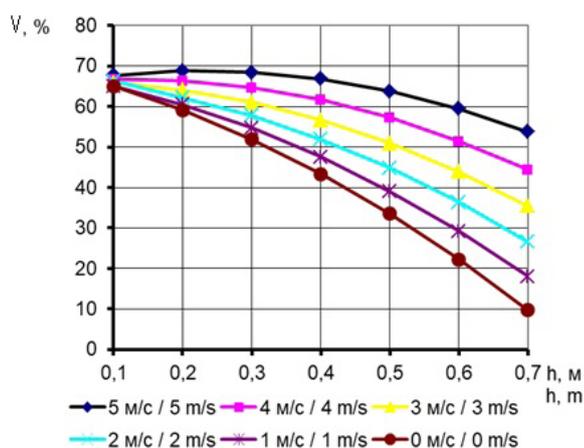


Рис. 5. Зависимость коэффициента вариации осаждения жидкости по ширине захвата одним распылителем IS от высоты установки при различной скорости ветра и $\alpha = 0^\circ$

Fig. 5. Relationship between the coefficient of variation of liquid deposition over the operating width of an IS sprayer and the installation height at different wind speeds and $\alpha = 0^\circ$

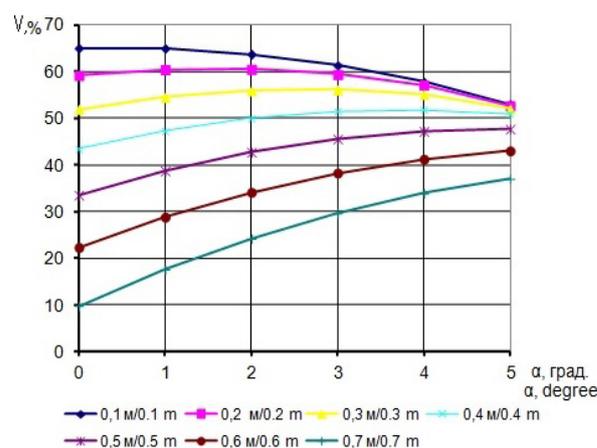


Рис. 6. Зависимость коэффициента вариации осаждения жидкости по ширине захвата распылителем IS от угла наклона в поперечно-вертикальной плоскости при различной высоте над обрабатываемой поверхностью

Fig. 6. Relationship between the coefficient of variation of liquid deposition over the operating width by an IS yellow sprayer and the inclination angle in the transverse-vertical plane at different heights above the treated surface

С увеличением высоты установки распылителя интенсивность влияния его угла наклона на коэффициент вариации возрастает.

По результатам экспериментов также установлено, что скорость ветра, высота установки распылителя над обрабатываемой поверхностью и углы наклона распылителя в продольной и поперечной плоскостях существенно влияют на коэффициент вариации равномерности осаднения гербицида в пределах ряда малины ниже облиственной части, и это влияние имеет нелинейный характер.

Выводы

1. Внешними условиями, влияющими на качество внесения гербицидов в ряды малины ниже облиственной части, являются: ширина рядов малины в диапазоне 0,35...0,60 м; средняя нижняя граница расположения листьев растений малины, составляющая 0,13 м; средняя ширина защитной зоны 0,15 м; направление и допустимая скорость ветра 0...5 м/с.

2. К операции внесения гербицидов в ряды малины для уничтожения сорных растений необходимо установить следующие технические требования:

– скорость движения агрегата должна быть равномерной в диапазоне 1,4...1,7 м/с;

– распылители должны перемещаться сбоку от ряда малины на оптимальном расстоянии от него,

обеспечивающем отсутствие касания растений при колебаниях агрегата, и копировать макро- и мезорельеф поверхности поля, сохраняя заданную высоту над почвой;

– факел распыла должен быть плоским и иметь ограничение по высоте 0,13 м;

– плотность покрытия поверхности сорных растений каплями гербицида должна составлять не менее 30 капель на 1 см².

3. Наиболее рациональным по геометрическим параметрам образуемого капельного факела для условий внесения гербицидов в ряды малины, по дисперсности распыла и количеству капель, осаждаемых на 1 см², является щелевой распылитель IS желтого цвета.

4. Различное сочетание скорости ветра, высоты установки распылителя над обрабатываемой поверхностью и углов наклона распылителя в продольной и поперечной плоскостях приводит к изменению коэффициента вариации равномерности осаднения гербицида в пределах ряда малины от 68 до 10%.

5. Влияние четырех вышеуказанных факторов на коэффициент вариации носит нелинейный характер, что дает основание предположить о существовании глобального экстремума и необходимости дальнейших испытаний по методике планирования четырехфакторного эксперимента.

Список источников

1. Сычев С.М., Бельченко С.А., Малавко Г.П., Дронов А.В., Ковалев В.В. Развитие подотраслей садоводства, овощеводства и картофелеводства в АПК Брянской области // Вестник Брянской ГСХА. 2023. № 1 (95). С. 10-20. EDN: OFTUOU

2. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Конструктивные особенности штангового опрыскивателя малины // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2004. № 5. С. 10-13. EDN: WJFMB

3. Ожерельев В.Н. Опрыскиватель для ягодников // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 5. С. 8-11. EDN: TUNZAN

4. Агрегат для возделывания высокостебельных культур: Патент RU216711 U1, МПК А01В 49/04 / С.М. Сычёв, В.В. Кузнецов, А.В. Кубышкин, Н.А. Лаптева; заявл. 03.11.2022; опубл. 22.02.2023; Бюл. № 6. EDN: WCXHQС

5. Свиридов А.С., Катаев Ю.В., Загоруйко М.Г. Анализ типов распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей // Аграрный научный журнал. № 6. 2021. С. 96-100. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i6pp96-100>

6. Ярославцев Е.И. Различные технологические решения для выращивания малины. Ассоциация производителей плодов, ягод и посадочного материала: официальный сайт. URL: <http://asprus.ru/blog/tehnologiya-vozdelyvaniya-maliny/> (дата обращения: 04. 10. 2024).

7. Кузнецов А.В., Кузнецов В.В., Кузнецов Е.В., Лысов А.К. Информативная модель взаимодействия опрыскивающего агрегата и пестицидов с окружающей средой // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 12. С. 8-10. EDN: IISFCN

References

1. Sychev S.M., Belchenko S.A., Malyavko G.P., Dronov A.V., Kovalev V.V. Development of gardening and vegetable sub-industry and potato growing in the a gro-industrial complex of the Bryansk region. *Vestnik Bryanskoy GSKhA = Bulletin of Bryansk State Agricultural Academy*. 2023;1(95):10-20. (In Russ.)

2. Ozherelyev V.N., Ozherelyev M.V. Design features of the raspberry rod sprayer. *Mekhanizatsiya i Elektrifikatsiya Selskogo Khozyaystva*. 2004;5:10-13. (In Russ.)

3. Ozherelyev V.N. Spraying device for berry fields. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2015;5:8-11. (In Russ.)

4. Sychev S.M., Kuznetsov V.V., Kubyshekin A.V., Lapteva N.A. Unit for cultivating high-stemmed crops: Patent No. 216711 U1 Russian Federation, IPC A01B49/04, 2022. (In Russ.)

5. Sviridov A.S., Kataev Yu.V., Zagoruiko M.G. Analysis of the types of agricultural sprayers' nozzles. *Agrarian Scientific Journal*. 2021;6:96-100. (In Russ.)

6. Yaroslavtsev E.I. Various technological solutions for raspberry cultivation. URL: <http://asprus.ru/blog/tehnologiya-vozdelyvaniya-maliny/> (accessed 04.10.2024) (In Russ.)

7. Kuznetsov A.V., Kuznetsov V.V., Kuznetsov E.V., Lysov A.K. Informative model of interaction of a spraying unit and pesticides with the environment. *Mekhanizatsiya i Elektrifikatsiya Selskogo Khozyaystva*. 2007;12:8-10. (In Russ.)

8. Smirnov I.G., Lichman G.I., Marchenko L.A. Algorithm for calculating the parameters of a garden boom sprayer for pesticide application. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022;16(4):26-33 (In Russ). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-26-33>

9. Mirzaev M.A. Developing an Algorithm for Robotic Precision Application of Crop Protection Products. *Agricultural*

8. Смирнов И.Г., Личман Г.И., Марченко Л.А. Алгоритм расчета параметров штангового садового опрыскивателя для внесения пестицидов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16, № 4. С. 26-33. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-26-33>

9. Мирзаев М.А. Разработка алгоритма роботизированного устройства точного внесения средств защиты растений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16, № 3. С. 74-80. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-3-74-80>

10. Абдразаков Ф.К., Чуркина К.И. Оценка агротехнических и гидравлических характеристик распыла при работе различных типов щелевых распылителей // Аграрный научный журнал. 2022. № 4. С. 70-75. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp70-75>

11. Стенд для испытания рабочих органов опрыскивателей: Патент RU74764 U1, МПК А01М 7/00 / Е.В. Кузнецов, В.А. Ермичев, А.В. Кузнецов, В.В. Кузнецов; заявл. 27.02.2008; опубл. 20.07.2008; Бюл. № 20. EDN: LXZDET

12. Кузнецов Е.В. Результаты исследования растений малины как входного фактора при работе опрыскивателя // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2009. № 1 (8). С. 22-25. EDN: XHQCGZ

13. Анализатор пятен: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU2005612345 / М.В. Данилов, А.А. Андреев; заявл. 19.07.2005; приоритет 9.09.2005. EDN: YNDPDK

Machinery and Technologies. 2022;16(3):74-80 (In Russ). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-3-74-80>

10. Abdrazakov F.K., Churkina K.I. Assessment of agrotechnical and hydraulic characteristics of the spray during different slot sprayers operation. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2022;(4):70-75. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp70-75>

11. Kuznetsov E.V., Ermichev V.A., Kuznetsov A.V., Kuznetsov V.V. Bench for testing the working elements of sprayers: Patent No. 74764 U1 Russian Federation, IPC A01M 7/00, 2008. (In Russ.)

12. Kuznetsov E.V. The results of the study of raspberry plants as an input factor while the sprayer is operating. *Konstruirovaniye, Ispolzovaniye i Nadezhnost Mashin Selskokhozyaystvennogo Naznacheniya*. 2009;1(8):22-25. (In Russ.)

13. Danilov M.V., Andreev A.A. Stain analyzer: certificate of official registration of computer program No. 2005612345, 2005. (In Russ.)

Информация об авторах

Владимир Васильевич Кузнецов¹, канд. техн. наук, доцент; vlg3k@rambler.ru; <https://orcid.org/0009-0002-0595-2521>

Алексей Иванович Купреенко^{2,3}, д-р техн. наук, профессор; kupreenkoai@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>

Хафиз Мубариз-оглы Исаев³, канд. экон. наук, доцент, заведующий кафедрой; haf-is@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>

Самир Хафизович Исаев⁴, канд. техн. наук, доцент; Samir.isaev.94@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>

Станислав Михайлович Михайличенко⁵, канд. техн. наук, доцент; S.M.Mikhailichenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2305-2909>

^{1,2,3,4} Брянский государственный аграрный университет; 243365, Российская Федерация, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, д. 2а

⁵ Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

Вклад авторов

В.В. Кузнецов – разработка общей концепции, проведение исследований;

А.И. Купреенко – формальный анализ и верификация данных;

Х.М. Исаев – создание черновика рукописи;

С.Х. Исаев – визуализация;

С.М. Михайличенко – доработка рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила в редакцию 05.06.2024; поступила после рецензирования и доработки 01.10.2024; принята к публикации 04.10.2024

Author Information

Vladimir V. Kuznetsov¹, CSc (Eng), Associate Professor; vlg3k@rambler.ru; <https://orcid.org/0009-0002-0595-2521>

Aleksey I. Kupreenko^{2,3}, DSc (Eng), Professor; kupreenkoai@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>

Khafiz M.-O. Isaev³, CSc (Econ), Associate Professor; haf-is@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>

Samir Kh. Isaev⁴, CSc (Eng); Samir.isaev.94@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>

Stanislav M. Mikhailichenko⁵, CSc (Eng); S.M.Mikhailichenko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2305-2909>

^{1,2,3,4} Bryansk State Agrarian University; Sovetskaya Str. 2a, Kokino, Vygonichi district, Bryansk region, 243365, Russian Federation

⁵ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Timiryazevskaya Str. 49, Moscow, 127434, Russian Federation

Author Contribution

V.V. Kuznetsov – conceptualization;

A.I. Kupreenko – formal analysis and data verification;

Kh.M. Isaev – writing – original draft preparation;

S.Kh. Isaev – visualization;

S.M. Mikhailichenko – writing – manuscript review 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 05.06.2024; Revised 01.10.2024; Accepted 04.10.2024.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.331

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-19-27>

Доопытная оценка влияния угла атаки рабочего органа бороны-мотыги на эффективность воздействия на почву

А.Ю. Несмиян¹, А.Г. Арженовский²✉, М.Ю. Горенков³^{1,3} Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета; г. Зерноград, Россия² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ nesmiyan.andrei@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5556-1767>² argenowski@mail.ru✉; <https://orcid.org/0000-0003-3473-8081>³ milter1999@mail.ru

Аннотация. Мотыжение почвы – эффективный и универсальный прием, реализуемый практически во всех современных растениеводческих технологиях. Усовершенствование бороны-мотыги экспериментальным путем является дорогостоящим, трудозатратным и долгосрочным процессом, поэтому перспективным является проведение модернизации на основе знания закономерностей функционирования узлов агрегата. Целью исследований является доопытное изучение влияния угла атаки игольчатого рабочего органа на интенсивность его воздействия на почву. Представлена методика, согласно которой рассчитан комплексный критерий крошения почвы в зависимости от угла атаки рабочих органов при значениях 0, 8, 16, 24 и 32 град. Произведенные расчеты позволили предположить, что при усредненных начальных условиях работы борон-мотыг увеличение угла атаки рабочих органов во всем рассматриваемом диапазоне приводит к росту объема суммарного следа перемещения иглы в почве со средней интенсивностью около 0,6 см³/град. При этом объем раковины скола, приходящейся на иглу, возрастает на 1,1...2,3 см³/град. при достижении угла атаки 24 град., а при дальнейшем увеличении угла снижается. В целом увеличение угла атаки приводит к уменьшению комплексного критерия крошения почвы иглой со скоростью около 0,1 град.⁻¹, но при этом общая интенсивность воздействия на почву увеличивается с ростом угла атаки до 24 град. Предложенная методика расчета носит примерный характер, но ее применение позволяет выявлять некоторые общие закономерности влияния параметров дискового рабочего органа – таких, как афронтальность, диаметр игл, глубина их проникновения в почву, диаметр рабочего органа и скорость движения агрегата, на показатели работы для дальнейшего его усовершенствования.

Ключевые слова: мотыжение почвы, усовершенствование бороны-мотыги, доопытная оценка, афронтальность, увеличение угла атаки, объем раковины скола, комплексный критерий крошения почвы

Для цитирования: Несмиян А.Ю., Арженовский А.Г., Горенков М.Ю. Доопытная оценка влияния угла атаки рабочего органа бороны-мотыги на эффективность воздействия на почву // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 6. С. 19-27. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-19-27>

ORIGINAL ARTICLE

Pre-experimental assessment of the influence of the approach angle of the working element of a harrow-hoe on the efficiency of impact on the soil

A. Yu. Nesmiyan¹, A.G. Arzhenovskiy²✉, M. Yu. Gorenkov³^{1,3} Azov-Black Sea Engineering Institute, Don State Agrarian University; Zernograd, Russia² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Russia, Moscow¹ nesmiyan.andrei@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5556-1767>² argenowski@mail.ru✉; <https://orcid.org/0000-0003-3473-8081>³ milter1999@mail.ru

Abstract. Soil hoeing is an effective and universal technique included in almost all modern crop production technologies. Improving the harrow-hoes is quite labor-intensive, long-term and costly, which indicates the prospects for modernization based on knowledge of the operating patterns of the units under consideration. The research goal is a pre-experimental study of the influence of the approach angle of the needle-type working

element on the intensity of its impact on the soil. The article presents a methodology to calculate the complex factor of soil crumbling depending on the approach angle of working elements at values of 0, 8, 16, 24, and 32 degrees. Based on the calculations carried out the authors assumed that under average initial operating conditions of harrow-hoes, an increase in the approach angle of the working elements leads to an increase in the total trace of the needle movement in the soil with an average intensity of about $0.6 \text{ cm}^3/\text{deg}$. In the meanwhile, the sheared soil shell volume per needle first increases by 1.1 to $2.3 \text{ cm}^3/\text{deg}$, as the approach angle reaches 24 deg., and then decreases with further increase in the angle. In general, an increase in the approach angle leads to a decrease in the complex criterion of soil crumbling by a needle at a speed of about 0.1 deg.^{-1} . At the same time, the overall intensity of the impact on the soil increases to an approximate value of about 24 deg. as the approach angle goes on increasing. The proposed calculation method is approximate in nature, but its application helps identify some general patterns in the influence of the parameters of the disk's working element on the performance indicators. They include afrontality, the diameter of needles, the depth of their penetration into the soil, the working element diameter, the unit speed, etc.

Keywords: soil hoeing, harrow-hoe improvement, pre-experimental evaluation, afrontality, increase in the approach angle, sheared shell volume, integrated soil crumbling criterion

For citation: Nesmiyan A. Yu., Arzhenovsky A. G., Gorenkov M. Yu. Pre-experimental assessment of the influence of the approach angle of the working element of a harrow-hoe on the efficiency of impact on the soil. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(6):19-27. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-19-27>

Введение

Вопрос выбора того или иного приема обработки почвы всегда стоял перед специалистами аграрной сферы [1-4]. Еще в древние времена проводились и анализ негативных и положительных сторон земледелия, основанного на применении плужной и мотыжной систем обработки почвы¹, и дискуссии по выбору глубокой обработки почвы или системы мелких и поверхностных обработок².

Сегодня этот вопрос по-прежнему стоит остро, хотя земледельцы и пришли к компромиссному решению: выбор системы обработки почвы (вплоть до самых экзотических [5, 6] или полный отказ от них [7]) должны приниматься с учетом агроклиматических и почвенно-ландшафтных условий каждого конкретного хозяйства [8-13]. При этом универсальным приемом, эффективно «вписывающимся» в большинство растениеводческих технологий (в том числе в технологии «no-till» и близкие к ним) [14, 15], является мотыжение поверхности почвы игольчатыми боронами (боронами-мотыгами) [16]. Мотыжение почвы имеет ряд преимуществ: универсальность (можно проводить до и после посева, после появления всходов или зимой для разрушения наста); низкая энергозатратность и высокая производительность агрегатов; борьба с неукоренившимися сорняками; высокая степень

сохранности культурных растений (при послеуборочных обработках); сохранность стерни (в противоэрозионных системах обработки почвы); частичное выравнивание поверхности поля; эффективное «закрытие» почвенной влаги; активизация газообменных процессов в верхнем слое почвы и т.д.

Благодаря отечественным ученым и разработчикам [17-21] в сельскохозяйственное производство внедрены бороны-мотыги для частичной разделки стерни или обработки всходов сельскохозяйственных культур. Разработаны батарейные конструкции с попарной или индивидуальной установкой рабочих органов, с иглами различного профиля и формы и т.д. [22-25]. Но опрометчивым было бы считать, что конструктивно эти орудия исчерпали потенциал развития. Важными направлениями современного этапа их совершенствования можно считать: упрощение и удешевление производства в сочетании с сохранением или повышением надежности и ремонтпригодности; оптимизацию параметров игольчатых рабочих органов, обеспечивающую рост агротехнологических и эксплуатационных характеристик орудия; дальнейшее повышение производительности агрегатов и др. Экспериментальный путь внедрения усовершенствований в производство трудозатратен, продолжителен и к тому же дорогостоящ, поэтому перспективным является проведение модернизации на основе знания закономерностей функционирования рассматриваемых узлов.

Цель исследований: доопытное исследование влияния угла атаки игольчатого рабочего органа на интенсивность его воздействия на почву.

¹ Скорняков С.М. От шумеров наших дней (Очерк истории развития земледелия). М.: Россельхозиздат, 1977. 271 с. URL: <http://agrolib.ru/books/item/f00/s00/z0000039/index.shtml>.

² Халанский В.М. Экскурсия за плугом. М.: Колос, 1974. 207 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007051548>.

Материалы и методы

Сохранность культурных растений или стерни на поверхности поля в значительной степени зависит от объема условного следа, оставляемого иглой за время ее взаимодействия с почвой (обратно пропорциональна ему). В то же время с агротехнической точки зрения игла должна рыхлить как можно больший объем почвы, поэтому для оценки интенсивности работы дискового органа бороны-мотыги предлагается использовать комплексный критерий крошения почвы ($K_{кп}$), который определяется следующим образом:

$$K_{кп} = \frac{V_2}{V_1}, \quad (1)$$

где V_1 – расчетное значение объема условного следа, оставляемого иглой рабочего диска за время ее взаимодействия с почвой (от момента входа в почву до момента выхода из нее за один цикл), m^3 ; V_2 – расчетное значение объема раковины скола (или раковины расклинивания), формируемой иглой рабочего диска за один цикл, m^3 .

В сложившейся теории функционирования борон-мотыг принято считать, что взаимодействие каждой отдельной иглы может быть описано по аналогии с процессом разрушения почвенного пласта плоским вертикальным клином (ПВК)³, совершающим сложное движение.

Традиционно считается, что сила реакции почвы на внедрение ПВК отклоняется от нормали к его исполнительной поверхности на угол, равный углу внешнего трения (σ) данного типа почвы о поверхность ПВК^{3,4}. В то же время отдельные авторы⁵ полагают, что на ориентацию силы воздействия со стороны иглы на почву дополнительное влияние оказывает направление абсолютного перемещения почвенных частиц под углом $\varphi = f(\beta, \sigma)$, обусловленное углами крошения исполнительной поверхности клина и внешним трением почвы (рис. 1). Опытным путем было установлено, что это предположе-

³Кислов А.А. Обоснование параметров и режимов работы дискового почвообрабатывающего орудия с игольчатыми рабочими органами: Дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2006. 154 с. EDN: NOHYTH.

⁴Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. 326 с.; Кислов А.А. Обоснование параметров и режимов работы дискового почвообрабатывающего орудия с игольчатыми рабочими органами: Дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2006. 154 с. EDN: NOHYTH.

⁵Путрин А.С. Обоснование основных конструктивных параметров и режимов работы игольчатых ротационных рабочих органов почвообрабатывающих машин: Дис. ... канд. техн. наук. Оренбург, 1986. 252 с. EDN: NPLAGJ.

ние справедливо, но не принципиально, поскольку продольный сдвиг частиц почвы иглами пренебрежимо мал^{6,7,8}.

В вертикальной плоскости, проходящей через линию действия суммарной силы F (рис. 1), разрушение почвенного пласта ПВК происходит в соответствии с теорией Кулона-Мора^{9,10,11}, при этом грани раковины скола почвы имеют сложную форму с двумя характерными участками (рис. 2а). В соответствии с исследованием А.А. Конищева⁸ в зоне действия иглы линия расклинивания почвы (рис. 2а) описывается зависимостью логарифмической спирали вида:

$$r_{гп} = s \cdot e^{\Omega \cdot \text{tg} \psi}, \quad (2)$$

где s – текущее значение глубины погружения иглы в почву, м; Ω – угловая координата, рад; ψ – значение угла внутреннего трения частиц почвы, град.

Во второй части раковины нижние линии скола, формирующие лунку, имеют примерно прямолинейную форму и ориентированы к горизонту под углом ε (рис. 2), который определяется через угол внутреннего трения частиц почвы $\varepsilon = (0,5\pi - \psi)/2$.

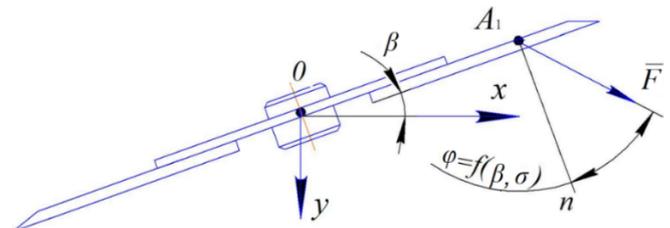


Рис. 1. Схема (в плане) воздействия иглы рабочего органа бороны-мотыги на почву

Fig. 1. Schematic view of the impact of the harrow-hoe needle on the soil

⁶Кислов А.А. Обоснование параметров и режимов работы дискового почвообрабатывающего орудия с игольчатыми рабочими органами: Дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2006. 154 с. EDN: NOHYTH.

⁷Конищев А.А. Обоснование параметров рабочих органов игольчатой бороны для обработки почвы на стерневых фонах: Дис. ... канд. техн. наук. Шортланды, 1983. 188 с. EDN: MFYVWW.

⁸Карпуша П.П., Даценко Н.В. Анализ работы ротационных игольчатых дисков // Тракторы и сельхозмашины. 1966. № 7. С. 30-32.

⁹Кислов А.А. Обоснование параметров и режимов работы дискового почвообрабатывающего орудия с игольчатыми рабочими органами: Дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2006. 154 с. EDN: NOHYTH.

¹⁰Конищев А.А. Обоснование параметров рабочих органов игольчатой бороны для обработки почвы на стерневых фонах: Дис. ... канд. техн. наук. Шортланды, 1983. 188 с. EDN: MFYVWW.

¹¹Горячкин В.П. Собрание сочинений: В 3 т. Т. I. М.: Колос, 1968. 525 с.

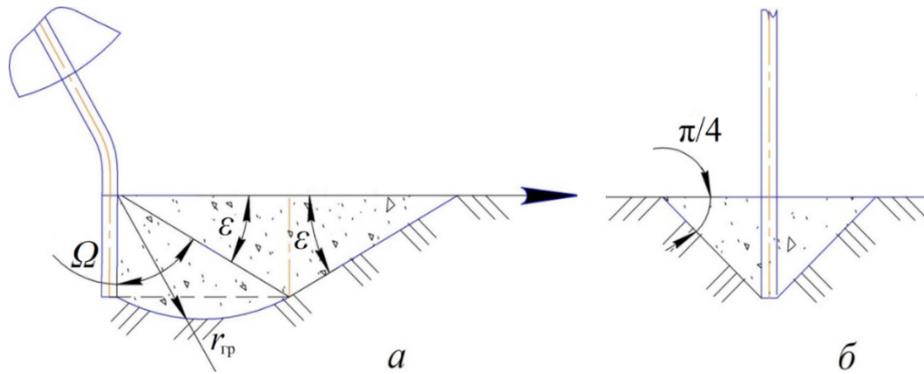


Рис. 2. Теоретические контуры раковины скола почвы иглой в ее продольно-вертикальной (а) и поперечно-вертикальной (б) плоскостях действия на почву

Fig. 2. Theoretical contours of a sheared soil shell cavity with a needle in the longitudinal-vertical plane of the needle contact with the soil (a) and in the transverse-vertical plane of the needle contact with the soil (b)

В соответствии с теорией работы ПВК считается^{12,13,14}, что в вертикальной плоскости (рис. 2б), расположенной нормально горизонтальной составляющей действия иглы на почвенный пласт, его разрушение происходит примерно по прямым линиям, ориентированным к горизонтали под углом около 0,25 π. Рассмотрим процесс взаимодействия игл дисковых рабочих органов различного расположения с почвой на основании выявленных элементов теории.

Траекторию движения периферийной точки рабочей части иглы (далее – жало иглы) при работе плоского диска, установленного сонаправленно движению агрегата (рис. 3), то есть при угле атаки β = 0°, в приближении можно считать циклоидой с показателем кинематического режима около единицы (λ ≈ 1). В этом случае координаты жала иглы могут быть описаны системой уравнений (3):

$$\begin{cases} x(t) = v_a t + R_{дрo} \cdot \cos \omega t; \\ y(t) = 0; \\ z(t) = R_{дрo} (1 - \sin \omega t) - s_n, \end{cases} \quad (3)$$

где v_a – рабочая скорость почвообрабатывающего агрегата, м/с; R_{дрo} – радиус дискового рабочего органа, м; ω – угловая скорость дискового рабочего органа, рад/с; s_n – предполагаемая глубина рыхления почвы, м.

¹²Кислов А.А. Обоснование параметров и режимов работы дискового почвообрабатывающего орудия с игольчатыми рабочими органами: Дис. ... канд. техн. наук. Благовещенск, 2006. 154 с. EDN: НОНУТН.

¹³Конищев А.А. Обоснование параметров рабочих органов игольчатой бороны для обработки почвы на стерневых фонах: Дис. ... канд. техн. наук. Шортанды, 1983. 188 с. EDN: MFYVWW.

¹⁴Горячкин В.П. Собрание сочинений: В 3 т. Т. I. М.: Колос, 1968. 525 с.

При таком движении игла совершает в почве очень ограниченные горизонтальные перемещения, практически не приводящие к ее продольным сколам¹⁵, основное разрушение идет по характерным поперечным линиям (рис. 2б), что приводит к формированию лунок определенной формы (рис. 3). При выглублении иглы ее передняя часть воздействует на почву, сминая ее, из-за чего выходная нижняя часть грани лунки направлена практически по прямой, ориентированной к вертикали под углом около 35 град. (μ ≈ 35°). На основании изложенного траекторию дна раковины скола в продольно-вертикальной плоскости можно представить в виде совокупности циклоиды (от момента (t₁) входа жала иглы в почву до момента (t₂) максимального ее погружения) и прямой (на участке выглубления иглы). Таким образом, для рассматриваемого случая объем траектории внутрипочвенного движения иглы определяется выражением:

$$V_{1\phi} = \left(-\int_{t_1}^{t_2} (R_{дрo} (1 - \sin \omega t) - s_n) dt + \int_0^{t_2-t_1} \left(s_n - \frac{v_a t}{\operatorname{tg} \mu} \right) dt \right) \cdot t_n, \quad (4)$$

где V_{1φ} – расчетное значение объема следа, оставляемого иглой рабочего диска в почве при фронтальном расположении дисков (β = 0°), м³; t_n – толщина (диаметр) иглы, м.

Момент входа жала иглы в почву –

$$t_1 = \omega^{-1} \arcsin \left(1 - \frac{s_n}{R_{дрo}} \right). \quad (5)$$

Момент максимального заглубления иглы –

$$t_2 = \frac{\pi}{2\omega}. \quad (6)$$

¹⁵Конищев А.А. Обоснование параметров рабочих органов игольчатой бороны для обработки почвы на стерневых фонах: Дис. ... канд. техн. наук. Шортанды, 1983. 188 с. EDN: MFYVWW.

С учетом (4) объем раковины крошения слоя почвы для рассматриваемого случая ($V_{2ф}$):

$$V_{2ф} = \int_{t_1}^{t_2} (R_{дрo}(1 - \sin \omega t) - s_{п})^2 dt + \int_0^{t_2-t_1} \left(s_{п} - \frac{v_a t}{\text{tg} \mu} \right)^2 dt. \quad (7)$$

Зависимости (4)-(7) позволяют произвести расчет критерия интенсивности крошения почвы для фронтально расположенных дисковых рабочих органов бороны мотыги ($K_{ИКПФ}$). Такое расположение является частным случаем ориентации дисков относительно направления движения агрегата. Тем не менее при работе афронтальных игольчатых дисков ($\beta \neq 0^\circ$) прослеживается особенность: траекторией движения жала иглы является циклоида с показателем кинематического режима 0,6...0,9, причем меньшие значения λ наблюдаются при больших углах атаки (до 40...45°). Такая взаимосвязь обусловлена эффектом проскальзывания косо поставленного игольчатого рабочего органа относительно поверхности почвы¹⁶.

При афронтальном расположении диска (рис. 4) координаты жала иглы описываются системой уравнений:

$$\begin{cases} x(t) = v_a t + R_{дрo} \cdot \cos \omega_\beta t \cos \beta; \\ y(t) = -R_{дрo} \cdot \cos \omega_\beta t \sin \beta; \\ z(t) = R_{дрo} (1 - \sin \omega_\beta t) - s_{п}, \end{cases} \quad (8)$$

где ω_β – угловая скорость афронтального игольчатого диска (с учетом проскальзывания), рад/с.

Чтобы в данном случае определить суммарный объем следа внутрпочвенного движения иглы, примем допущение (рис. 5), что в момент входа жала иглы в почву (t_1) ось ее стержня сдвинута по фазе от горизонтального положения на угол $\omega_\beta t_1 - \gamma_1$, а ось рабочей части – на угол $\omega_\beta t_1 - \gamma_1 + \gamma_2$ (где γ_1 и γ_2 – углы, определяющие геометрию иглы и ее расположение на диске, град. (рис. 5)). С учетом этого определим продольно-горизонтальную координату x_D точки D пересечения иглы с поверхностью почвы (условная горизонталь):

$$x_D(t) = l \cos(\omega_\beta t - \gamma_1) + (R_{дрo} - s_{п} - l \sin(\omega_\beta t - \gamma_1)) \text{ctg}(\omega_\beta t - \gamma_1 + \gamma_2), \quad (9)$$

где l – расстояние от центра диска до точкигиба зуба, м (рис. 5).

¹⁶ Костин В.Д., Сапаров О.О. О работе бороны игольчатой БИГ-3 // Механизация полеводства в Северном Казахстане. Целиноград: Издательство Целиноградского СХИ, 1972. С. 8.

Тогда примерное значение объема следа движения иглы в почве –

$$V_{1a} = \int_{t_1}^{2t_2-t_1} \sqrt{(x(t) - x_D(t))^2 + s(t)^2} dt \cdot t_{п}, \quad (10)$$

где x – продольно-горизонтальная координата жала иглы, м; s – текущее значение глубины погружения иглы в почву (вертикальная координата жала иглы, $s = -z$), м.

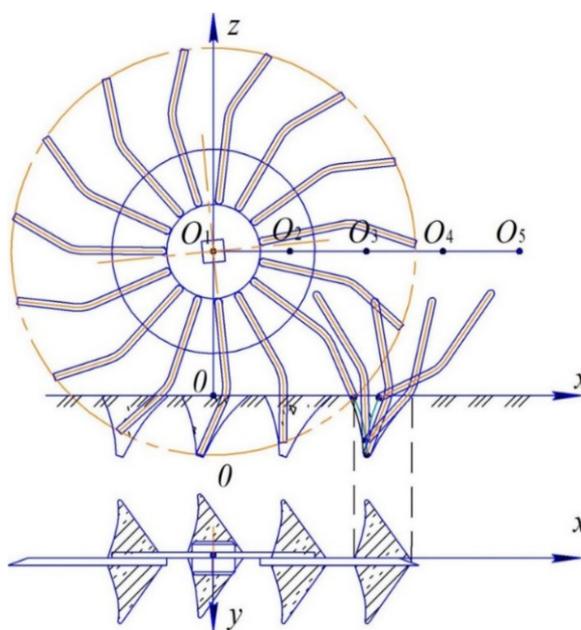


Рис. 3. Схема взаимодействия с почвой игл дискового рабочего органа при нулевом угле атаки
Fig. 3. Scheme of interaction of the needles of a disk-type working element with the soil at a zero approach angle

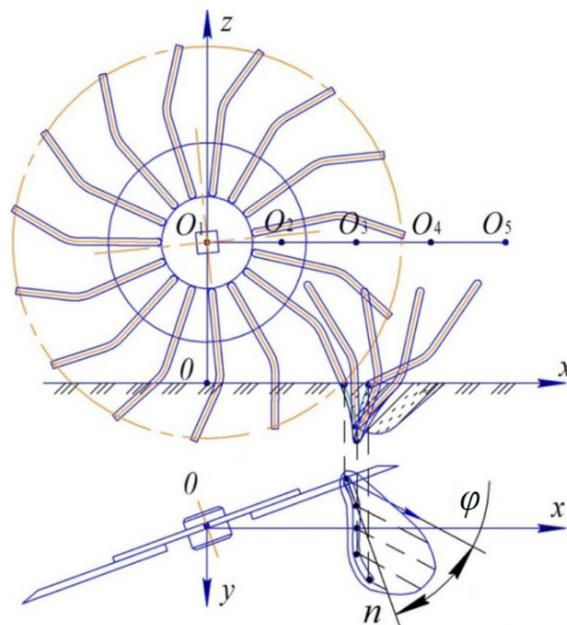


Рис. 4. Схема крошения почвы афронтальным игольчатым диском
Fig. 4. Scheme of soil crumbling with a frontal needle disk

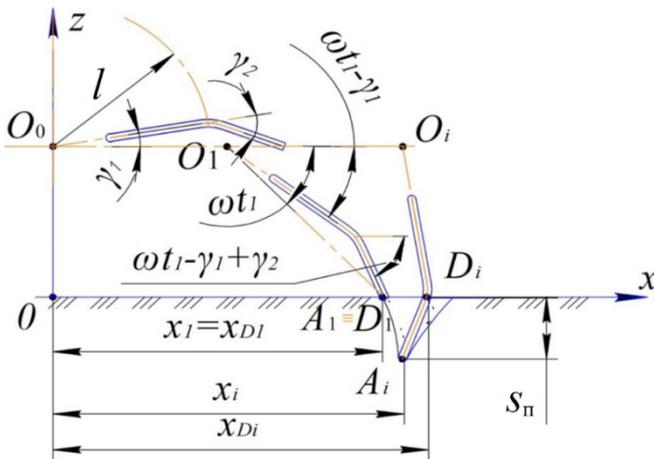


Рис. 5. Схема перемещения иглы и ее угловые параметры
Fig. 5. Pattern of the needle movement and angular parameters of the needle

Примерное значение объема раковины скола почвы иглой афронтально расположенного дискового рабочего органа с учетом выражений (2), (5)-(7), а также рисунков 2 и 4 может быть выражено зависимостью:

$$V_{2a} \approx \int_{t_1}^{2t_2-t_1} \int_0^{\frac{\pi-\psi}{2}} \sqrt{(-s(t)e^{\Omega \cdot \tan \psi})^2 (1 - (\sin \Omega)^2)} dt d\Omega + \int_{t_1}^{2t_2-t_1} \frac{s(t)^3}{\tan(0,25\pi - 0,5\psi)} dt, \tag{11}$$

где t_1 и t_2 – характерные временные параметры (сек.), рассчитанные с учетом угловой скорости рабочего диска ω_β .

Результаты и их обсуждение

Результаты теоретических расчетов, проведенных при начальных условиях $R_{\text{дро}} = 0,275$ м, $t_n = 0,012$ м, $s_n = 0,07$ м и $v_a \approx 4,1$ м/с, $\psi \approx 27$ град., представлены в таблице.

Полученные результаты носят теоретический характер и не могут рассматриваться как количественная оценка, особенно при определении объема раковины скола, зависящей не только от достоверности принятых теоретических предпосылок, но и от сочетания совокупности физико-механических свойств самой почвы, совместности действия игл, режимов работы агрегата и др. Однако результаты расчетов позволяют сделать выводы о влиянии афронтальности дискового рабочего органа на интенсивность крошения почвы. При увеличении угла атаки можно выделить следующие закономерности:

- рост объема суммарного следа перемещения иглы в почве со средней интенсивностью около $0,5 \dots 0,7$ м³/град.;
 - увеличение объема раковины скола (приходящейся на одну иглу), причем до $22 \dots 26$ град. происходит постепенное его увеличение, а при дальнейшем увеличении угла – снижение объема, что может быть связано как с возрастающим влиянием проскальзывания диска, так и с изменением направления действия силы, действующей со стороны иглы на почву;
 - объем раковины скола возрастает с интенсивностью $2,3$ м³/град. при переходе от фронтального расположения диска к афронтальному (угол до 8 град.), при угле от 8 до 24 град. скорость изменений снижается до $1,1$ м³/град.;
 - уменьшение комплексного критерия крошения почвы иглой со скоростью около $0,1$ град.⁻¹. Но это не говорит о перспективности применения фронтальных борон-мотыг, так как у них значительно меньше общая интенсивность обработки почвы.
- Усовершенствование бороны-мотыги возможно за счет более эффективной работы игольчатых рабочих дисков, с учетом афронтальности, диаметра

Результаты теоретической оценки влияния угла установки дискового рабочего органа на комплексный критерий крошения почвы

Таблица

Results of theoretical assessment of the influence of the installation angle of the disk working element on the soil crumbling intensity factor

Table

Угол установки диска, град. <i>Angle of the disk installation, degrees</i>	Показатель кинематического режима <i>Kinematic mode indicator</i>	Объем следа зуба, м ³ <i>Volume of tooth trace, m³</i>	Объем одной лунки, м ³ <i>Volume of one hole, m³</i>	Комплексный критерий крошения почвы <i>Factor of soil crumbling intensity</i>
0	1,00	$1,418 \cdot 10^{-5}$	$6,838 \cdot 10^{-5}$	4,82
8	0,95	$6,020 \cdot 10^{-5}$	$2,558 \cdot 10^{-4}$	4,25
16	0,90	$1,192 \cdot 10^{-4}$	$3,866 \cdot 10^{-4}$	3,24
24	0,85	$1,759 \cdot 10^{-4}$	$4,270 \cdot 10^{-4}$	2,43
32	0,80	$2,293 \cdot 10^{-4}$	$3,983 \cdot 10^{-4}$	1,74

и геометрии игл, глубины проникновения игл в почву, диаметра дискового рабочего органа, скорости движения агрегата и др.

Выводы

Расчетным путем установлено, что увеличение угла атаки игольчатых рабочих органов приводит к росту объема суммарного следа перемещения иглы в почве со средней интенсивностью около $0,6 \text{ см}^3/\text{град.}$ (при заданных начальных условиях). При переходе от фронтального расположения диска к афронтальному объем раковины скола, приходящийся на иглу, сначала возрастает с интенсивностью около $2,3 \text{ см}^3/\text{град.}$, при увеличении угла от 8

до 24 град. – с интенсивностью порядка $1,1 \text{ см}^3/\text{град.}$, а при дальнейшем увеличении угла снижается. Увеличение угла атаки приводит к уменьшению комплексного критерия крошения почвы иглой со скоростью $0,1 \text{ град.}^{-1}$

Предложенная методика расчетов носит примерный характер, так как в ней не учитываются эмпирически определяемые нюансы. Но ее применение позволяет выявлять общие закономерности влияния параметров дискового рабочего органа (афронтальность, диаметр (толщина) игл, глубина проникновения игл в почву, диаметр дискового рабочего органа, геометрия игл, скорость движения агрегата) на показатели его работы.

Список источников

1. Бельтюков Л.П., Несмиян А.Ю., Хижняк В.И., Бершанский Р.Г., Донцов В.Г. Оценка эффективности технологий возделывания подсолнечника в аридных условиях Ростовской области // Вестник аграрной науки Дона. 2013. № 4 (24). С. 66-72. EDN: SMSYIT
2. Борисенко И.Б., Плещачёв Ю.Н., Борисенко П.И., Грабов Р.С. Термины как философия, определяющая инновационные технологии обработки почвы // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 2 (18). С. 16-21. EDN: TZZQXQ
3. Кирюшин В.И. Технологическая модернизация земледелия России: предпосылки и условия // Земледелие. 2015. № 6. С. 6-10. EDN: UGTHLB
4. Дорохов А.С., Старостин И.А., Чилингарян Н.О. Развитие сельскохозяйственной техники: от первых орудий труда к интеллектуальным машинам и технологиям // История науки и техники. 2019. № 12. С. 70-74. EDN: SECXNT
5. Многофункциональный агрегат для обработки почвы ультразвуком: Патент RU2757624 С1, МПК А01В13/00 С1 / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, А.С. Дорохов, С.И. Старовойтов, Б.Х. Ахалая, С.А. Давыдова; заявл. 17.03.2021. № 2021106907; опубл. 19.10.2021. EDN: MEDFIS
6. Устройство для обработки почвы пульсирующим сжатым воздухом: Патент RU190264 U1, МПК А01В49/00 U1 / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, А.С. Дорохов, С.И. Старовойтов, Б.Х. Ахалая, Ю.С. Ценч; заявл. 05.03.2019. № 2019106253; опубл. 25.06.2019. EDN: SSKGIC
7. Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф., Рогожин Д.О., Ефимов О.Е. Изменение показателей состояния органического вещества и физических свойств чернозема южного при переходе от традиционной к нулевой обработке // Земледелие. 2018. № 8. С. 14-16. EDN: YTZGSL. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10804
8. Несмиян А.Ю., Галаян А.Г. Влияние системы обработки почвы на эффективность технологий возделывания кукурузы // Вестник аграрной науки Дона. 2015. № 3 (31). С. 5-12. EDN: VKDJIN
9. Несмиян А.Ю., Бельтюков Л.П., Хижняк В.И. Эффективность машинных технологий возделывания подсолнечника на юге России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 5. С. 35-38. EDN: REQASK
10. Лобачевский Я.П., Алдошин Н.В. Технология и технические средства для реализации методов воспроизводства плодородия почвы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18, № 2. С. 40-46. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-2-40-46>

References

1. Belyukov L.P., Nesmiyan A.Yu., Khizhnyak V.I., Bershanskiy R.G., Dontsov V.G. Effectiveness evaluation of sunflower cultivation technology in arid conditions of Rostov region. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2013;4:66-72. (In Russ.)
2. Borisenko I.B., Pleskachev Yu.N., Borisenko P.I., Grabov R.S. Terms as a philosophy defining innovative soil cultivation techniques. *Agrarian Bulletin of Stavropol Region*. 2015;2:16-21. (In Russ.)
3. Kiryushin V.I. Technological modernization of agriculture in Russia: prerequisites and conditions. *Zemledelie*. 2015;6:6-10. (In Russ.)
4. Dorokhov A.S., Starostin I.A., Chilingaryan N.O. The development of agricultural machinery: from the first implements to intelligent machines and technologies. *Istoriya Nauki i Tekhniki = History of Science and Engineering*. 2019;12:70-74. (In Russ.)
5. Izmailov A.Yu., Lobachevskii Ya.P., Dorokhov A.S., Starovoitov S.I., Akhalaia B.Kh., Davydova S.A. Multifunctional unit for ultrasonic soil treatment: patent No. 2757624 Russian Federation, IPC A01B13/00 C1. Applied on March 17, 2021. No. 2021106907, published on October 19, 2021. (In Russ.)
6. Izmailov A.Yu., Lobachevskii Ya.P., Dorokhov A.S., Starovoitov S.I., Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Device for soil treatment with pulsating compressed air: patent No. 190264 Russian Federation, IPC A01B49/00 U1. Applied on March 05, 2019, No. 2019106253; published on June 26, 2019. (In Russ.)
7. Borisov B.A., Baybekov R.F., Rogozhin D.O., Efimov O.E. Changes in indicators of organic matter state and physical properties of southern chernozem during the transition from traditional to zero treatment. *Zemledelie*. 2018;8:14-16. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10804>
8. Nesmiyan A.Yu., Galayan A.G. Influence of the soil cultivation system on the efficiency of corn growing technologies. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2015;3:5-12. (In Russ.)
9. Nesmiyan A.Yu., Bel'tyukov L.P., Khizhnyak V.I. The efficiency of mechanical technologies of cultivation of the sunflower in terms of the south of the Russia. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2014;5:35-39. (In Russ.)
10. Lobachevskiy Y.P., Aldoshin N.V. Technology and technical means for the implementation of reproduction methods for soil fertility. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024;18(2):40-46. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-2-40-46>
11. Rykov V.B., Kambulov S.I., Shevchenko N.V., Kambulov I.A., Ridnyi S.D. Efficiency of winter wheat production under different primary soil cultivation technologies. *Agrarian Bulletin of Stavropol Region*. 2015;2:53-56. (In Russ.)

11. Рыков В.Б., Камбулов С.И., Шевченко Н.В., Камбулов И.А., Ридный С.Д. Эффективность производства озимой пшеницы при различных технологиях основной обработки почвы // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 2 (18). С. 53-56. EDN: TZZQTZ
12. Шекихачев Ю.А., Хажметов Л.М., Пазова Т.Х., Гергокаев Д.А., Сеннов Х.М., Шекихачева Л.З., Медовник А.Н., Твердохлебов С.А. Оценка эффективности технических средств для противоэрозионной обработки почвы в Кабардино-Балкарской Республике // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 97. С. 482-494. EDN: SDCDOJ
13. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // История науки и техники. 2019. № 12. С. 46-55. EDN: RJSVZT
14. Кулик К.Н., Дубенок Н.Н. Пыльные бури на Нижней Волге весной 2015 года // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2016. № 1. С. 4-7. EDN: VZSVZT
15. Бондаренко А.М., Несмиян А.Ю., Качанова Л.С., Кормильцев Ю.Г. Основы системной технологии восстановления почвенного плодородия с использованием незерновой части урожая и сидеральных культур // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 3 (47). С. 29-34. EDN: VQCBNN
16. Еременко Я.В., Несмиян А.Ю., Кулаков А.К., Асатурян С.В. Сравнительный анализ потребительских характеристик игольчатых и зубовых борон // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 2. С. 8-12. EDN: YXNLUW
17. Кондрашов В.А., Ковалев М.М., Перов Г.А., Сизов И.В. Исследование работы игольчатой бороны с радиально установленными иглами на дисках // Техника и оборудование для села. 2019. № 10 (268). С. 14-18. EDN: RBBVHL
18. Хайлис Г.А., Ковалёв М.М., Кондрашов В.А., Шевчук В.В., Толстухко Н.Н. Определение сил, действующих на иглы игольчатой бороны // Наука в центральной России. 2019. № 2 (38). С. 60-65. EDN: LBVCGW
19. Шмидт А.Н. Влияние угла атаки на геометрическую форму лунки при работе игольчатого диска // Актуальные направления развития аграрной науки: Сборник научных статей, посвященный 50-летию селекционного центра ФГБНУ «Омский АНЦ». Омск: ИП Макшеева Е.А., 2020. С. 512-517. EDN: NGEWTA
20. Кондрашов В.А., Ковалев М.М., Перов Г.А. Определение движущей силы игольчатой бороны при ее работе на полях с уклоном // Техника и оборудование для села. 2019. № 7 (265). С. 10-13. EDN: WLWQFA
21. Кем А.А., Шевченко А.П., Бегунов М.А., Коваль В.С. Экспериментальные исследования взаимодействия рабочих органов игольчатого диска с растительными остатками // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (33). С. 134-141. EDN: ZEEQAX
22. Еременко Я.В., Несмиян А.Ю., Кулаков А.К., Черемисин Ю.М. Совершенствование конструкции рабочего органа игольчатой бороны-мотыги // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 1 (22). С. 223-231. EDN: WQFQPS
23. Нелюбина И.А. Особенности работы усовершенствованного ротационного игольчатого рабочего органа бороны // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XIV Международной научно-практической конференции молодых ученых. Ч. 1. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2021. С. 245-248. EDN: IHZVCV
24. Колебательная игольчатая борона-мотыга: Патент RU218756 U1, МПК А01В21/04 U1 / С.С. Калаев, В.С. Петрина,
12. Shekikhachev Yu.A., Hazhmetov L.M., Pazova T.H., Gergokaev D.A., Senov H.M., Shekikhacheva L.Z., Medovnik A.N., Tverdokhlebov S.A. Estimation of the efficiency of means for antierosion processing of soil in the Kabardino-Balkarian Republic. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2014;97:482-494. (In Russ.)
13. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Creation and development of systems for machines and technologies for the complex mechanization of technological processes in crop production. *Istoriya Nauki i Tekhniki = History of Science and Engineering*. 2019;12:46-55. (In Russ.)
14. Kulik K.N., Dubenok N.N. Dust storms at the low Volga in spring of 2015. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2016;1:4-7. (In Russ.)
15. Bondarenko A.M., Nesmiyan A.Yu., Kachanova L.S., Kormiltsev Yu.G. Fundamentals of a systemic technology for restoring soil fertility using the non-grain part of the crop and green manure crops. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2019;3:29-34. (In Russ.)
16. Eremenko Ya.V., Nesmiyan A.Yu., Kulakov A.K., Asaturyan S.V. Comparative analysis of consumer characteristics of needle and tooth harrows. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2018;2:8-12. (In Russ.)
17. Kondrashov V.A., Kovalev M.M., Perov G.A., Sizov I.V. Study of the operation of a soil spiker with radially mounted spikes on the discs. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2019;10:14-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-10-14-18>
18. Hailis G., Kovalev M., Kondrashov V., Shevchuk V., Tolstushko N. Determination of forces acting on the needle harrows. *Science in the Central Russia*. 2019;2:60-65. (In Russ.)
19. Schmidt A.N. Influence of the approach angle on the geometric shape of the hole during the operation of a needle disk. *Current Trends in the Development of Agricultural Science: Collection of articles dedicated to the 50th anniversary of the breeding center of the FSBRI "Omsk Scientific Center"*. Omsk, IP Maksheeva E.A. 2020. Pp. 512-517. (In Russ.)
20. Kondrashov V.A., Kovalev M.M., Perov G.A. Determination of the driving force of a soil spiker when operating on sloped fields. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2019;7:10-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-7-10-13>
21. Kem A.A., Shevchenko A.P., Begunov M.A., Koval' V.S. Pilot study of interaction between working bodies of wheel spider with vegetable residues. *Vestnik Omskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta = Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2019;1:134-141. (In Russ.)
22. Eremenko Ya.V., Nesmiyan A.Yu., Kulakov A.K., Cheremisin Yu.M. Improving the design of the working tool of a needle harrow-hoe. *Innovatsii v Selskom Khozyaystve = Innovations in Agriculture*. 2017;1:223-231. (In Russ.)
23. Nelyubina I.A. Features of the improved rotary needle working body of the harrow. *Innovative Trends in the Development of Russian Science: Proceedings of the XIV International scientific and practical conference of young scientists*. Krasnoyarsk, 2021. Pp. 245-248. (In Russ.)
24. Kalaev S.S., Petrina V.S., Kisiev S.K., Timurziev B.M. Swing needle-type harrow-hoe: Patent No. 218756 Russian Federation, IPC A01B21/04. Claimed on March 13, 2023, No. 2023105766; published on June 08, 2023, Bulletin No. 16. (In Russ.)
25. Kondrashov V.A., Kovalev M.M., Sizov I.V., Perov G.A. On the rational arrangement of disks on the axes of a needle harrow. *Scientific Support for the Production of Spinning Crops: Status, Problems and Prospects: Collection of research papers*. Tver, 2018. Pp. 234-237. (In Russ.)

С.К. Кисиев, Б.М. Тимурзиев; заявл. 13.03.2023. № 2023105766; опубл. 08.06.2023; Бюл. № 16. EDN: INPWJW

25. Кондрашов В.А., Ковалев М.М., Сизов И.В., Перов Г.А. О рациональном расположении дисков на осях игольчатой бороны // Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы: Сборник научных трудов. Тверь, 2018. С. 234-237. EDN: YXREZN

Информация об авторах

Андрей Юрьевич Несмиян¹, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Технологии и средства механизации агропромышленного комплекса»; <https://orcid.org/0000-0003-3473-8081>; nesmiyan.andrei@yandex.ru

Алексей Григорьевич Арженовский^{2,3}, д-р техн. наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0003-3473-8081>; argenowski@mail.ru

Максим Юрьевич Горенков³, магистрант; milter1999@mail.ru

^{1,2,3} Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ; 347740, Российская Федерация, г. Зерноград Ростовской области, ул. Ленина, 21

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

Вклад авторов

А.Ю. Несмиян – научное руководство, формулирование основной концепции исследования, постановка задачи исследования, критический анализ полученных результатов, редактирование выводов.

А.Г. Арженовский – анализ литературных источников, получение аналитических зависимостей для проведения расчетов, подготовка первоначального варианта текста, формирование частных и общих выводов.

М.Ю. Горенков – литературный анализ данных, проведение расчетов, формирование частных и общих выводов.

Статья поступила в редакцию 06.09.2024; поступила после рецензирования и доработки 08.10.2024; принята к публикации 09.10.2024

Author Information

Andrey Yu. Nesmiyan¹, DSc (Eng), Professor of the Department “Technologies and Means of Farm Mechanization”; <https://orcid.org/0000-0003-3473-8081>, nesmiyan.andrei@yandex.ru

Aleksei G. Arzhenovsky^{2,3}, DSc (Eng), <https://orcid.org/0000-0003-3473-8081>; argenowski@mail.ru

Maksim Yu. Gorenkov³, MSc student; milter1999@mail.ru

^{1,2,3} Azov-Black Sea Engineering Institute, Don State Agrarian University; Lenina Str., 21, Zernograd, Rostov region, 347740, Russia

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127434, Russia

Author Contribution

Andrey Yu. Nesmiyan – research supervision, conceptualization, setting the research problem, critical analysis of the obtained results, editing of conclusions.

Aleksei G. Arzhenovsky – literature review, calculations and data curation, writing – original draft preparation, general and specific conclusions.

Maksim Yu. Gorenkov – literature review, calculations and data curation, general and specific conclusions.

Received 06.09.2024; Revised 08.10.2024; Accepted 09.10.2024.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 632.08

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-28-35>

Экспериментальное исследование температурного поля в слое почвы при нагреве сверхвысокочастотным излучением

С.С. Воложанинов¹, Н.В. Алдошин², А.А. Завалий³, Д.Д. Волобуев⁴^{1,3,4}Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского; г. Симферополь, Россия²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия¹s.volozhaninov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6686-1220>²naldoshin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8000-4532>³zavalym@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0806-1110>⁴volobyev99@mail.ru

Аннотация. Применение неионизирующего излучения в агропромышленном производстве представляет собой перспективное, экологически чистое альтернативное направление борьбы с вредителями, болезнями и сорняками. Основной целью исследований является разработка и внедрение технологий и устройств для его осуществления. В ходе исследований разработано устройство для обеззараживания почвы сверхвысокочастотным излучением, источником которого служат магнетроны с частотой излучения 2450 МГц и потребляемой мощностью 800...1000 Вт. Подвод энергии излучения к поверхности почвы осуществляется волноводом размером 90×60 мм. В качестве приемников СВЧ-излучения использовались картонные боксы с образцами почвы длиной 200 мм, шириной 50 мм и глубиной 100 мм. С помощью тепловизора Testo 882 определялось распределение температуры в слое почвы при воздействии устройства. Термографирование проводилось при влажности почвы 4, 10, 15 и 20%. С целью определения влияния на нагрев почвы отраженного излучения в слое почвы размещали алюминиевую пластину толщиной 1 мм. Выявлено, что при экспозиции 60 с слой почвы нагревается до 60...65°C на глубину 25...35 мм, до 40...45°C – на глубину 90...100 мм. При этом влажность почвы существенно не влияет на характер ее нагрева. Эффективность СВЧ-излучения и нагрева усиливается при размещении под слоем почвы металлической пластины, при этом до 87% расходуемой устройством энергии аккумулируется слоем почвы.

Ключевые слова: почва, СВЧ-излучение, нагрев, устройство для обеззараживания почвы, термографирование, эффективность СВЧ-излучения

Для цитирования: Воложанинов С.С., Алдошин Н.В., Завалий А.А., Волобуев Д.Д. Экспериментальное исследование температурного поля в слое почвы при нагреве сверхвысокочастотным излучением // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 28-35. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-28-35>

ORIGINAL ARTICLE

Experimental study of the temperature field in the soil layer when heated by ultrahigh frequency radiation

S.S. Volozhaninov¹, N.V. Aldoshin², A.A. Zavalii³, D.D. Volobuev⁴^{1,3,4}V.I. Vernadsky Crimean Federal University; Simferopol, Russia²Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia¹s.volozhaninov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6686-1220>²naldoshin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8000-4532>³zavalym@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0806-1110>⁴volobyev99@mail.ru

Abstract. The use of non-ionizing radiation in agro-industrial production is a promising environmentally friendly alternative solution for pest, disease and weed control. The main purpose of the research is the development and use of technologies and devices for its implementation. In the course of the study, a device was developed to disinfect the soil with ultrahigh-frequency radiation, the source of which is magnetrons with a radiation frequency of 2450 MHz and a power consumption of 800 to 1000 watts. The radiation energy is applied to the soil surface by a waveguide measuring 90 × 60 mm. Cardboard boxes with soil samples 200 mm long, 50 mm wide and 100 mm deep were used as microwave radiation receivers. The thermal imager Testo 882 was used to determine the temperature distribution

in the soil layer operated by to the device. Thermography was performed at soil humidity of 4, 10, 15 and 20%. In order to determine the effect of reflected radiation on soil heating, an aluminum plate with a thickness of 1 mm was placed in the soil layer. The study revealed that at an exposure of 60 s, the soil layer heats up to 60 to 65°C to a depth of 25 to 35 mm, to 40 to 45°C to a depth of 90 to 100 mm. At the same time, soil moisture does not significantly affect its heating rate. The efficiency of microwave radiation and heating is still higher when a metal plate is placed under the soil layer, while up to 87% of the energy consumed by the device is accumulated by the soil layer.

Keywords: soil, microwave radiation, heating, soil disinfection device, thermography, microwave radiation efficiency

For citation: Volozhaninov S.S., Aldoshin N.V., Zavaliy A.A., Volobuev D.D. Experimental study of the temperature field in the soil layer when heated by ultrahigh frequency radiation. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(6):28-35. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-28-35>

Введение

При возделывании сельскохозяйственных культур альтернативой химическим методам борьбы с вредителями, болезнями и сорной растительностью является обработка почвы неионизирующим излучением [1-6].

Сверхвысокочастотный (СВЧ) диапазон неионизирующего излучения характеризуется тепловым и специфическим, или олиготермическим, деструктивным действием на биологические объекты¹ [7], что позволяет использовать его для угнетения паразитов, патогенной микрофлоры и сорных растений. Основными факторами воздействия СВЧ-излучения на биологические объекты являются частота, поток энергии на единицу обрабатываемой поверхности и экспозиция СВЧ-излучения на объект обработки.

Авторами разработано устройство для обеззараживания почвы сверхвысокочастотным излучением [8]. Необходимо провести оценку эффективности его использования.

Цель исследований: экспериментальное определение эффективности теплового воздействия разработанного устройства для обеззараживания поверхностного слоя почвы сверхвысокочастотным излучением при частоте излучения магнетронов 2450 МГц и потребляемой мощности 800...1000 Вт.

Материалы и методы

Схема устройства для обеззараживания поверхностного слоя почвы сверхвысокочастотным излучением представлена на рисунке 1.

Основными элементами устройства являются магнетрон 3 с излучающей антенной и волновод 2, представляющий собой металлическую тонкостенную трубку прямоугольного сечения размером 90×60 мм длиной 225 мм, размещенный в корпусе 1. К корпусу 1 крепятся трансформатор 5, конденсатор 6, предохранитель 7, вентилятор 4 для охлаждения магнетрона. Электропитание устройства



Рис. 1. Устройство для обеззараживания поверхностного слоя почвы. Принципиальная схема:

1 – корпус; 2 – волновод; 3 – магнетрон; 4 – вентилятор; 5 – трансформатор; 6 – конденсатор; 7 – предохранитель; 8 – бокс с образцом почвы; 9 – соединительные провода

Fig. 1. Device for disinfection of the surface layer of the soil. Schematic diagram:

1 – housing; 2 – waveguide; 3 – magnetron; 4 – fan; 5 – transformer; 6 – capacitor; 7 – fuse; 8 – box with a soil sample; 9 – connecting wires

¹Бородин И.Ф. Применение сверхвысокой частоты в сельском хозяйстве // Электричество. 1989 № 6. С. 1-8; Бородин И.Ф. Применение СВЧ-энергии в сельском хозяйстве: Обзорная информация / И.Ф. Бородин, Г.А. Шарков, А.Д. Горин; Госагропром СССР; Всесоюзная ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени академия сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина; Всесоюзный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований агропромышленного комплекса. М.: Всесоюзный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований агропромышленного комплекса, 1987. 56 с. (Механизация и электрификация сельского хозяйства). EDN: RWLTUP.

осуществляется от электрической сети переменного тока напряжением 220 В.

В качестве приемников СВЧ-излучения использовались картонные боксы, заполненные образцами почвы, длиной 200 мм, шириной 50 мм и глубиной 100 мм (рис. 2). Боковая стенка бокса выполнена откидной, открываемая поверхность образца почвы подлежит термографированию для определения распределения температуры по глубине слоя почвы. С целью определения влияния на нагрев почвы отраженного излучения на дне бокса установлена алюминиевая пластина толщиной 1 мм.

Регистрация температурного поля боковой поверхности образца почвы 3 выполнялась тепловизором Testo 882 с термочувствительной матрицей размером 320×240 пикселей с разрешающей способностью 0,06°C. Обработка цифровых термограмм, полученных тепловизором, осуществлялась в приложениях MS Excel и Mathcad. Влажность почвы определяли в соответствии с ГОСТ 28268-89 с использованием аналитических весов ВЛГЭ-510, сушильного шкафа и эксикатора. Температура и влажность атмосферного воздуха определялись комбинированным прибором ТА298.

Расход электрической энергии при работе устройства фиксировался однофазным счетчиком электрической энергии СЕ101. Время работы устройства регистрировали электронным секундомером С-01.

В исследованиях использовалась почва, относящаяся к черноземам южным мицеллярно-карбонатным, развитым на красно-бурых глинах² [9, 10].

Методика выполнения эксперимента по определению распределения энергии излучения включает в себя следующую очередность операций: определение исходной влажности почвы; регистрация температуры и влажности в помещении; размещение боксов с почвой под срезом волновода 2 (рис. 1); включение магнетрона с заданной экспозицией (30 или 60 с); размещение бокса с образцом почвы в фокусе тепловизора Testo 882; открытие боковой крышки бокса и регистрация температуры боковой поверхности образца почвы тепловизором Testo 882; обработка термограмм тепловизора в приложениях MS Excel и Mathcad.

Условия проведения эксперимента: влажность почвы – 4%; влажность в помещении – 56%; температура воздуха в помещении – 17,3°C; средняя температура боковой поверхности образцов почвы перед нагревом – 18,4°C; время экспозиции – 30 и 60 с.

² Почвоведение: Учебник для университетов: В 2 ч. Ч. 1. Почва и почвообразование / Г.Д. Белицина, В.Д. Высильевская, Л.А. Гришина и др.; Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. М.: Высшая школа, 1988. 400 с.



Рис. 2. Бокс с почвой:

- 1 – откидная боковая стенка бокса;
- 2 – алюминиевая пластина;
- 3 – боковая поверхность образца почвы;
- 4 – верхняя поверхность образца почвы

Fig. 2. Box with the soil:

- 1 – folding side wall of the box; 2 – aluminium plate;
- 3 – lateral surface of the soil sample;
- 4 – upper surface of the soil sample

Эксперименты выполнялись в 7 повторностях, нагрев каждого образца почвы фиксировался тепловизором трижды с периодом между снимками не более 5 с.

Исследование распределения энергии излучения в зависимости от влажности почвы выполнено с применением экспериментальной установки (рис. 1), термографирование осуществлялось при влажности почвы 4, 10, 15 и 20%. Условия проведения: бокс без металлической пластины, влажность в помещении 56%, температура воздуха 17,3°C, время экспозиции 30 и 60 с.

Результаты и их обсуждение

Термограмма боковой поверхности образцов почвы в боксе с металлической пластиной и без нее, а также сравнение температур образцов почвы вдоль осевой линии волновода представлены на рисунке 3.

Анализ экспериментальных данных с использованием критерия Фишера показал существенное различие значений температур при использовании с металлической пластиной и в случае ее отсутствия.

Как следует из термограмм (рис. 3а), зона нагрева образца почвы ограничена шириной волновода, равной 90 мм. При этом максимальное значение температуры образца почвы 40°C достигается при экспозиции 30 с, 74°C – при 60 с. Использование металлической пластины при экспозиции в диапазоне 30...60 с позволяет увеличить максимальную температуру нагрева образца почвы на 4,6...8,5%.

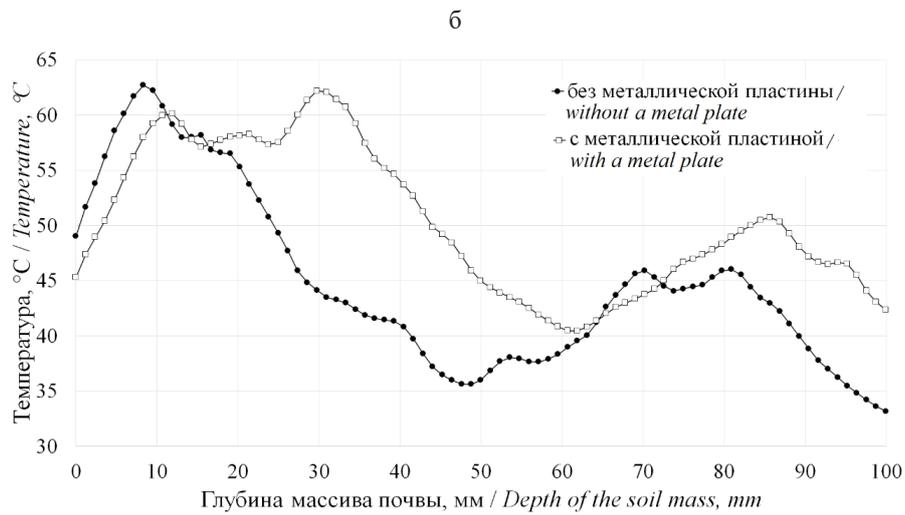
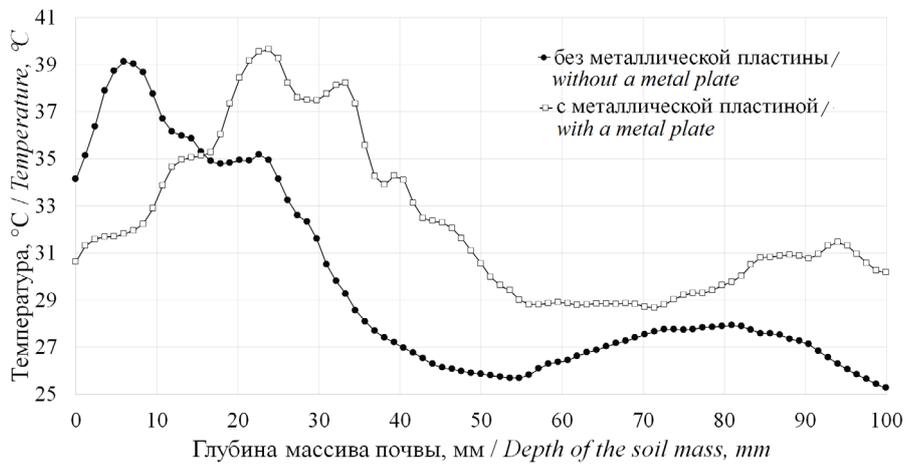
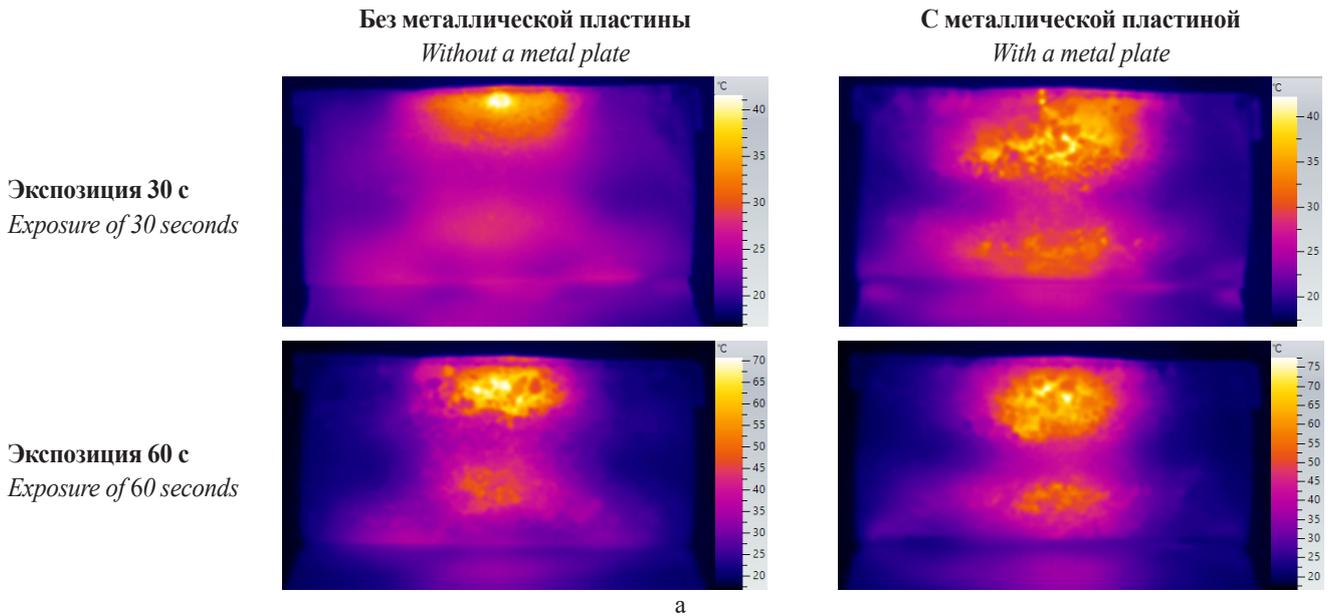


Рис. 3. Результаты термографирования боковой поверхности образцов почвы в боксе (а) и сравнение температур образцов почвы вдоль осевой линии волновода при экспозиции 30 с (б) и 60 с (в)
Fig. 3. Results of thermography of the lateral surface of soil samples in the box (a) and comparison of the temperatures of soil samples along the centerline of the waveguide at an exposure of 30 c (b) and 60 c (c)

Анализ термограмм и сравнение температур образцов почвы вдоль осевой линии волновода (рис. 3 б, в) показали, что температура почвы выше 40°C наблюдается при экспозиции 60 с и отсутствии металлической пластины на глубине около 40 мм, а в боксе с металлической пластиной – по всей глубине. Эффект усиления термического действия СВЧ-излучения на образец почвы при использовании металлической пластины объясняется отражением от нее излучения, проходящего сквозь образец почвы, и его поглощения почвой.

Оценка полноты поглощения образцом почвы энергии СВЧ-излучателя (оценка энергоэффективности) с металлической пластиной и без нее осуществлялась сравнением затраченной энергии СВЧ-излучателя, измеренной счетчиком электроэнергии, и расчетного значения поглощенной теплоты образцом почвы в предположении одинаковости нагрева слоя почвы по его ширине при следующих исходных данных:

- обрабатываемый объем почвы – $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;
- удельная теплоемкость воды – 4200 Дж/кг · К;

- удельная теплоемкость почвы – 900 Дж/кг · К;
- плотность почвы – $2,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Результат сравнения затраченной энергии и поглощенной теплоты представлен в таблице 1.

Установлено, что до 87% затраченной энергии передается СВЧ-излучением в обрабатываемую почву, что говорит о высокой эффективности обеззараживания почвы. Целесообразно использовать при обработке почвы СВЧ-излучением погруженный в слой почвы металлический отражатель. Техническое решение мобильного агрегата для обработки почвы электромагнитным излучением СВЧ с использованием металлического отражателя представлено в описании патента [8].

Исследование распределения энергии излучения выполнялось в боксе без металлической пластины при влажности почвы 4, 10, 15 и 20%. Изменение температуры боковой поверхности образца почвы в боксе и температуры вдоль осевой линии волновода представлено в таблице 2.

Таблица 1

Оценка энергоэффективности при обработке почвы СВЧ-излучением

Table 1

Assessment of energy efficiency in soil treatment with microwave radiation

Условия Conditions		Разность исходной температуры и после нагрева, °C Difference between the initial temperature and after heating, °C	Затраченная энергия, Дж (Вт·ч) Energy consumed, J (W·h)	Расчетное значение поглощенной теплоты, Дж (Вт·ч) Calculated value of the absorbed heat, J (W·h)
Бокс без металлической пластины Box without a metal plate	Экспозиция 30 с / Exposure of 30 seconds	5,4	32400 (9)	20385 (5,6)
	Экспозиция 60 с / Exposure of 60 seconds	12,1	64800 (18)	46026 (12,8)
Бокс с металлической пластиной Box with a metal plate	Экспозиция 30 с / Exposure of 30 seconds	6,8	32400 (9)	25872 (7,2)
	Экспозиция 60 с / Exposure of 60 seconds	14,9	64800 (18)	56725 (15,8)

Таблица 2

Анализ повышения температуры почвы

Table 2

Analysis of soil temperature rise

Влажность почвы, % Soil moisture, %	Экспозиция, с Exposure, seconds	Изменение температуры боковой поверхности образца почвы в боксе, °C Change in the temperature of the lateral surface of the soil sample in the box, °C			Температура образца почвы вдоль осевой линии волновода, °C Temperature of the soil sample along the centerline of the waveguide, °C		
		min	max	среднее / average	max	min	среднее / average
4	30	0,1	22,1	5,4	6,1	21,9	10,3
	60	1,2	48,6	12,1	12,5	45,8	25,0
10	30	1,2	24,6	6,7	6,6	23,7	14,6
	60	1,6	56,0	14,0	12,3	55,7	31,4
15	30	1,2	32,1	7,5	6,2	30,0	17,2
	60	1,5	54,0	13,9	12,0	53,5	32,0
20	30	0,8	29,7	7,7	5,7	29,8	17,7
	60	0,8	53,7	14,6	9,1	53,9	34,0

Данные таблицы 2 позволяют сделать вывод о том, что изменение влажности существенно не влияет на максимальную температуру нагрева. При построении поверхностей распределения температуры по боковой поверхности образца почвы в боксе установлено, что подаваемая энергия аккумулируется почвой одинаково независимо от влажности (рис. 4). Этот вывод основан на относительном равенстве сумм температур отдельно взятых поверхностей. При экспозиции 30 с и влажности 4% сумма температур составляет $4,928 \cdot 10^5$, при 10% – $4,962 \cdot 10^5$,

при 15% – $4,955 \cdot 10^5$, при 20% – $4,979 \cdot 10^5$. При экспозиции 60 с и влажности 4% сумма температур составляет $6,094 \cdot 10^5$, при 10% – $6,349 \cdot 10^5$, при 15% – $6,38 \cdot 10^5$, при 20% – $6,383 \cdot 10^5$.

Изменение температуры боковой поверхности образца почвы влажностью 15% исследовалось с течением времени после воздействия СВЧ-излучения в отсутствии металлической пластины при влажности в помещении 37%, температуре воздуха 21°C и экспозиции 60 с. На рисунке 5 представлены результаты анализа термограмм боковой поверхности

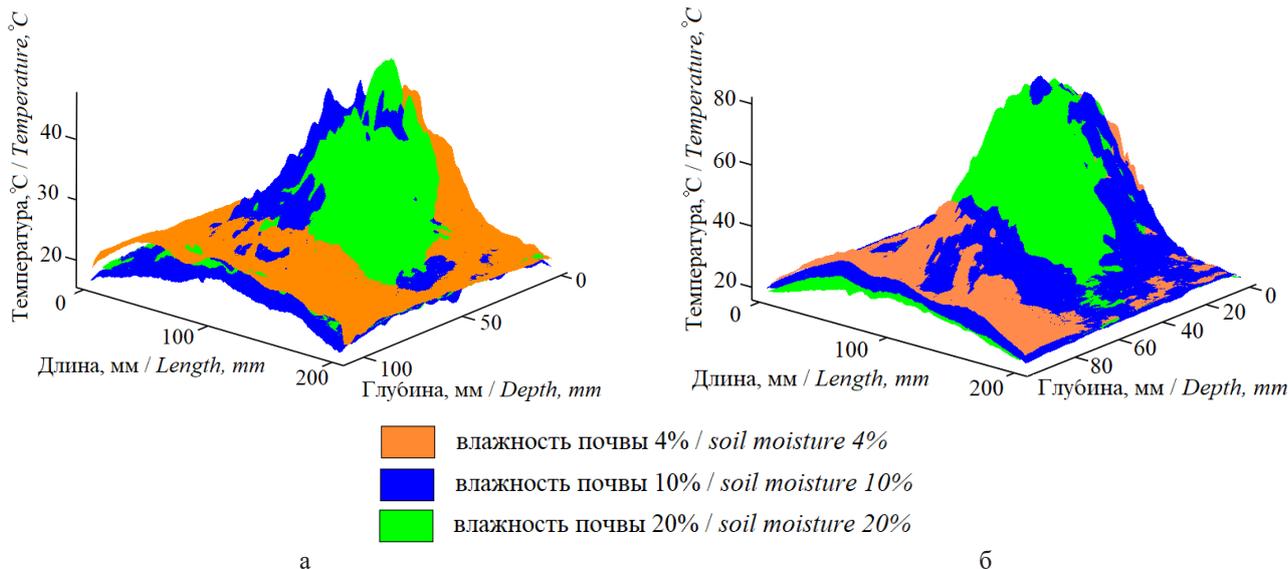


Рис. 4. Поверхность распределения температуры при влажности почвы 4, 10 и 20%:
 а – экспозиция 30 с; б – экспозиция 60 с

Fig. 4. Temperature distribution surfaces with a soil moisture of 4%, 10%, and 20%:
 а – exposure of 30 s; б – exposure of 60 s

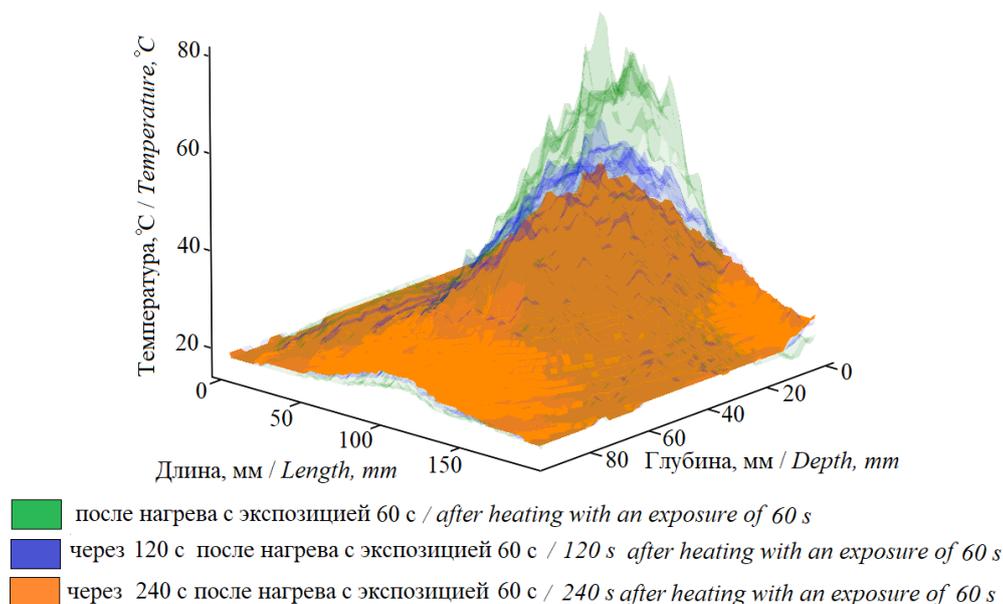


Рис. 5. Анализ термограмм динамики изменения температуры боковой поверхности образца почвы в боксе с течением времени после воздействия СВЧ-излучения

Fig. 5. Analysis of temperature dynamics of the lateral surface of the soil sample in the box over time after exposure to microwave radiation

образца почвы в боксе, зарегистрированных в течение 4 мин после нагрева. Установлено, что после воздействия СВЧ-излучения на почву со временем зона нагрева увеличивается незначительно по отношению к зоне, подвергшейся обработке. При этом зона нагрева образца почвы ограничена шириной волновода, равной 90 мм. Следовательно, при проектировании машин необходимо располагать СВЧ-излучатели с учетом сплошной обработки для обеззараживания почвы по всей ширине захвата машины.

Список источников

1. Молодцова М.А., Севастьянова Ю.В. Возможности и перспективы использования микроволнового излучения в промышленности (обзор) // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 2. С. 173-187. EDN: YHESKL
2. Хамуков Ю.Х., Канокова М.А. Земледелие и вспашка. Вспашка как антропогенный фактор деградации экосистем // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6 (110). С. 225-235. EDN: VHSXQV
3. Никишина О.В., Морозов Г.А. Комбинированные методы обработки почв // Электроника, фотоника и киберфизические системы. 2022. Т. 2, № 2. С. 51-55. EDN: LNRICH
4. Способ СВЧ-обработки почвы и устройство для его осуществления: Пат. RU2017145738 А: А01В 47/00 / А.А. Гаврилова [и др.]. № 2017145738; заявл. 25.12.2017; опубл. 25.06.2019, Бюл. № 18.
5. Устройство для обеззараживания почвы ИК-излучением: Пат. RU197880 U1 / И.Г. Пospelova, И.В. Возмищев, А.М. Ниязов, И.М. Новоселов; № 2019141928; заявл. 13.12.2019; опубл. 03.06.2020, Бюл. № 16. EDN: EQQKJP
6. Устройство для обеззараживания почвы с механической обработкой: Пат. RU № 205568 U1 / И.Г. Пospelova, И.В. Возмищев, И.Р. Владыкин, Р.Р. Шакиров, Н.П. Кондратьева; № 2021111346; заявл. 20.04.2021; опубл. 21.07.2021, Бюл. № 21. EDN: PVKQKP
7. Андреев С.А., Уманский П.М. Новая технология СВЧ-обработки почвы // Природообустройство. 2018. № 4. С. 111-116. <https://doi.org/10.26897/1997-6011/2018-4-111-116>
8. Мобильный агрегат для обработки почвы электромагнитным излучением СВЧ: Пат. RU № 226744 U1 / А.А. Завалий, Н.В. Алдошин, С.С. Воложанинов, В.С. Рутенко, Д.Д. Волобуев; заявл. 22.04.2024; опубл. 19.06.2024, Бюл. № 17. EDN: KEQWUG
9. Косолапов В.М., Цыгуткин А.С., Алдошин Н.В., Лылин Н.А. Агрономические основы инженерного обеспечения биологизации земледелия // Кормопроизводство. 2022. № 3. С. 41-47. EDN: IZUIQD
10. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Голубев В.В. Обоснование приемов обработки почвы при освоении залежных земель // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13, № 1 (64). С. 28-35. EDN: SLJVYK

Выводы

1. Высокая эффективность СВЧ-излучения при обеззараживании почвы разработанным устройством обусловлена передачей большей доли затраченной энергии (87%) и использовании металлического отражателя.
2. Максимальные значения температуры образцов почвы 40 и 74°C достигаются, соответственно, при экспозиции 30 и 60 с.
3. Влажность почвы существенно не влияет на максимальную температуру ее нагрева.
4. СВЧ-излучатели для обеззараживания почвы необходимо располагать по всей ширине захвата машины.

References

1. Molodtsova M.A., Sevastyanova Yu.V. Opportunities and prospects of using microwave radiation in industry (review). *Russian Forestry Journal*. 2017;2:173-187. (In Russ.)
2. Khamukov Yu.Kh., Kanokova M.A. Arable farming and plowing. Plowing as an anthropogenic factor of ecosystem degradation. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022;6:225-235. (In Russ.)
3. Nikishina O.V., Morozov G.A. Combined soil treatment methods. *Electronics, Photonics and Cyberphysical Systems*. 2022;2(2):51-55. (In Russ.)
4. Gavrilova A.A. etc. Method of microwave tillage and a device for its implementation: patent RU2017145738: A01B47/00. No. 2017145738, 2019. (In Russ.)
5. Pospelova I.G., Vozmishchev I.V., Niyazov A.M., Novoselov I.M. Device for soil disinfection IR-radiation: patent RU197880 U1, 2020. (In Russ.)
6. Pospelova I.G., Vospishchev I.V., Vladykin I.R., Shakhirov R.R., Kondratieva N.P. Device for soil disinfection with mechanical treatment: patent RU No.205568, 2021. (In Russ.)
7. Andreev S.A., Umansky P.M. New technology of soil microwave treatment. *Prirodoobustrojstvo*. 2018;4:111-116. <https://doi.org/10.26897/1997-6011/2018-4-111-116> (In Russ.)
8. Zavaliy A.A., Aldoshin N.V., Volozhaninov S.S., Rutenko V.S., Volobuev D.D. Mobile unit for soil treatment with microwave electromagnetic radiation: patent RU226744, 2024. (In Russ.)
9. Kosolapov V.M., Tsygutkin A.S., Aldoshin N.V., Lylin N.A. Mechanized agronomy as means for arable farming biologization. *Kormoproizvodstvo*. 2022;3:41-47. (In Russ.)
10. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Golubev V.V. Justification of tillage methods in the development of fallow lands. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2020;13(1):28-35. (In Russ.)

Сведения об авторах

Сергей Сергеевич Воложанинов^{1✉}, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры общетехнических дисциплин; s.volozhaninov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6686-1220>; Scopus Autor ID: 57218094232

Николай Васильевич Алдошин², д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории почвообрабатывающих и мелиоративных машин; naldoshin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>; Scopus Autor ID: 5719413129; Researcher ID: AAD-6548-2022

Алексей Алексеевич Завалий³, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой общетехнических дисциплин; zavalyim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0806-1110>; Scopus Autor ID: 57214120527

Дмитрий Дмитриевич Волобуев⁴, аспирант кафедры общетехнических дисциплин; volobuev99@mail.ru

^{1,3,4}Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского; 295007, Российская Федерация, Республика Крым, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, 4

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5

Вклад авторов

С.С. Воложанинов – проведение исследований, описание результатов и формирование выводов исследования, создание черновика рукописи, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование;

Н.В. Алдошин – концептуализация;

А.А. Завалий – методология, научное руководство;

Д.Д. Волобуев – обзор источников литературы, подготовка графических материалов, проведение исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила в редакцию 12.07.2024; поступила после рецензирования и доработки 11.10.2024; принята к публикации 14.10.2024

Authors Information

Sergey S. Volozhaninov^{1✉}, PhD (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Department of General Technical Subjects, s.volozhaninov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6686-1220>; Scopus Autor ID: 57218094232

Nikolay V. Aldoshin², DSc (Eng), Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Tillage and Reclamation Machines; naldoshin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>; Scopus Author ID: 5719413129; Researcher ID: AAD-6548-2022

Aleksey A. Zavalyi³, DSc (Eng), Associate Professor, the head of the department of «All-technical disciplines», zavalyim@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0806-1110>; Scopus Autor ID: 57214120527

Dmitry D. Volobuev⁴, postgraduate student of Department of General Technical Subjects; volobuev99@mail.ru
^{1,3,4}V.I. Vernadsky Crimean Federal University; 4 Akademika Vernadskogo Ave., Simferopol, 295007, Republic of Crimea, Russian Federation

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 1st Institutsky Proezd Str., 5, Moscow, 109428, Russian Federation

Author Contribution

S.S. Volozhaninov – investigation, formulation of results and conclusions, writing – original draft preparation, writing – revising and editing of the manuscript;

N.V. Aldoshin – conceptualization;

A.A. Zavalyi – methodology, research methodology;

D.D. Volobuev – literature review, visualization, investigation.

Conflict of interests

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

Received 12.07.2024; Revised 11.10.2024; Accepted 14.10.2024.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 629.351:621.316

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-36-43>

Оптимизация перевозки сельскохозяйственной продукции с применением технологий имитационного моделирования

С.И. Некрасов^{1✉}, А.В. Шитикова², А.С. Апатенко³^{1,2,3} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ sergej.nekrasov@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-6844-5773>² plant@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5943-0430>³ a.apatenko@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>

Аннотация. Применение эффективных инновационных технологий распределения и управления производственными ресурсами позволяет сократить издержки и оптимизировать управленческие процессы в организациях агропромышленного комплекса. С целью разработки подхода по оптимизации перевозки сельскохозяйственной продукции автомобильным транспортом осуществлен теоретико-методологический анализ этого процесса в России. Выявлено, что качество и себестоимость транспортировки продукции АПК зависят от условий транспортирования, сезонности, режимов перевозки и хранения овощей и фруктов, а также эксплуатационных затрат на перевозку. Для онлайн-мониторинга этих показателей в режиме реального времени и фиксации условий перевозки в конструкцию транспортного средства (автомобиль) авторами предложено установить термодатчики и датчики влажности, камеры фиксации положения груза и блок телематики, который получает и обрабатывает данные с датчиков уровня топлива, загрузки транспортного средства, скорости и др. и отправляет информацию на компьютер оператора. Апробация разработанной методики проведена на 306 грузовых автомобилях транспортной компании «Технология движения», из них 118 ед. – KAMAZ, 64 ед. – SCANIA, 121 ед. – MERSEDES-BENZ ACTROSS. Проведен анализ отказов всех рассмотренных автомобилей. Информация о парке машин и данные, полученные от дополнительного оборудования, установленного нами на транспортных средствах, позволили собрать информацию, необходимую для описания процесса, и разработать алгоритм оптимизации показателей, влияющих на себестоимость и качество транспортировки сельскохозяйственной продукции. Разработанная с помощью программно-вычислительного комплекса «Сапфир» имитационная модель на базе ЛТ-системы поможет повысить качество перевозки сельскохозяйственной продукции и снизить затраты. Разработанная имитационная модель применима для исследования и прогнозирования развития системы грузоперевозок в аграрной отрасли.

Ключевые слова: оптимизация перевозки сельскохозяйственной продукции, перевозки сельскохозяйственной продукции автомобильным транспортом, имитационная модель, АПК, качество транспортировки, себестоимость транспортировки, качество перевозки сельскохозяйственной продукции

Для цитирования: Некрасов С.И., Шитикова А.В., Апатенко А.С. Оптимизация перевозки сельскохозяйственной продукции с применением технологий имитационного моделирования // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 36-43. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-36-43>

ORIGINAL ARTICLE

Optimization of transportation of agricultural products using simulation technologies

S.I. Nekrasov^{1✉}, A.V. Shitikova², A.S. Apatenko³^{1,2,3} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ sergej.nekrasov@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-6844-5773>² plant@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5943-0430>³ a.apatenko@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>

Abstract. The use of effective innovative technologies for distribution and management of production resources reduces costs and optimizes management processes in agro-industrial enterprises. To develop an approach to optimizing the transportation of agricultural products, the authors analyzed theoretical and methodological basics of this process in Russia. It was found that the quality and costs of transportation depend on the conditions of transport, seasonality, methods of transport and storage of fruit and vegetables, as well as operational costs for transportation. To provide for the online monitoring of these indicators in real time and recording of transportation conditions in the design

of a vehicle (automobile), the authors propose new design elements: a) thermal and humidity sensors and cameras to record the cargo position and b) a telematics unit that receives and processes data from fuel level sensors, vehicle load, speed, etc. and sends information to an operator's computer. The developed methodology was tested on 306 trucks of the transport company "Technology of Movement," including 118 KAMAZ trucks, 64 SCANIA trucks, and 121 MERSEDES-BENZ ACTOROS trucks. The authors analyzed failures in all vehicles under consideration. Information about the vehicle fleet and data obtained from additional equipment installed on vehicles provided information necessary to describe the process and make an algorithm for optimizing indicators affecting the cost and quality of agricultural product transportation. A simulation model based on the JIT-system equipped with the Sapphire programming and computing suite will help improve the quality of transportation of agricultural products and reduce costs. The developed simulation model is applicable for the study and prediction of the development of the freight transportation system in the agricultural sector.

Keywords: optimization of transportation of agricultural products, transportation of agricultural products by road, simulation model, agro-industrial sector, quality of transportation, cost of transportation, quality of transportation of agricultural products

For citation: Nekrasov S.I., Shitikova A.V., Apatenko A.S. Optimization of transportation of agricultural products using simulation technologies. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(6):36-43. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-36-43>

Введение

В условиях развития сельскохозяйственного производства и увеличения объема перевозок повышение производительности труда, сохранение качества, снижение себестоимости и потерь сельскохозяйственной продукции при транспортировке становятся особенно актуальными [1].

Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. Новая стратегия нацелена на то, чтобы устранить недостатки транспортной сети, связать различные регионы России стабильными, надежными транспортными путями, организовать эффективную и быструю перевозку грузов.

Для бесперебойной работы сельскохозяйственного производителя необходимо иметь развитую транспортную сеть с рационально сформированной структурой имеющихся производственных запасов во избежание и минимизации возможных простоев^{1,2}. В АПК часто осуществляются перевозки сельскохозяйственной продукции автомобильным транспортом.

Применение метода имитационного моделирования позволяет получить решение при изменении входных параметров и детальный анализ динамики системы с учетом изменения в подсистемах и параметрах внешней среды, отслеживать все логические условия и нелинейность процессов. Преимуществом AnyLogic является привязка к GIS-картам для

моделирования в реальном времени и возможность комбинирования нескольких видов моделирования (системной динамики, дискретно-событийного и агентного моделирования).

Цель исследований: оптимизировать процесс перевозки сельскохозяйственной продукции автомобильным транспортом с применением технологий имитационного моделирования.

Материалы и методы

Проведен теоретико-методологический анализ процесса перевозки сельскохозяйственной продукции. С помощью математического анализа обработаны характеристики транспортировки грузов, осуществлен подбор техники и методов доставки. С основой на разработанной с помощью программно-вычислительного комплекса «Сапфир» модели предложены рекомендации по принятию оптимальных решений, призванных повысить качество перевозки продукции и снизить затраты. Модель может применяться для анализа и предсказательной системы транспортировки продукции на предприятиях аграрного сектора, которую в последующем нейронная сеть сможет использовать для обучения.

Результаты и их обсуждение

По данным ФАО (FAO, 2022), в мире уровень потерь фруктов и овощей на стадии транспортировки составляет 3...18%. В России более 15...20% плодовоовощной продукции не доходит до потребителя по причине низкого качества перевозки и недостаточного уровня использования транспортных средств. Простои в пунктах погрузки и разгрузки, занимающие до 50% времени, ухудшают сохранность продукции. Ежегодные убытки от потерь составляют около 8 млрд руб., а транспортные издержки достигают 30...40% от себестоимости продукции [2].

¹ Организация агробизнеса. Цифровая трансформация: учебное пособие / Л.И. Хоружий, О.Г. Каратаева, А.В. Шитикова и др. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. 189 с. EDN: YMVPNH.

² Трунов В.В., Шитикова А.В., Тевченков А.А. Цифровизация сельского хозяйства // В кн.: Инновационный вектор развития аграрной науки. М.: ООО «Русайнс», 2022. С. 66-68. EDN: GAENFV.

Промышленное производство овощей в России в 2023 г. составило 7,2 млн т, при этом большая часть продукции произведена в условиях открытого грунта (5,5 млн т). По данным Росстата, ежегодно наибольшие объемы производства приходятся на репчатый лук (113,0 тыс. т), капусту (101,0 тыс. т), морковь (39,3 тыс. т), столовую свеклу (22,5 тыс. т). В условиях открытого грунта лидируют по объемам выращенной продукции огурцы (870,5 тыс. т) и томаты (724,1 тыс. т).

Ключевым условием сохранности продукции является соблюдение режимов перевозки и хранения овощей и фруктов согласно СанПиН № 2.3.6.3668-20. Скоропортящиеся продукты (картофель, лук, чеснок, корнеплоды, яблоки, груши, цитрусовые, зелень, упакованная в контейнеры) с целью минимизации затрат на транспортировку часто перевозят в открытых грузовиках без холодильных систем, что приводит к механическим повреждениям и порче продукции. Применение рефрижераторов и соблюдение скоростного режима водителем помогают защитить продукцию от порчи и повреждений. Упаковка для перевозки овощей должна защищать плоды от трения и ударов и изготавливаться из экологичного материала. Овощи и фрукты, выделяющие этилен, должны транспортироваться и храниться отдельно с продукцией, подверженной вредному воздействию. В целях экономической целесообразности несовместимую продукцию часто транспортируют в одном рефрижераторе, размещая ее в противоположных частях кузова, увеличивая срок совместного хранения до двух суток.

В ходе анализа показателей, влияющих на качество и себестоимость транспортировки продукции АПК, выявлено, что, помимо условия транспортирования, а именно сезонности, режимов перевозки и хранения овощей и фруктов, необходимо учитывать эксплуатационные затраты на перевозку (продолжительность маршрута, тип кузова, расход топлива и ГСМ, затраты на техническое обслуживание и ремонт).

Для онлайн-мониторинга этих показателей в режиме реального времени и фиксирования условий перевозки в конструкцию транспортного средства (автомобиль) предлагается установить термодатчики и датчики влажности, камеры фиксирования положения груза и блок телематики, который будет получать и обрабатывать данные от стандартных (датчики уровня топлива, загрузки транспортного средства, скорости и др.) и дополнительных датчиков и отправлять информацию на компьютер оператора (рис. 1).

Одним из факторов доставки продукции является время безотказной работы транспортных средств, осуществляющих перевозку. В реальных условиях эксплуатации выход из строя транспортных средств происходит в результате возникновения случайных отказов. Одним из ключевых комплексных показателей работы парка машин является коэффициент технической готовности, который отражает работу машин в течение определенного периода [3-5].

В результате проводимых исследований под наблюдением находились 306 грузовых автомобилей транспортной компании «Технология движения», из них 118 ед. – КАМАЗ (5490, 4389 F1, М 1840, М 1945,

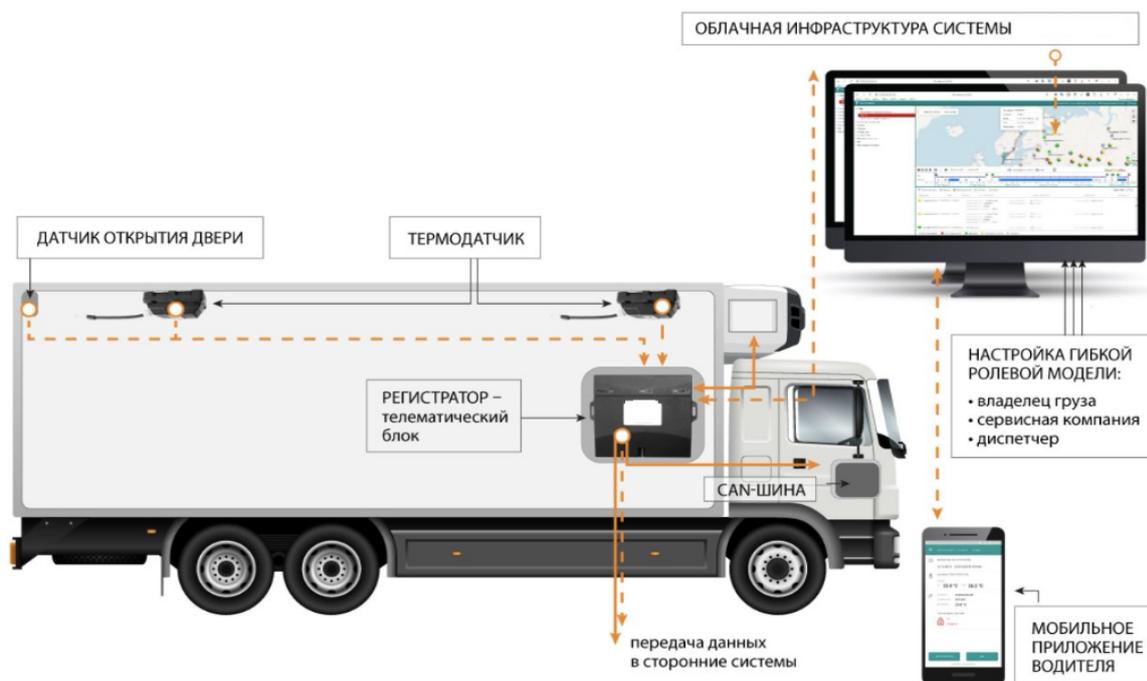


Рис. 1. Архитектура программно-аппаратного комплекса

Fig. 1. Architecture of the hardware and software system

Т 2640), 64 ед. – SCANIA (G400, R400, R440), 121 ед. – MERSEDES-BENZ ACTROSS (1836, 1841LS, 1844LS, 1845LS, 1846LS, 1848LS, 1853LS, 1840L) и др. Средний пробег машин с момента начала эксплуатации составил около 700 тыс. км. Для оценки влияния показателей безотказности на эффективность работы парка машины собраны и систематизированы статистические данные о количестве ремонтно-технических воздействий относительно марок транспортных средств (рис. 2, 3).

Анализ отказов всех рассмотренных машин показал пиковое количество отказов при пробеге 320...600 тыс. км. Характерными отказами автомобилей SCANIA являются неисправности в двигателе (36,7%), электрооборудовании (22,5%) и трансмиссии (8,1%); у КАМАЗ – в тормозной системе (18,6%), электрооборудовании (13,3%) и трансмиссии (13,3%); у MERSEDES – в ходовой части (17,2%), электрооборудовании (17,7%) и тормозной системе (13,9%). Оценка отказов и времени их устранения позволяет определить наименее надежные узлы и агрегаты

автомобилей, требующие особого внимания при подготовке транспортного средства к выпуску в рейс.

Информация о парке машин и данные, полученные от дополнительного оборудования, установленного нами на транспортных средствах, позволили собрать информацию, необходимую для описания процесса, и разработать алгоритм оптимизации показателей, влияющих на себестоимость и качество транспортировки сельскохозяйственной продукции.

В настоящее время многие российские предприятия, адаптируя зарубежный опыт, внедряют в свою производственно-хозяйственную деятельность различные подходы к управлению материально-техническим обеспечением на базе систем MRP, MRPII, ERP, DRP и др. Наиболее интересной является система типа «Точно в срок» (just-in-time) – JIT-система, которая характеризуется точными сроками перевозки и учета производственной мощностью предприятия. Степень достижения основной цели JIT-системы зависит от достижения следующих вспомогательных

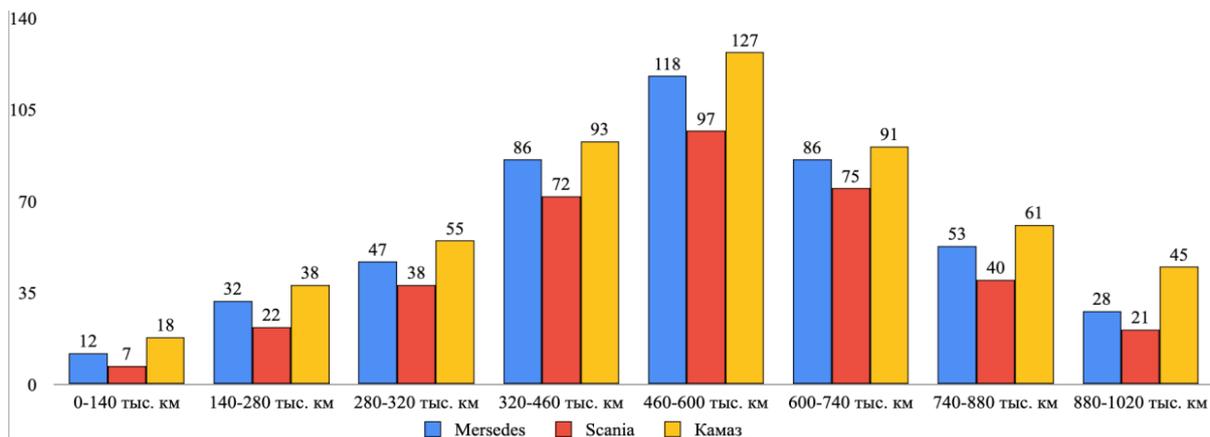


Рис. 2. Распределение отказов транспортных средств в зависимости от пробега

Fig. 2. Distribution of vehicle failures depending on mileage

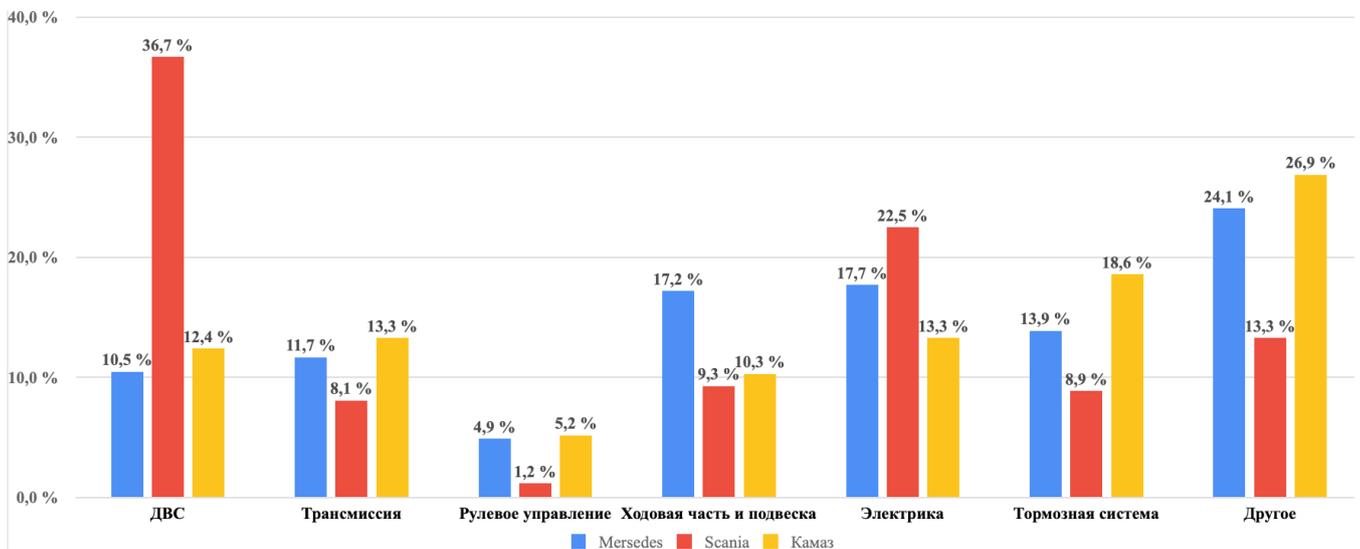


Рис. 3. Сравнительная гистограмма распределения отказов транспортных средств

Fig. 3. Comparative histogram of the distribution of vehicle failure rates

целей: исключение сбоев и нарушений в процессе производства; гибкость и адаптивность самой системы; сокращение производственных сроков и времени подготовки к процессу; сведение к минимуму материальных запасов; устранение необоснованных затрат.

В рамках текущего исследования разработка модели выполнена и настроена в соответствии особенностями ЛТ-системы.

Для определения значения показателей оперативного планирования перевозки сельскохозяйственной продукции построена и исследована модель в среде имитационного моделирования AnyLogic [6, 7]. Имитационная модель разработана программно-вычислительным комплексом «Сапфир».

Структура модели состоит из нескольких взаимосвязанных блоков, которые описывают поведение транспортных средств при выполнении процесса перевозки сельскохозяйственной продукции (рис. 4). Под агентом мы понимаем звено модели, которое способно иметь кэш (память), поведение, контакты и т.п. При формировании заявки основными условиями являются местоположение, объем и тип груза, который необходимо доставить. Создав первую заявку, модель определяет оптимальный маршрут и количество необходимых транспортных средств для перевозки. При добавлении новой заявки происходит перерасчет. С помощью сформированной базы MySQL задаются входные параметры: тип, объем груза, технический паспорт транспортного средства (тип кузова, марка, уровень загрузки, периодичность технического обслуживания и ремонта, указание дополнительных условий, влияющих на расход топлива в процессе эксплуатации). Если перестроение маршрута не может быть реализовано имеющимися транспортными средствами, то добавляется новая заявка и выполняется проверка других сочетаний. Поиск решения осуществляется пошаговым спуском с постоянным шагом, равным заданной погрешности определения коэффициентов.

Программирование блоков модели сводится к математическому описанию рабочих циклов транспортных средств с привязкой к системному времени моделируемого процесса с учетом параметров. Функциональное описание агента транспортного средства можно представить математически:

$$F_i = T_i + t_{\text{бес}} + t_{\text{отк.}} + K_{\text{сез.}} + \tau_i + N_{\text{куз}} + N_{\text{груз}} + t_{\text{то}} + Q_i, \quad (1)$$

где T_i – время выполнения перевозки, ч; $t_{\text{бес}}$ – время безотказной работы транспортного средства во время перевозки, ч; $t_{\text{отк.}}$ – время устранения отказа в рейсе, ч; $K_{\text{сез.}}$ – коэффициент сезонности; τ_i – температурный режим внутри кузова, °C; $N_{\text{куз}}$ – тип кузова; $N_{\text{груз}}$ – тип груза; $t_{\text{то}}$ – время на техническое обслуживание, ч; Q_i – расход топлива на 100 км, л.

В условиях рассматриваемого транспортно-технологического процесса количество возможных уникальных сочетаний ($N_{\text{ком}}$, ед.) определяется по формуле:

$$N_{\text{ком}} = N_{\text{тс}} \cdot (N_{\text{тс}} - 1), \quad (2)$$

где $N_{\text{тс}}$ – количество транспортных средств, ед.

Время на моделирование всего эксперимента ($T_{\text{мод}}$, с) и необходимые затраты времени на реализацию расчета определяются по выражению:

$$T_{\text{мод}} = N_{\text{ком}} \cdot ((t_{\text{пр}} \cdot n_{\text{прог}}) \cdot t_{\text{обм}} + t_{\text{зап}}), \quad (3)$$

где $(t_{\text{пр}} \cdot n_{\text{прог}})$ – время моделирования одного комплекса, с; $n_{\text{прог}}$ – количество прогонов эксперимента, ед.; $t_{\text{обм}}$ – общее время на загрузку (выгрузку) данных в (из) модели, с; $t_{\text{зап}}$ – потери времени на повторный запуск модели, с.

В среде AnyLogic можно проводить ряд экспериментов: простой эксперимент; варьирование параметров; оптимизацию; сравнение «прогонов»; Монте-Карло; анализ чувствительности; калибровку; обучение ИИ; нестандартный. Поскольку в модели существуют некоторые переменные величины, то наиболее корректно в данном исследовании применить метод Монте-Карло.

Процесс оптимизации представляет собой итеративный процесс, в котором оптимизатор выбирает допустимые значения оптимизационных параметров и запускает модель с этими значениями. После завершения «прогона» модели оптимизатор вычисляет значение целевой функции и анализирует полученное значение, далее изменяет значения оптимизационных параметров в соответствии с алгоритмом оптимизации, и процесс повторяется заново.

Перед началом эксперимента пользователю предоставляется возможность настроить входные параметры имитационной модели (рис. 5).

Для поиска оптимального решения при организации перевозки сельскохозяйственной продукции был выбран критерий минимального значения топливных затрат. Результаты моделирования технологического процесса грузоперевозки с использованием различных вариантов машин, направлений и протяженности приведены на рисунке 6.

С помощью разработанной модели происходит корректировка маршрута, подбор транспортного средства с учетом специфики перевозимого груза и показателей надежности транспортного средства. Сравнение результатов моделирования с данными, полученными в процессе эксплуатации, показывает снижение продолжительности маршрута SCANIA G-series с 1175 до 1139 км, MERSEDES-BENZ ACTROSS – с 653 до 630 км, KAMAZ – с 169 до 134 км. В зависимости от маршрута перевозки

данный эффект составил в среднем 20...60 км. Объем перевозимого груза увеличился: для SCANIA G-series – с 16 до 17,55 т; у MERSEDES-BENZ ACTROSS – с 16,7 до 17,8 т; у KAMAZ – с 16,9 до 18,1 т. Затраты на топливо снизились: у SCANIA G-series – с 21337 до 19828 руб.; у MERSEDES-BENZ ACTROSS – с 11610 до 10595 руб.; у KAMAZ – с 2621 до 2180 руб.

Апробация разработанной методики при эксплуатации парка машин в транспортной компании «Технология движения» показала снижение времени на устранение отказов на 7%, уменьшение затрат, связанных с их устранением, на 5%, экономию средств в размере 10299 тыс. руб. Данный экономический эффект позволяет ТК «Технология Движения» получить дополнительные ресурсы для дальнейшего развития.

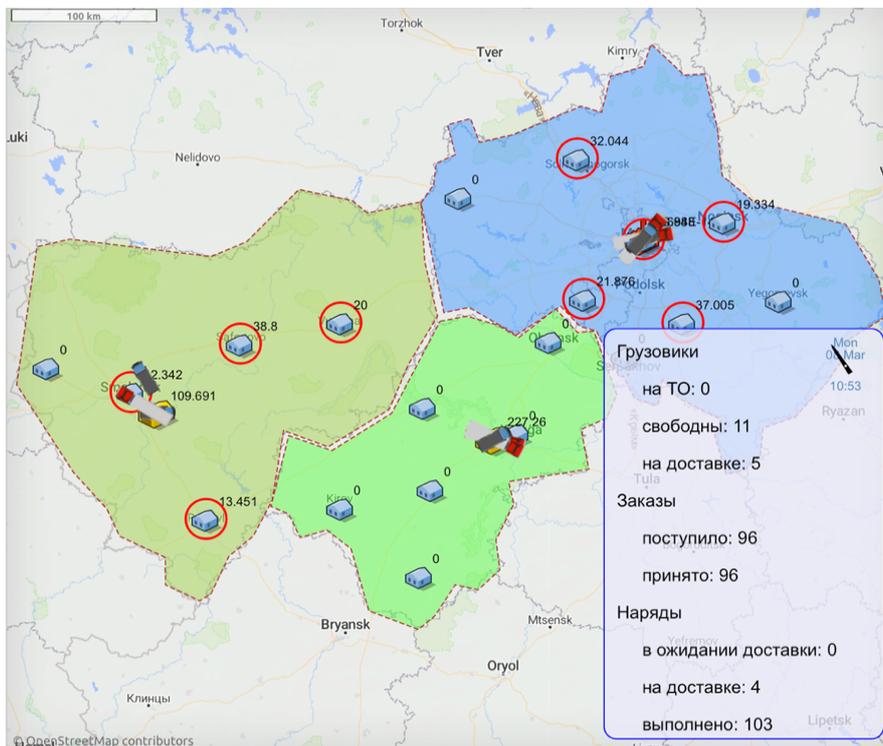
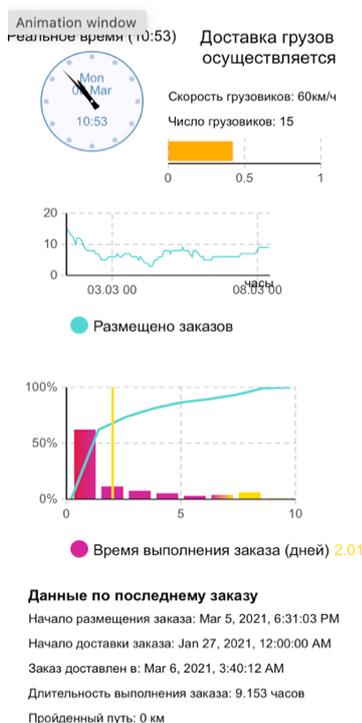


Рис. 4. Структура имитационной модели

Fig. 4. Structure of the simulation model

Model1 : Optimization

	Текущее	Лучшее
Итерация:	21 недопуст.	14
Репликации:	2	2
Функционал	0	1.179
Параметры		Copy best
колвоГрузовиковПроизводства	3	4
скоростьГрузовиков	60	60
соотношениеПоТипа	10@657a12b	[D@657dabf3
колвоГрузовиковСклад	5	2
соотношениеПоТипа	10@657a12b	[D@24f3a12b
минЗаказОбъем	10	10
максЗаказОбъем	40	40
объемПартии	10	10
минДлитПроизводства	10	10
максДлитПроизводства	30	30
интервал_TO	30	30

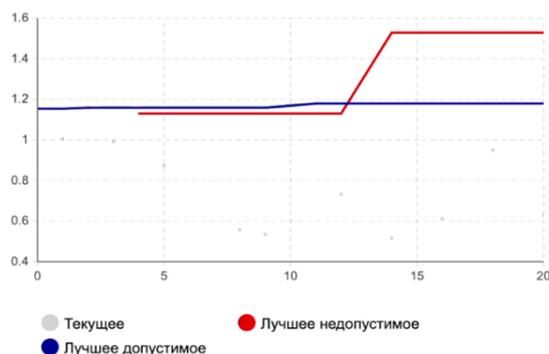


Рис. 5. Оптимизационный эксперимент

Fig. 5. Optimization experiment

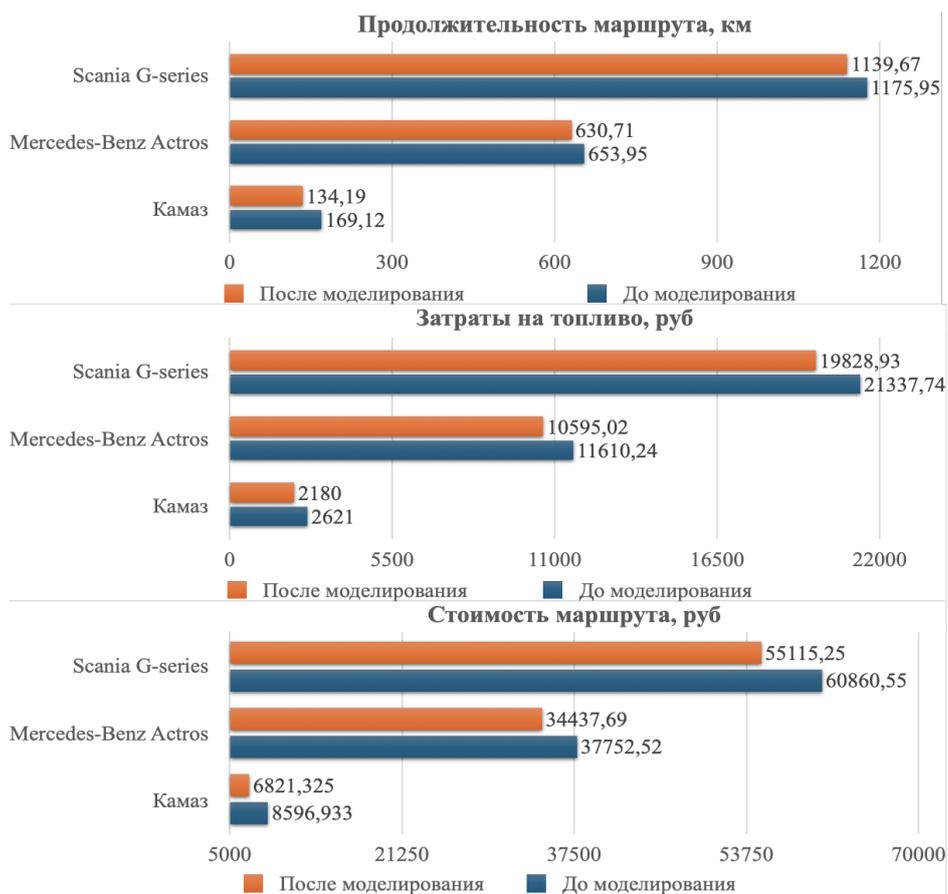


Рис. 6. Сравнение результатов моделирования перевозки сельскохозяйственной продукции по основным экономическим показателям эффективности

Fig. 6. Comparison of the results of modeling transportation of agricultural products based on main economic performance indicators

Выводы

Уровень потерь овощей и фруктов при перевозке в мире составляет 3...18%. В России около 15...20% плодоовощной продукции не доходит до потребителя по причине низкого качества перевозки. Простои в пунктах погрузки и разгрузки, занимающие до 50% времени, ухудшают сохранность продукции.

Для контроля условий транспортирования и безотказной работы транспортного средства во время перевозки сельскохозяйственной продукции достаточно в конструкцию транспортного средства интегрировать контрольно-информационную систему и вспомогательные датчики контроля, а также настроить

логику построения алгоритма передачи и приема информации о состоянии транспортного средства.

Разработанная имитационная модель для автоматизированного распределения транспортных средств между производителями сельскохозяйственной продукции и потребителем позволила рассчитать экономические показатели перевозки сельскохозяйственной продукции на примере функционирования транспортной компании «Технология движения»: снижение времени на устранение отказов на 7% и уменьшение затрат, связанных с их устранением, на 5%, экономию средств в размере 10 299 тыс. руб. без снижения качества перевозимой сельскохозяйственной продукции.

Список источников

1. Пискачев И.А. Перевозка картофеля с использованием прицепной и съемной транспортной техники в сельском хозяйстве // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: Материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции, Тула, 22-23 декабря 2016 г. Вып. 1. Тула: Тульский государственный университет, 2017. С. 126-129. EDN: YLADZV
2. Facchini F., Silvestri B., Digiesi S., Lucchese A. Agri-food loss and waste management: Win-win strategies for edible discarded fruits and vegetables sustainable

References

1. Piskachev I.A. Transportation of potatoes using trailed and detachable transport equipment in agriculture. *Problems of research of systems and means of road transport: Proceedings of the International full-time scientific and technical conference*, Tula, December 22-23, 2016. Issue 1. Tula: Tula State University, 2017. Pp. 126-129. (In Russ.)
2. Facchini F., Silvestri B., Digiesi S., Lucchese A. Agri-food loss and waste management: Win-win strategies for edible discarded fruits and vegetables sustainable

2. Facchini F., Silvestri B., Digiesi S., Lucchese A. Agri-food loss and waste management: Win-win strategies for edible discarded fruits and vegetables sustainable reuse. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2023;83:103235. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103235>

3. Севрюгина Н.С., Апатенко А.С. Интеграция профилей цифровых двойников технологических машин в сфере эксплуатации и сопровождения // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Материалы XV Международной научно-практической конференции, р.п. Правдинский, Московская обл., 8 июня 2023 г. М.: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2023. С. 84-91. EDN: ВТНБСТ

4. Golubev I.G., Sevryugina N.S., Apatenko A.S., Fomin A.Yu. Modernizing Machines to Extend Their Life. *Russian Engineering Research*. 2023;43(3):258-263. <https://doi.org/10.3103/s1068798x23040111>

5. Sevryugina N.S., Apatenko A.S., Kozhukhova N.I. Methods for reducing the uncertainty of risks of failures of elements in technological machines. *Digital Technologies in Construction Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022;173:77-84. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_11

6. Nekrasov S.I., Gornostaev V.I. Use of simulation modeling techniques in solving optimization problems of transport support. *Digital Technologies in Agriculture of the Russian Federation and the World Community*. Stavropol: AIP PUBLISHING, 2021;2661:040007. EDN: OPRZVB

7. Некрасов С.И. Разработка программно-аппаратного комплекса для рационального распределения и контроля целевого использования производственных ресурсов в АПК // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы: Сборник статей 26-й Московской Международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 12-13 мая 2022 г. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. С. 373-376. EDN: KPKUTI

Сведения об авторах

Сергей Игоревич Некрасов¹, ассистент; sergej.nekrasov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6844-5773>; Scopus Author ID: 57934708400; Researcher ID: AAE-6385-2022

Александра Васильевна Шитикова², д-р с.-х. наук, профессор; plant@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5943-0430>; Scopus Author ID: 57212139251; Researcher ID: A-2946-2016

Алексей Сергеевич Апатенко³, д-р техн. наук, доцент; a.apatenko@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>; Scopus Author ID: 57216908465; Researcher ID: AAN-9862-2020.

^{1,2,3} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

С.И. Некрасов – программное обеспечение, создание окончательной версии;

А.В. Шитикова – информационные ресурсы и аналитика;

А.С. Апатенко – концептуализация.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила в редакцию 16.09.2024; поступила после рецензирования и доработки 14.10.2024; принята к публикации 16.10.2024

2. Facchini F., Silvestri B., Digiesi S., Lucchese A. Agri-food loss and waste management: Win-win strategies for edible discarded fruits and vegetables sustainable reuse. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2023;83:103235. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103235>

3. Sevryugina N.S., Apatenko A.S. Integration of the profiles of digital twins of technological machines in operation and maintenance. *Scientific and Information Support of Innovative Development of Agroindustrial Sector: Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference*, Pravdinskiy, Moscow region, June 8, 2023, Moscow: Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of Agroindustrial Sector, 2023. Pp. 84-91. (In Russ.)

4. Golubev I.G., Sevryugina N.S., Apatenko A.S., Fomin A.Yu. Modernizing Machines to Extend Their Life. *Russian Engineering Research*. 2023;43(3):258-263. <https://doi.org/10.3103/s1068798x23040111>

5. Sevryugina N.S., Apatenko A.S., Kozhukhova N.I. Methods for reducing the uncertainty of risks of failures of elements in technological machines. *Digital Technologies in Construction Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022;173:77-84. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81289-8_11

6. Nekrasov S.I., Gornostaev V.I. Use of simulation modeling techniques in solving optimization problems of transport support. *Digital Technologies in Agriculture of the Russian Federation and the World Community*. Stavropol: AIP PUBLISHING, 2021;2661:040007.

7. Nekrasov S.I. Development of hardware and software suite for rational distribution and control of the target use of production resources in the agro-industrial sector. Materials-handling and transporting, construction, road, track, reclamation machines and robotic systems: Proceedings of the 26th Moscow International Interuniversity Scientific and Technical Conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists, Moscow, May 12-13, 2022, Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2022. Pp. 373-376. (In Russ.)

Author Information

Sergey I. Nekrasov¹, Assistant Professor; sergej.nekrasov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6844-5773>; Scopus Author ID: 57934708400; Researcher ID: AAE-6385-2022

Aleksandra V. Shitikova², DSc (Ag), Professor; plant@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5943-0430>; Scopus Author ID: 57212139251; Researcher ID: A-2946-2016

Aleksei S. Apatenko³, DSc (Eng), Associate Professor; a.apatenko@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>; Scopus Author ID: 57216908465; Researcher ID: AAN-9862-2020.

^{1,2,3} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow 127434, Russian Federation

Author Contribution

S.I. Nekrasov – software, writing – finalizing (revising and editing) of the manuscript;

A.V. Shitikova – information resources and analytics;

A.S. Apatenko – conceptualization.

Conflict of interests

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

Received 16.09.2024; Revised 14.10.2024; Accepted 16.10.2024.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.331

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-44-48>

Лабораторно-полевые испытания экспериментальной сеялки для сплошного посева газонных трав: определение показателей качества

О.Н. Дидманидзе¹, В.И. Пляка²^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ didmanidze@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0003-2558-0585>² plyaka@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-9353-177X>

Аннотация. Сплошной посев ввиду экономических соображений и агротехнических показателей является более предпочтительным в сравнении с рядовым, узкорядным, перекрестным и разбросанным посевами. Посев газонных трав иногда приходится проводить на участках со сложной конфигурацией. Предлагаемая экспериментальная сеялка для сплошного посева трав, оснащенная высевальным аппаратом катушечного типа, прошла стендовые испытания, однако необходимо проверить качество ее посева в полевых условиях. С целью проверки показателей качества сплошного посева газонных трав при прямолинейном и криволинейном движении проведены лабораторно-полевые испытания экспериментальной сеялки согласно ГОСТ 31345-2017 на полевой станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Осуществлялся посев газонной смеси «Газон Быстрый». Проверка качественных показателей высевального аппарата и основных агрегатов сеялки – относительной полевой всхожести семян и ширины засеваемой полосы – осуществлялась после появления полных всходов и подсчета числа растений на площадках 0,25 м², расположенных на разных траекториях движения сеялки. По результатам лабораторно-полевых испытаний установлено, что относительная полевая всхожесть семян при различных траекториях движения составила 83...96%. Ширина засеваемой сеялкой полосы составила 90,8 см. Показатель неустойчивости общего высева по всходам составил 5,61% при нормативе 9%. По результатам исследования можно заключить, что высевальный аппарат не снижает качества посевного материала и разработанная сеялка обеспечивает сплошной посев газонных трав.

Ключевые слова: сеялка, высевальный аппарат, сплошной посев, полевая всхожесть семян, ширина засеваемой полосы

Для цитирования: Дидманидзе О.Н., Пляка В.И. Определение показателей качества сплошного посева газонных трав: лабораторно-полевые испытания экспериментальной сеялки // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 44-48. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-44-48>

ORIGINAL ARTICLE

Laboratory and field tests of an experimental seeder for close seeding of lawn grasses: determining the quality indicators

O.N. Didmanidze¹, V.I. Plyaka²^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Russia, Moscow¹ didmanidze@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0003-2558-0585>² plyaka@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-9353-177X>

Abstract. Continuous sowing is preferable over row (line), close-row, cross, and broadcast sowing due to economic and agronomic reasons. Lawn grasses sometimes have to be sown in areas with complex configurations. The proposed experimental seeder for the continuous sowing of lawn grasses, equipped with a seeding unit of the coil type, has passed bench tests, but it is necessary to check its performance quality in the field conditions. In order to verify the quality indicators of continuous sowing of lawn grasses under the straight-line and curvilinear motion modes, the authors conducted laboratory and field tests of the experimental seeder according to GOST 31345-2017 at the field station of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy using lawn mixture “Gazon Bystryi [Quick Lawn]” as a test sample. The quality indicators of the seeding unit and the main parts of the seeder – relative field germination of seeds and the width of the seeded strip – were checked after the emergence of full sprouts and counting the number of plants on the sites of 0.25 m², located along different trajectories of the seeder. The results of laboratory-field tests showed that relative field germination of seeds amounted to 83 to 96% at different trajectories. The width of the seeded strip behind the seeder was 90.8 cm. The non-uniformity index of total seeding by sprouts

amounted to 5.61% with the standard of 9%. The study results have confirmed that the seeding unit does not reduce the quality of seed material and the developed seeder is suitable for continuous sowing of lawn grasses.

Keywords: seeder, seeding unit, continuous sowing, field germination of seeds, width of seeded strip

For citation: Didmanidze O.N., Plyaka V.I. Laboratory and field tests of an experimental seeder for close seeding of lawn grasses: determining the quality indicators. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(6):44-48. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-44-48>

Введение

Каждому растению необходимо достаточное количество питательных веществ, влаги и света. Следовательно, семена при посеве должны быть равномерно распределены по поверхности засеваемого участка. Рядовой и узкорядный способы посева в отличие от сплошного способа отличаются большей неравномерностью распределения семян по засеваемой площади. В данном случае сплошной способ посева обеспечивает оптимальную площадь питания высеваемых культур. Производительность сеялки при перекрестном посеве в два раза меньше, чем при сплошном способе. Разбросной посев отличается низким качеством агротехнических показателей. При посеве газонных культур особенно важно соблюдать равномерность распределения семян и качество агротехнических показателей.

Предлагаемая нами экспериментальная сеялка может производить равномерный сплошной посев газонных трав, двигаясь не только по прямолинейной траектории, но и по различным радиусам [1, 2]. Равномерный высев по различным траекториям возможен при использовании посевной машины с индивидуальным приводом высевочного аппарата или с электрическим дозатором, но эти устройства намного дороже, а их конструкция сложнее в эксплуатации и изготовлении [3-8]. Стендовые испытания и испытания на липкой ленте экспериментальной сеялки показали высокие результаты по равномерности высева при движении по различным радиусам [9-11], но сеялка не была испытана в полевых условиях.

Цель исследований: проверка показателей качества сплошного посева газонных трав экспериментальной сеялкой при ее лабораторно-полевых испытаниях.

Материалы и методы

Лабораторно-полевые испытания экспериментальной сеялки (рис. 1) проводили на полевой станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с использованием газонной смеси «Газон Быстрый» согласно ГОСТ 31345-2017¹. Семена засыпали в семенной

ящик сеялки и устанавливали необходимую норму высева – 3,3 кг/100 м².

Предлагаемая сеялка предназначена для обеспечения качественного посева семенного материала трав сплошным способом. Высевочный аппарат сеялки состоит из желобковых катушек и эластичного элемента, охватывающего катушки (рис. 2). Угол охвата и прилегание эластичного элемента к катушке составляет 140°. В данном высевочном аппарате отсутствует активный слой семян, поэтому рабочий объем катушки (V_0) равен объему семян ($V_{ж}$), вынесенных желобками катушки:

$$V_0 = V_{ж} = \varepsilon z S l_p,$$

где ε – коэффициент заполнения желобков; z – число желобков пары катушек; S – площадь поперечного сечения желобка; l_p – длина рабочей части катушки.

Лабораторно-полевые испытания позволили проверить влияние высевочного аппарата сеялки, состоящего из желобковых катушек и эластичного элемента, на всхожесть семян.

Для улучшения контакта высеянных семян с почвой и увеличения полевой всхожести [12] на сеялку устанавливали дополнительное оборудование – прикапывающие катки [13].

План экспериментального участка для посева, имеющего длину 26 м и ширину 14 м, представлен на рисунке 3. Конфигурацию засеваемого участка выбирали согласно классификации по группам сложности [7]. Подготовленный участок для посева отвечал требованиям второй группы сложности, для которой характерны участки с ровными сторонами без выпуклостей с наименьшим углом между смежными сторонами более 27 градусов, формы эллипса и полуэллипса, у которых отношение большой оси к малой – менее 2,1.

Сеялка двигалась круговым способом от наружного края участка к центру. Оставшиеся незасеянные сектора были засеяны при выезде сеялки из центра. При движении сеялки определяли радиус поворота и отмечали точки взятия проб для определения относительной полевой всхожести семян и неустойчивости общего высева по всходам.

Проводилась проверка качественных показателей высевочного аппарата и основных агрегатов сеялки: относительной полевой всхожести семян, ширины засеваемой полосы и неустойчивости общего высева по всходам.

¹ГОСТ 31345-2017. Межгосударственный стандарт. Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний. *Agricultural machinery. Tractor seeders. Test methods*. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160963>.

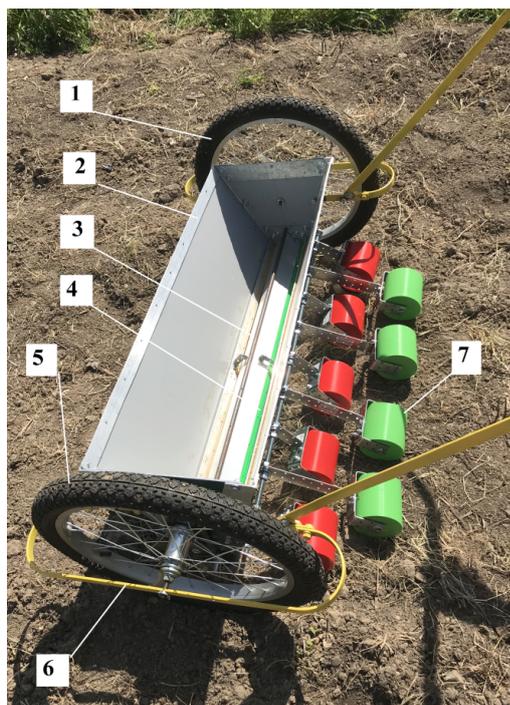


Рис. 1. Экспериментальная сеялка СВ-0,9:

- 1 – правое приводное колесо; 2 – бункер;
- 3 – первый вал высевашего аппарата;
- 4 – второй вал высевашего аппарата;
- 5 – левое приводное колесо; 6 – рама;
- 7 – прикатывающие катки

Fig. 1. Experimental seeder SV-0,9:

- 1 – right driven wheel; 2 – hopper;
- 3 – first shaft of the seeding unit;
- 4 – second shaft of the seeding unit;
- 5 – left driven wheel; 6 – frame; 7 – seed press rollers

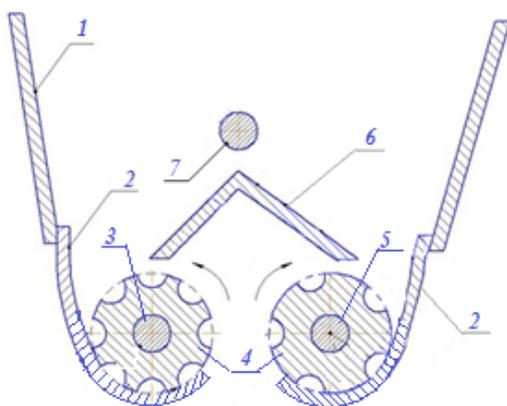


Рис. 2. Схема высевашего аппарата экспериментальной сеялки:

- 1 – бункер для семян; 2 – эластичный элемент;
- 3 – первый вал высевашего аппарата;
- 4 – пара катушек аппарата;
- 5 – второй вал высевашего аппарата; 6 – рассекатель;
- 7 – вал перемешивающего устройства

Fig. 2. Design of the seeding unit of the experimental seeder:

- 1 – seed hopper; 2 – elastic element;
- 3 – first shaft of the seeding unit; 4 – a pair of spools of the unit;
- 5 – second shaft of the seeding unit; 6 – splitter;
- 7 – shaft of the stirring device

Определение относительной полевой всхожести семян проводили после появления полных всходов и подсчета числа растений на площадках 0,25 м², расположенных на разных траекториях движения сеялки.

Относительная полевая всхожесть $\Pi_{в}$, %, была рассчитана по формуле:

$$\Pi_{в} = \frac{n_{в}}{n_{в.с}} 10^2,$$

где $n_{в}$ – число взошедших растений, шт/м²; $n_{в.с}$ – число высеванных всхожих семян, шт/м².

Число высеванных всхожих семян $n_{в.с}$, шт/м², вычисляли по формуле:

$$n_{в.с} = \frac{Q_{м} \cdot \Pi_{г}}{A} = \frac{33 \cdot 87 / 100}{1,98 / 1000} = 14500 \text{ шт} / \text{м}^2,$$

где $Q_{м}$ – норма высева, г/м²; $\Pi_{г}$ – посевная годность семян, %; A – масса 1000 семян, г.

Ширину засеваемой сеялкой полосы определяли после появления всходов. Измерения проводили в поперечном направлении между крайними растениями в пяти повторностях при прямолинейном движении сеялки.

Показатель неустойчивости общего высева H_p сеялки по числу всходов рассчитывали из выражений:

$$H_p = \frac{\sigma}{q_p} 100;$$

$$q_p = \frac{\sum q_i}{p};$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (q - q_p)^2}{p - 1}},$$

где q_i – количество всходов, полученных после высева на каждой траектории движения сеялки; p – количество траекторий; q_p – среднее количество всходов, полученных после высева сеялкой на разных траекториях.

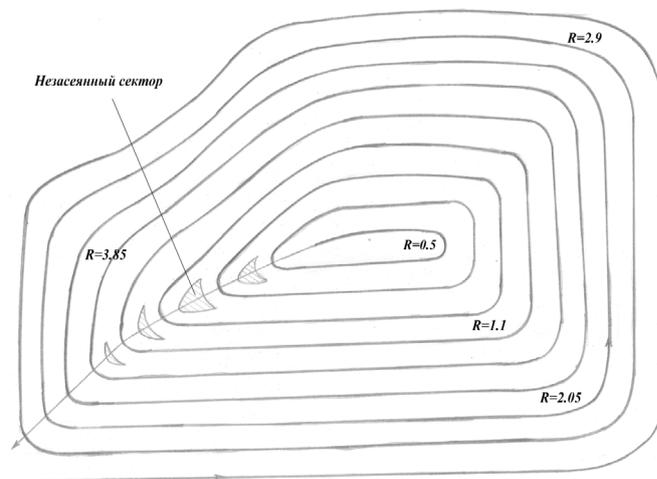


Рис. 3. План участка

Fig. 3. Site plan

Результаты и их обсуждение

Результаты определения относительной полевой всхожести семян представлены в таблице 1.

Число высеванных всхожих семян на площади 0,25 м², полученное расчетным путем, составило 3625 шт.

Относительная полевая всхожесть семян при работе сеялки на различных траекториях движения составила 83...96%. Показатель полевой всхожести практически совпадает с паспортными данными используемых семян. Это доказывает, что эластичные элементы, которые охватывают катушки и участвуют в процессе

работы высевяющего аппарата экспериментальной сеялки, не снижают показателя полевой всхожести семян.

Ширина засеваемой сеялкой полосы, определяемая после появления всходов, составила 90,8 см.

Показатель неустойчивости общего высева H_p сеялки и статистические характеристики определения неустойчивости общего высева представлены в таблице 2.

Как следует из данных таблицы 2, показатель неустойчивости общего высева по всходам при использовании газонной смеси «Газон Быстрый» составил 5,61% (норма высева – 3,3 кг/100 м²) при нормативе 9%.

Таблица 1

Показатели относительной полевой всхожести семян

Table 1

Indicators of relative field germination of seeds

Траектория движения <i>Trajectory of movement</i>	Число взошедших растений (n_p), шт. <i>Number of germinated plants (n_p), pcs.</i>	Относительная полевая всхожесть (Π_p), % <i>Relative field germination (Π_p), %</i>
Прямолинейное / <i>Straight</i>	3438	94
Криволинейное с радиусом поворота, м <i>Curvilinear with the radius of rotation, m:</i>		
3,85	3246	89
2,90	3015	83
2,05	3199	88
1,10	3480	96
0,50	3108	85

Таблица 2

Неустойчивость общего высева газонной смеси по всходам при движении экспериментальной сеялки по различным траекториям

Table 2

Sprouting non-uniformity of total seeding of the lawn mixture when the experimental seeder moves along different trajectories

Траектория движения <i>Trajectory of movement</i>	Количество всходов на площади 0,25 м ² , шт. <i>Number of seedlings on the area of 0.25 m², pcs.</i>	Среднее количество всходов, q_p , шт. <i>Average number of sprouts, q_p, pcs.</i>	Среднеквадратическое отклонение σ , шт. <i>Standard deviation, σ, pcs.</i>	Коэффициент вариации H_p , % <i>Coefficient of variation (relative standard deviation), H_p, %</i>
Прямолинейное / <i>Straight</i>	3438	3248	182,3	5,61
Криволинейное с радиусом поворота, м <i>Curvilinear with the radius of rotation, m:</i>				
3,85	3246			
2,90	3015			
2,05	3199			
1,10	3480			
0,50	3108			

Выводы

1. По результатам лабораторно-полевых испытаний экспериментальной сеялки СВ-0,9 установлено, что относительная полевая всхожесть семян соответствует паспортным данным и составляет 83...96% при различных траекториях движения. Это доказывает, что высевяющий аппарат не снижает качества посевного материала.

2. Ширина засеваемой полосы за сеялкой, которую определяли после появления всходов, составила 90,8 см.

3. Показатель неустойчивости общего высева по всходам при работе экспериментальной сеялки составил 5,61% (норма высева – 3,3 кг/100 м²) при нормативе 9%.

Список источников

1. Высевающая система сеялки: Авторское свидетельство SU1299533 A1, МКИ А 01 С 7/16 / В.И. Пляка, Ю.А. Виноградов. № 3956012, 1987. EDN: BEULXH
2. Устройство для высева семян: Патент RU № 210275 U1, МПК А01С 7/12 / В.И. Пляка, С.М. Каткова. № 2021132823, заяв. 11.11.2021; опубл. 05.04.2022. Бюл. № 10. EDN: TEQJDO
3. Kamgar S., Noei-Khodabadi F., Shafaei S.M. Design, development and field assessment of a controlled seed metering unit to be used in grain drills for direct seeding of wheat. *Information Processing in Agriculture*. 2015;2(3-4):169-76. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.08.001>
4. Лаврухин П.В. Направление создания новой генерации посевных машин // Вестник аграрной науки Дона. 2018. № 2 (42). С. 33-39. EDN: XTQQZV
5. Жигайлов А.В., Акименко С.А., Сафаров Р.Р., Шевырев Л.Ю., Иванов П.А. Анализ современных способов посева зерновых культур // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 68-2. С. 144-148. <https://doi.org/10.18411/lj-12-2020-92>
6. Жигайлов А.В., Толстоухова Т.Н., Моисеев О.Н., Иванов П.А., Шевырев Л.Ю. Анализ и обоснование параметров рабочих органов зерновой сеялки внутрипочвенного разбросного посева // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 64-2. С. 70-74. <https://doi.org/10.18411/lj-08-2020-51>
7. Иманов А.Н., Галиев А.Ж., Биболов К.Е., Баянбаева Б. Анализ экономической эффективности зерновой сеялки, оснащенной микропроцессорным управлением и контролем высева // Актуальные научные исследования в современном мире. 2019. № 9-1 (53). С. 77-80. EDN: EXBIIZ
8. Казакова А.С., Лаврухин П.В., Иванов П.А. Совершенствование операций посева как условие развития современных технологий растениеводства // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 4 (20). С. 29-34. EDN: VHWPLX
9. Пляка В.И., Каткова С.М., Сергеева Н.А. Стендовые испытания экспериментальной сеялки для посева газонных трав // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 5. С. 24-29. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-24-29>
10. Пляка В.И., Большаков А.А., Сергеева Н.А., Смирнов К.А. Оценка равномерности распределения семян экспериментальной сеялкой: сплошной высева газонных трав // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 6. С. 24-30. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-24-30>
11. Габаев А.Х. Равномерность высева катушечных высевающих аппаратов зерновых сеялок // Известия Международной академии аграрного образования. 2021. № 56. С. 8-12. EDN: SGBOVY
12. Голубев В.В., Никифоров М.В., Фирсов А.С., Тюрин И.Ю., Левченко Г.В. Модификация сеялки для посева мелкосеменных культур // Аграрный научный журнал. 2019. № 6. С. 79-81. EDN: KMMTVZ
13. Прикатывающий каток сеялки: Патент RU № 227259 U1, МПК А01В29/02 / В.И. Пляка, С.М. Михайличенко, К.А. Смирнов. № 2024110348, заяв. 16.04.2024; опубл. 12.07.2024. Бюл. № 20. 5 с. EDN: QVDORS

Информация об авторах

Отари Назирович Дидманидзе¹, академик РАН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Тракторы и автомобили»; didmanidze@rgau-msha.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2558-0585>

Валерий Иванович Пляка², доцент кафедры механизации сельского хозяйства, доцент; plyaka@rgau-msha.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9353-177X>

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

Статья поступила в редакцию 01.07.2024; поступила после рецензирования и доработки 06.11.2024; принята к публикации 08.11.2024

References

1. Plyaka V.I., Vinogradov Yu.A. Sower sowing system: IPC A 01 C 7/16, No. 3956012, 1987. (In Russ.)
2. Plyaka V.I., Katkova S.M. Seeding unit. IPC A01C 7/12, Patent RU No. 2021132823, 2022. (In Russ.)
3. Kamgar S., Noei-Khodabadi F., Shafaei S.M. Design, development and field assessment of a controlled seed metering unit to be used in grain drills for direct seeding of wheat. *Information Processing in Agriculture*. 2015;2(3-4):169-76. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.08.001>
4. Lavrukhin P.V. Trends for designing a new generation of seeding machines. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2018;2:33-39. (In Russ.)
5. Zhigailov A.V., Akimenko S.A., Safarov R.R., Shevyrev L. Yu., Ivanov P.A. Analysis of modern methods of sowing grain crops. *Tendentsii Razvitiya Nauki i Obrazovania*. 2020;68-2:144-148. (In Russ.)
6. Zhigailov A.V., Tolstoukhova T.N., Moiseev O.N., Ivanov P.A., Shevyrev L.Yu. Analysis and justification of the parameters of working elements of a grain seeder for subsoil broadcast seeding. *Tendentsii Razvitiya Nauki i Obrazovania*. 2020;64-2:70-74. (In Russ.)
7. Imanov A.N., Galiev A.Zh., Bibolov K.E., Bayanbaeva B.U. Analysis of economic efficiency of a grain seeder equipped with microprocessor management and seeding control. *Aktualnye Nauchnye Issledovaniya v Sovremennom Mire*. 2019;9-1:77-80. (In Russ.)
8. Kazakova A.S., Lavrukhin P.V., Ivanov P.A. Improving sowing operations as a condition for the development of modern crop production technologies. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2015;4:29-34. (In Russ.)
9. Plyaka V.I., Katkova S.M., Sergeeva N.A. Stand-testing of an experimental seed drill for sowing lawn grass. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(5):24-29. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-24-29>
10. Plyaka V.I., Bolshakov A.A., Sergeeva N.A., Smirnov K.A. Evaluating uniformity of seed distribution with an experimental seeder: solid sowing of lawn grasses. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(6):24-30. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-24-30>
11. Gabayev A.H. Seeding uniformity of grain seeders wheel seeders. *Izvestiya Mezhdunarodnoy Akademii Agrarnogo Obrazovaniya*. 2021;56:8-12. (In Russ.)
12. Golubev V.V., Nikiforov M.V., Firsov A.S., Tyurin I.Yu., Levchenko G.V. Modification of the planter for sowing small-seeded crops. *The Agrarian Scientific Journal*. 2019;6:79-81. (In Russ.)
13. Seed-pressing roller of a seeder: patent RU No. 227259 U1, IPC A01B29/02 / V.I. Plyaka, S.M. Mikhailichenko, K.A. Smirnov. No. 2024110348, 2024. (In Russ.)

Author Information

Otari N. Didmanidze¹, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor, Head of the Department of Tractors and Automobiles; didmanidze@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0003-2558-0585>

Valery I. Plyaka², Associate Professor, the Department of Farm Mechanization; Associate Professor plyaka@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-9353-177X>

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

Received 01.07.2024; revised 06.11.2024; accepted 08.11.2024

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.3

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-49-55>**Технический сервис машин и оборудования животноводства:
состояние и перспективы его организации***Е.Л. Чепурина¹, А.В. Чепурин², Д.Л. Кушнарева³*^{1,2,3} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ chepurina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1844-9119>² av.tchepurin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4699-4541>³ d.kushnareva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2653-4938>

Аннотация. Производство высококачественного молока возможно при использовании на животноводческих фермах и комплексах современных технологий и работоспособного оборудования. Выявленный низкий уровень работоспособности машин и оборудования животноводства связан с рядом причин: необеспеченностью инженерно-технической службы (ИТС) необходимой ремонтно-технической базой, основными ремонтно-техническими материалами и запасными частями; отсутствием высококвалифицированного персонала; низким уровнем организации технического сервиса, когда техническое обслуживание и текущий ремонт проводят разные специалисты; отсутствием ответственности и стимулирования персонала ИТС за конечные показатели работы (работоспособность техники, объемы производства продукции, качество продукции и др.). С целью повышения уровня безотказности машин и оборудования молочного животноводства предлагаем совершенствовать организацию технического сервиса машин и оборудования и работу инженерно-технической службы (ИТС) ферм. Для определения вероятности возникновения того или иного отказа на животноводческих фермах предлагается проведение ИТС глубокой технической диагностики с использованием современного оборудования и цифровых технологий и своевременное выполнение плановых технических осмотров и текущего ремонта. Это значительно увеличит срок эксплуатации машин и сократит количество простоев оборудования по причине неисправностей. Для стимулирования работников ИТС предлагается использовать оценочный показатель качества службы – коэффициент технической готовности. Предусмотрено дополнительное стимулирование работников ИТС за обеспечение высокого уровня технической готовности и отсутствие простоев по техническим причинам. Работники ИТС получают премии за увеличение объемов и повышение качества выпускаемой продукции.

Ключевые слова: технический сервис, технический сервис машин и оборудования животноводства, техническое обслуживание, текущий ремонт, эффективность, коэффициент технической готовности, премирование работников

Для цитирования: Чепурина Е.Л., Чепурин А.В., Кушнарева Д.Л. Технический сервис машин и оборудования животноводства: состояние и перспективы его организации // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 6. С. 49-55. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-49-55>

ORIGINAL ARTICLE

**Technical service of livestock machinery and equipment:
current state and prospects of its organization***E.L. Chepurina¹, A.V. Chepurin², D.L. Kushnareva³*^{1,2,3} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ chepurina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1844-9119>² av.tchepurin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4699-4541>³ d.kushnareva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2653-4938>

Abstract. Production of high quality milk is possible when using modern technologies and efficient equipment on livestock farms and facilities. The actual low operability level of livestock farming machinery and equipment is associated with a number of reasons. They include the unavailability of the necessary repair and technical facilities and basic repair and technical materials and spare parts for the engineering and technical service (ETS); lack of highly qualified personnel; low-level organization of technical service (maintenance and routine repairs are carried out by different specialists); lack of responsibility and stimulation system of the ETS personnel for the final

performance indicators (the operability of machinery and equipment). In order to increase the level of failure-free operation of machinery and equipment used in dairy cattle breeding the authors suggest improving the organization of technical service of machinery and equipment and the performance of engineering and technical service (ETS) on farms. In order to determine the probability of a particular failure on livestock farms the ETS could perform deep technical diagnostics with the use of modern equipment and digital technologies and timely perform scheduled technical inspections and routine repairs. This will significantly increase the service life of machines and reduce the number of equipment downtime due to malfunctions. To stimulate the performance of ETS specialists, the authors propose to use an evaluation indicator of service quality – the technical readiness coefficient. ITS employees could also get additional incentives for ensuring a high level of technical readiness and absence of downtime due to technical reasons. To improve the quality of manufactured products, ETS specialists can be offered bonuses for increasing the production volume and improving the quality of products.

Keywords: technical service, technical service of livestock farming machinery and equipment, maintenance, routine repairs, efficiency, technical readiness coefficient, employee bonuses

For citation: Chepurina E.L., Chepurin A.V., Kushnareva D.L. Technical service of livestock machinery and equipment: current state and prospects of its organization. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(6):49-55. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-49-55>

Введение

В молочном животноводстве технологии с беспривязным содержанием коров хорошо себя зарекомендовали. Однако в нашей стране большая часть поголовья коров содержится при привязном способе содержания. Достижение высоких результатов в повышении производительности и снижении расходов на содержание животных при привязном содержании достигается за счет уменьшения энергозатрат, относящихся к производству (особенно в зимний период), а также эксплуатационных расходов, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом машин и оборудования. При грамотной организации технического обслуживания оборудования для молочного животноводства можно повысить его надежность и безотказность [1-3].

На животноводческих фермах особое внимание должно уделяться уровню технического оснащения. Как показывает передовой отечественный и зарубежный опыт, высокая эффективность производства

молока возможна только при использовании на фермах современных и высокоэффективных технологий и технических средств. Основным технологическим оборудованием молочных ферм являются машины и оборудование для содержания коров, кормления, поения, доения, охлаждения и хранения молока, навозоудаления, ухода за животными.

Уровень механизации производственных процессов на фермах и комплексах составляет 70...80%. Примерно 69...77% машин и оборудования эксплуатируются за пределами нормативов по амортизации. Поступление новых современных машин и оборудования животноводства осуществляется незначительными темпами¹ и в общем объеме не превышает 1,5...2,5%. Несмотря на усилия и принимаемые меры, физический и моральный износ эксплуатируемого парка технологических машин и оборудования, а также несвоевременная замена на их высокотехнологичные аналоги приводят к возникновению ресурсных отказов (рис. 1) [4].

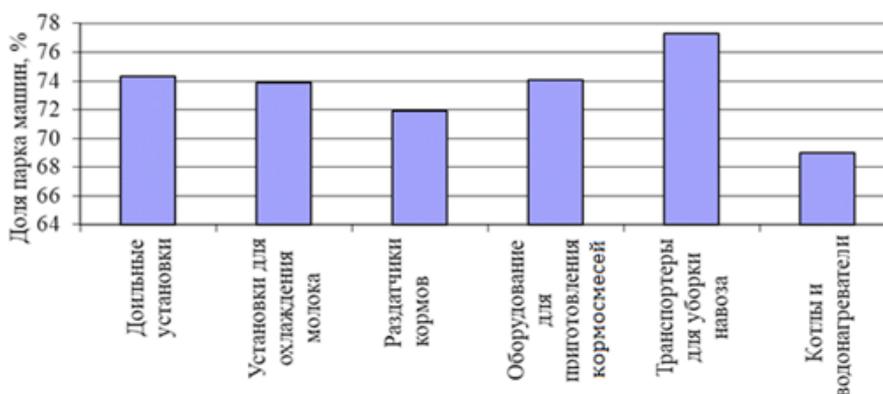


Рис. 1. Доля парка машин и оборудования для животноводческих ферм, эксплуатируемых за пределами срока службы

Fig. 1. Share of livestock machinery and equipment fleet operated beyond their service life

¹ Кушнарева Д.Л. Повышение эффективности работы инженерно-технической службы молочного хозяйства: Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2023. 179 с. EDN: HBDLRG.

Основная часть ферм с привязным содержанием скота в нашей стране оснащена отечественным оборудованием фирм-производителей: АГРОТРЕСТ, Ижагромаш, ООО «Агроферма», РУСАГРОТЕХНОЛОГИИ, ООО «Кургансельмаш» и др. Фермы и комплексы с беспривязным содержанием КРС в основном используют машины и оборудование зарубежных фирм DeLaval (Швеция), GEA Farm Technologies (Германия) и др. [5, 6]. Применяемые в технологическом процессе машины и оборудование импортного производства предполагают «строгое соблюдение установленных фирмой-изготовителем требований по эксплуатации и качественное техническое обслуживание, которое должно проводиться специализированным персоналом»². С введением санкций большая часть зарубежных фирм-производителей оборудования для молочного животноводства ушла с российского рынка, и обслуживать технику приходится своими силами.

Для повышения уровня безотказности и работоспособности машин и оборудования для молочного животноводства (как отечественных, так и зарубежных) на фермах применяют металлообрабатывающее, сварочное, наплавочное и другое ремонтно-технологическое оборудование, в связи с чем повышаются затраты труда и увеличивается численность квалифицированного состава исполнителей работ.

Цель исследований: повышение уровня безотказности машин и оборудования молочного животноводства на основе совершенствования организации технического сервиса и работы инженерно-технической службы.

Материалы и методы

При проведении исследований применяли методы анализа и сравнительных оценок надежности и эффективности машин и оборудования, эксплуатируемых в молочном животноводстве.

Результаты и их обсуждение

Высокий уровень работоспособности машин и оборудования для молочных ферм в значительной мере зависит от интенсивности и продолжительности их использования и условий эксплуатации (температуры, относительной влажности, содержания аммиака, углекислоты и др.). Поэтому очень важно своевременно и качественно проводить техническое обслуживание (ТО) и ремонт машин и оборудования [7].

² Кушнарева Д.Л. Повышение эффективности работы инженерно-технической службы молочного хозяйства: дисс. ... канд. техн. наук. Москва, 2023. 179 с. EDN: HBDLRG.

Отличительной особенностью работы оборудования на фермах и комплексах являются специфические условия его эксплуатации. Весь процесс проведения работ по техническому обслуживанию или ремонту должен осуществляться во время технологических перерывов (в течение 3-5 ч), чтобы не оказывать влияние на технологический процесс производства молока.

Эффективное производство молока обеспечивается только исправными технологическими машинами и оборудованием. Основным руководящим документом эксплуатации машин и оборудования молочного животноводства является «Планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта машин и оборудования в животноводстве» (ППСТОРЖ)³. Требования системы, регламентирующие плановые мероприятия, учитываются заводами-изготовителями машин и оборудования и отражаются в инструкциях по их эксплуатации.

Действующие руководство и правила по эксплуатации содержат только плановые мероприятия по обслуживанию, а в реальных условиях эксплуатации все проводимые работы по устранению отказов носят вероятностный характер. Организацию и проведение работ при реальной эксплуатации животноводческих машин и оборудования отражает схема, приведенная на рисунке 2 [8, 9].

Плановое периодическое техническое обслуживание (ЕТО, ТО-1, ТО-2) регламентировано по времени, его проведение может смещаться в пределах $\pm 10\%$ или совмещаться с проведением текущих ремонтно-обслуживающих воздействий (ТРп)⁴. Однако совмещение внеплановых операций по устранению внезапных отказов (текущего ремонта ТРп1 и ТРп2) с операциями ТО приводит к снижению качества выполняемых работ.

С целью повышения уровня безотказности машин и оборудования для молочного животноводства нами разработана схема организации технического сервиса (рис. 3).

Достижение высоких результатов эффективно-го использования машин и оборудования возможно за счет своевременного и качественного контроля технического состояния и проведения ИТС планового технического обслуживания (ЕТО, ТО-1 и ТО-2) и текущего ремонта.

³ ГОСТ 24466-80. Система технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для животноводства и кормопроизводства. Правила технического обслуживания. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1981.

⁴ Кушнарева Д.Л. Повышение эффективности работы инженерно-технической службы молочного хозяйства: Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2023. 179 с. EDN: HBDLRG.

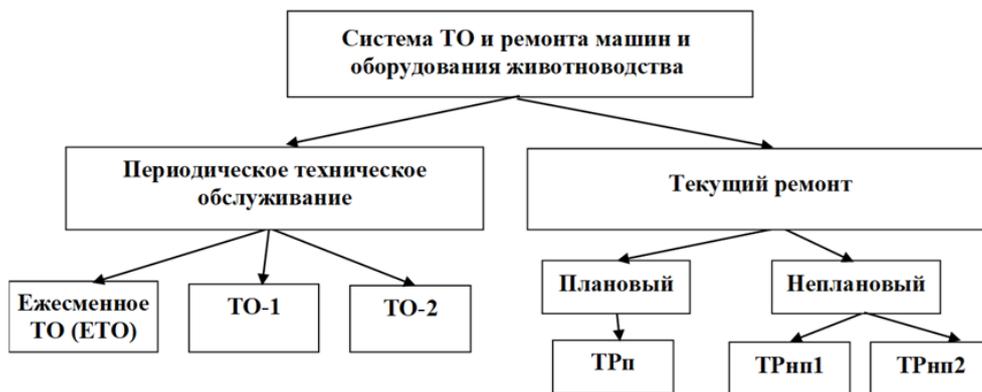


Рис. 2. Мероприятия по поддержанию и обеспечению работоспособности машин и оборудования животноводства
 Fig. 2. Measures to maintain and ensure the operability of livestock machinery and equipment

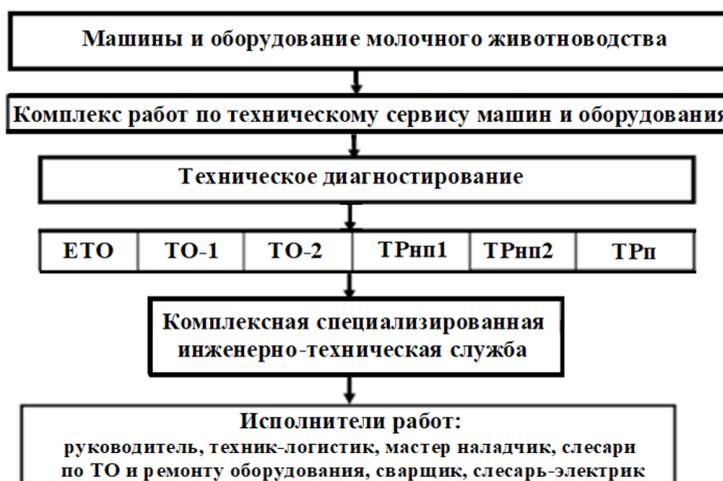


Рис. 3. Предлагаемая схема организации технического сервиса машин и оборудования животноводства
 Fig. 3. Proposed model for organizing technical service of livestock farming machinery and equipment

Использование методов и средств технического диагностирования машин и оборудования позволяет выявить на ранней стадии возможные неисправности в ближайшем периоде эксплуатации до наступления серьезного дефекта и тем самым не допустить возникновения внезапного отказа, предотвратить остановку и простои по техническим причинам, а также уменьшить затраты на ремонт. Поэтому ИТС на животноводческих фермах должна проводить глубокую техническую диагностику с использованием современного оборудования и цифровых технологий для определения вероятности возникновения того или иного отказа.

В предлагаемой нами организационной структуре деятельность ИТС хозяйства зависит от объема и характера ремонтно-обслуживающих работ, необходимого штатного состава ИТС, уровня их квалификации, обеспеченности запасными частями, материально-техническими ресурсами и возможности использования ремонтного оборудования хозяйства для выполнения всех операций технического сервиса в случае невозможности ремонта на местах [8].

Для стимулирования труда работников ИТС нами предлагается учитывать оценочные показатели эффективности службы. В настоящее время персонал ИТС получает сдельную или повременную заработную плату, которая не стимулирует персонал в повышении качества выполняемых работ и профилактических мероприятий по техническому сервису. В качестве основного оценочного критерия деятельности ИТС целесообразно применить коэффициент технической готовности, который согласно ГОСТ Р 53480-2009 определяется по формуле [9, 10]:

$$K_{ТГ} = \frac{t_{сум}}{t_{сум} + t_p + t_{ТО}}$$

где $t_{сум}$ – наработка машин и оборудования за определенный период, ч; $t_{ТО}$ и t_p – продолжительность технического обслуживания и устранения последствий отказов соответственно, ч⁵.

⁵ Кушнарера Д.Л. Повышение эффективности работы инженерно-технической службы молочного хозяйства: Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2023. 179 с. EDN: HBDLRG.

Для повышения показателей надежности необходимо увеличить суммарную продолжительность работы машины и уменьшить время простоя машин и оборудования при выполнении работ по техническому диагностированию, ТО и текущему ремонту. Повышение периодичности и качества выполнения операций по диагностике машин увеличивает наработку на отказ и уменьшает количество эксплуатационных внеплановых отказов машин и, соответственно, трудоемкость устранения их последствий⁶ [11, 12].

Особенностью предлагаемых мероприятий является организация выполнения плановых работ периодических технических обслуживаний, и в первую очередь – ежесменного ТО и ТО-1, силами и средствами инженерно-технической службы молочного хозяйства. В отличие от существующей организации технического сервиса, при которой работы выполняются эксплуатирующим персоналом ферм, квалифицированный персонал ИТС будет проводить постоянный визуальный контроль технического состояния узлов и агрегатов машин и оборудования, что позволит своевременно реагировать и предупреждать аварийные поломки и отказы.

При снижении простоя оборудования и получения дополнительного дохода от повышения сортности молока персонал ИТС может рассчитывать на стимулирующие выплаты из установленного объема выделенных средств на обеспечение безостановочного функционирования технологического процесса производства молока. Объем выделенных средств определяется согласно статистическим данным за последние несколько лет и может ежегодно корректироваться с учетом программы производства и инфляции.

После определения суммарного объема выделенных средств на машины и оборудование животноводства и видов работ по техническому сервису формируется годовой фонд оплаты труда ИТС, включающий в себя оплату труда основного персонала ИТС, дополнительные выплаты и премии за качественно выполненные работы по техническому сервису.

Для определения месячного фонда заработной платы работников ИТС воспользуемся методикой расчета на основании изменения коэффициента технической готовности в результате новой организации процесса обслуживания машин и оборудования. Методика расчета подтверждена актом внедрения в результате производственной проверки предложенных рекомендаций по повышению деятельности

ИТС на молочной ферме в ЗАО «СКВО» Ростовской области с привязным содержанием крупного рогатого скота.

На основании годового фонда премирования коллектива ИТС, который составляет до 40% от общего фонда оплаты труда, определяется действительный коэффициент готовности $K_{ТГ}$. При этом устанавливается базовое $K_{ТГ}^Б$ и планируемое $K_{ТГ}^П$ значение оценки эффективности деятельности ИТС.

Месячная расценка дополнительной заработной платы (премии) за 1% значения $K_{ТГ}$ до базового уровня определяется по формуле:

$$z_{доп}^Б = \frac{\Phi_{зп}}{12 \cdot K_{ТГ}}$$

Если эффективность выполненных работ ИТС обеспечивает коэффициент готовности, превышающий базовый уровень, то сотрудникам службы начисляется премия за долю увеличения базового уровня $K_{ТГ}$ по формуле:

$$z_{доп}^П = \frac{\Phi_{зп}}{12 \cdot (K_{ТГ}^П - K_{ТГ}^Б)}$$

Ежемесячно в фонд заработной платы будут вноситься корректировки в зависимости от значения действительного коэффициента технической готовности, полученного от внедрения новой организации процесса обслуживания техники и оборудования.

Основной фонд средств, приходящихся на заработную плату и премии кадровому составу по обслуживанию техники, будет формироваться с учетом личного вклада каждого специалиста, проведенных операций по обслуживанию техники, оборудования для животноводства и его простоев. Фонды оплаты и стимулирования труда распределяются между членами трудового коллектива ИТС в соответствии с коэффициентом трудового участия каждого работника. Предусматривается премирование сотрудников ИТС за снижение или отсутствие отказов оборудования, повышение производительности труда и качество выполняемых операций по обслуживанию всего технологического процесса.

Внедрение новой организации технического сервиса позволяет снизить объем ремонтных работ по животноводческому оборудованию до 2,0...2,5 раза [6, 7], что позволит повысить коэффициент технической готовности до 90...95% при снижении основных затрат на обслуживание оборудования в 1,5...2,0 раза [11, 13, 14]. Получение дополнительного дохода от производства высококачественного молока, от снижения простоев животноводческого оборудования по причинам отказов составит около 1,9 млн руб. [6, 7].

⁶ Чепурина Е.Л. Совершенствование системы технического сервиса машин и оборудования в молочном животноводстве: Дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2021, 236 с. EDN: BQIUCB.

Выводы

1. Оснащенность технологических процессов животноводческого производства находится на уровне 75%. Основной парк машин, задействованных в технологическом процессе производства молока, эксплуатируется более 8 лет, а коэффициент обновления оборудования составляет лишь 1,5...2,5%.

2. Уровень надежности животноводческого оборудования зависит от величины коэффициента готовности техники, а его повышение обусловлено

своевременным выполнением операций технического сервиса с рациональным планированием и распределением работ ИТС.

3. Своевременное и качественное проведение силами инженерно-технической службы операций по диагностированию, планового технического обслуживания (ЕТО, ТО-1 и ТО-2) и текущего ремонта (ТРп, ТРп1 и ТРп2) машин и оборудования животноводства уменьшает количество времени простоев машин и оборудования по техническим причинам.

Список источников

1. Чепурин А.В., Чепурина Е.Л., Кушнарева Д.Л. Организация фирменного сервиса отечественной сельскохозяйственной техники // *Сельский механизатор*. 2023. № 4. С. 40-43. EDN: MOKTDB
2. Парлюк Е.П., Кушнарева Д.Л. Совершенствование организации технического сервиса машин и оборудования // *Сельский механизатор*. 2023. № 3. С. 38-40. EDN: HNSWGG
3. Chepurin A., Chepurina E., Kushnareva D., Tamasova G., Cherkasova E. To the organization of branded technical service of agricultural equipment. *IX International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-IX 2023)*: E3S Web of Conferences. 2024;486:03009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448603009>
4. Морозов Н.М., Хусаинов И.И. Экономическая оценка современного уровня технического оснащения животноводства // *Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии*. 2011. Т. 22, № 1 (1). С. 164-179. EDN: MXCVLN
5. Чепурина Е.Л., Чепурин А.В., Кушнарева Д.Л. Оценка технического сервиса машин и оборудования животноводства с участием фирм-производителей // *Сельский механизатор*. 2023. № 12. С. 33-35. EDN: LGUDHO
6. Chepurin A., Chepurina E., Kushnareva D., Rybakin D., Pupkova D. Efficiency of technical service of machinery and equipment of livestock production with the participation of manufacturing companies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023;1231(1):012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1231/1/012019>
7. Чепурина Е.Л. Методические основы организации инженерно-технической службы молочного животноводства // *Доклады ТСХА*. 2020. Т. 292. Ч. I. С. 502-506. EDN: UCYGDN
8. Kovalev L.I., Kovalev I.L. Analysis of maintenance and repair systems in livestock production. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. 2015;4:29-37. EDN: UMLEQL
9. Кушнарева Д.Л., Чепурина Е.Л. Повышение эффективности работы инженерно-технической службы агропредприятий // *Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Материалы XIV Международной научно-практической интернет-конференции Информагро-2022, 7-9 июня 2022 г. М.: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса*, 2022. С. 289-300. EDN: WCBOLY
10. Чепурина Е.Л., Севостьянова Д.Л. К обеспечению безотказности технологического оборудования животноводческих ферм и комплексов // *Инновационные технологии реновации в машиностроении: Сборник трудов Международной научно-технической конференции, посвященной 150-летию факультета «Машиностроительные технологии» и кафедры «Технологии обработки материалов» МГТУ им. Н.Э. Баумана*,

References

1. Chepurin A.V., Chepurina E.L., Kushnareva D.L. Organization of branded service for domestic agricultural machinery. *Selskiy Mekhanizator*. 2023;4:40-43. (In Russ.)
2. Parlyuk E.P., Kushnareva D.L. Improving the organization of technical service of machinery and equipment. *Selskiy Mekhanizator*. 2023;3:38-40. (In Russ.)
3. Chepurin A., Chepurina E., Kushnareva D., Tamasova G., Cherkasova E. To the organization of branded technical service of agricultural equipment. *IX International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-IX 2023)*: E3S Web of Conferences. 2024;486:03009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448603009>
4. Morozov N.M., Khusainov I.I. Economic assessment of the current level of technical equipment used in livestock farming. *Scientific works of the State Scientific Institution All-Russian Research Institute of Animal Husbandry of the Russian Agricultural Academy*. 2011;22(1):164-179. (In Russ.)
5. Chepurina E.L., Chepurin A.V., Kushnareva D.L. Assessment of the technical service of livestock machinery and equipment with the participation of manufacturing companies. *Selskiy Mekhanizator*. 2023;12:33-35. (In Russ.)
6. Chepurin A., Chepurina E., Kushnareva D., Rybakin D., Pupkova D. Efficiency of technical service of machinery and equipment of livestock production with the participation of manufacturing companies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023;1231(1):012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1231/1/012019>
7. Chepurina E.L. Methodological foundations for organizing the engineering and technical service of dairy farming. *Doklady TSKhA*. 2020;292(1):502-506. (In Russ.)
8. Kovalev L.I., Kovalev I.L. Analysis of maintenance and repair systems in livestock production. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. 2015;4:29-37. (In Russ.)
9. Kushnareva D.L., Chepurina E.L. Improving work efficiency engineering and technical services of agricultural enterprises. *Scientific and Information Support for Innovative Development of the Agro-Industrial Sector: Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Internet Conference Informagro-2022, June 7-9, 2022. Moscow: Rosinformagrotekh, 2022. Pp. 289-300. (In Russ.)*
10. Chepurina E.L., Sevostyanova D.L. To ensure the reliability of technological equipment of livestock farms and complexes. *Innovative Renovation Technologies in Mechanical Engineering: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference Dedicated to the 150th Anniversary of the Faculty of Mechanical Engineering Technologies and the Department of Materials Processing Technologies of Bauman Moscow State Technical University, February 4-5, 2019. Moscow: Moscow State Regional University, 2019. Pp. 437-441. (In Russ.)*

4-5 февраля 2019 г. М.: Московский государственный областной университет, 2019. С. 437-441. EDN: ZBJVCP

11. Чепурина Е.Л., Севостьянова Д.Л. Повышение безотказности машин и оборудования в животноводстве // Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: новые источники роста: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, 18 апреля 2018 г. М.: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2018. С. 162-167. EDN: XUJHZZ

12. Кушнарев Л.И. Методика обоснования параметров модернизации ремонтно-технической базы предприятий, эксплуатирующих сельхозтехнику // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 7. С. 49-51. EDN: UCNHNP

Информация об авторах

Екатерина Леонидовна Чепурина¹, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной и компьютерной графики; chepurina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1844-9119>, AuthorID: 471759

Александр Васильевич Чепурин², канд. техн. наук, доцент кафедры метрологии, стандартизации и управления качеством; av.tchepurin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4699-4541>, AuthorID: 471752

Дарья Леонидовна Кушнарева³, канд. техн. наук, доцент кафедры инженерной и компьютерной графики; d.kushnareva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2653-4938>, AuthorID: 1123447

^{1,2,3} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

Вклад авторов

Е.Л. Чепурина – руководство экспериментальным исследованием, проведение исследования, концептуализация, методология, программное обеспечение, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;

А.В. Чепурин – проведение экспериментальных исследований, обработка полученных результатов, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;

Д.Л. Кушнарева – проведение экспериментальных исследований, подготовка графических материалов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила в редакцию 28.04.2024; поступила после рецензирования и доработки 29.10.2024; принята к публикации 30.10.2024

11. Chepurina E.L., Sevostyanova D.L. Improving the reliability of machinery and equipment in animal husbandry. *Systems for managing the full life cycle of high-tech products in mechanical engineering: new sources of growth: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference*, April 18, 2018. Moscow: Bauman Moscow State Technical University (National Research University), 2018. Pp. 162-167. (In Russ.)

12. Kushnarev L.I. Method for substantiation of modernization parameters of maintenance and repair base of enterprises using agricultural machinery. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2015;7:49-51. (In Russ.)

Author Information

Ekaterina L. Chepurina¹, DSc (Eng), Associate Professor, of the Department of Engineering and Computer Graphics; chepurina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1844-9119>, AuthorID: 471759

Aleksandr V. Chepurin², CSc (Eng), Associate Professor, the Department of Metrology, Standardization and Quality Management; av.tchepurin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4699-4541>, AuthorID: 471752

Darya L. Kushnareva³, CSc (Eng), Associate Professor of the Department of Engineering and Computer Graphics; d.kushnareva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2653-4938>, AuthorID: 1123447

^{1,2,3} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; the Institute of Mechanical and Power Engineering named after V.P. Goryachkin; 127434, Moscow, 49, Timiryazevskaya Str.

Authors Contributions

E.L. Chepurina – research supervision, investigation, conceptualization, methodology, software, writing – finalizing (revising and editing) of the manuscript;

A.V. Chepurin – investigation, processing the obtained results, writing – finalizing (revising and editing) of the manuscript;

D.L. Kushnareva – investigation, visualization.

Conflict of interests

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

Received 28.04.2024; Revised 29.10.2024; Accepted 30.10.2024.

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-56-62>



Критическая толщина упрочняющего покрытия на рабочих поверхностях деталей распылителя форсунки

М.Н. Ерохин¹, С.П. Казанцев², И.Ю. Игнаткин³, К.М. Логачев⁴, Д.М. Скороходов⁵

^{1,2,3,4,5} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

¹ er.mihn@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

² kazansev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709>

³ ignatkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>

⁴ klogachyov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-3474-7591>

⁵ d.skorokhodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6315-4184>

Аннотация. Эксплуатация автотракторной техники производится в условиях высокой запыленности. Основной причиной низкого ресурса прецизионных деталей топливной аппаратуры является абразивное изнашивание рабочих поверхностей. Инновационный CVD-метод получения покрытий путем термического разложения гексакарбонила хрома с последующим осаждением карбидов хрома позволяет значительно повысить износо- и коррозионную стойкость деталей распылителя форсунки дизельных двигателей. Для повышения ресурса распылителя предлагается нанесение упрочняющего покрытия на обе рабочие поверхности деталей: иглу (сталь Р6М5) и внутреннюю поверхность корпуса (сталь 12Х2Н4А). С целью минимизации затрат при изготовлении новых прецизионных деталей определялась критическая (минимальная) толщина покрытия, обеспечивающая его несущую способность. Получены аналитические зависимости минимально необходимой толщины покрытия в зависимости от его микротвердости и размера частиц кварца и корунда, а также уравнения регрессии и графики функции отклика. Установлено, что для обеспечения несущей способности упрочняющего покрытия на деталях распылителя форсунки дизельного двигателя его критическая толщина при микротвердости 18,9 ГПа должна составлять не менее 3 мкм.

Ключевые слова: форсунки дизельных двигателей, поверхность, карбидохромовое покрытие, микротвердость, абразив, разрушение, критическая толщина упрочняющего покрытия, несущая способность, износостойкость

Для цитирования: Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Игнаткин И.Ю., Логачёв К.М., Скороходов Д.М. Критическая толщина упрочняющего покрытия на рабочих поверхностях деталей распылителя форсунки // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 56-62. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-56-62>

ORIGINAL PAPER

Critical thickness of the hardening coating layer on the working surfaces of injector nozzle parts

M.N. Erokhin¹, S.P. Kazantsev², I.Yu. Ignatkin³, K.M. Logachev⁴, D.M. Skorokhodov⁵

^{1,2,3,4,5} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

¹ er.mihn@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

² kazansev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709>

³ ignatkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>

⁴ klogachyov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-3474-7591>

⁵ d.skorokhodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6315-4184>

Abstract. Motor vehicles and tractors operate in conditions of high dustiness. The main reason for the short service life of precision parts of fuel equipment (FI) is the abrasive wear of working surfaces. The innovative CVD method of obtaining coatings by thermal decomposition of chromium hexacarbonyl with subsequent deposition of chromium carbides significantly increases the wear and corrosion resistance of the injector nozzle parts of diesel engines. To increase the service life of the sprayer, the authors propose to apply a hardening coating to both working surfaces of the parts – the needle (steel R6M5) and the inner surface of the housing (steel 12KH2N4A).

In order to minimize costs in the manufacture of new precision parts, the authors determined the critical (minimum) coating thickness, ensuring its load-bearing capacity. They also obtained analytical relationships between the minimum required coating thickness depending on its microhardness and the size of quartz and corundum particles, as well as regression equations and response function graphs. It has been established that in order to ensure the bearing capacity of the hardening coating on the fuel injector nozzle parts of the diesel engine, its critical thickness should be not less than 3 microns at a microhardness of 18.9 GP.

Keywords: diesel engine injectors, surface, chromium carbide coating, microhardness, abrasive material, destruction, critical thickness of hardening coating, load-bearing capacity, wear resistance

For citation: Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Ignatkin I.Yu., Logachev K.M., Skorokhodov D.M. Critical thickness of the hardening coating layer on the working surfaces of injector nozzle parts. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(6):56-62. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-56-62>

Введение

Основной причиной изнашивания прецизионных деталей топливной аппаратуры (ТА) является наличие в дизельном топливе абразива и коррозионных веществ. Применение существующих систем фильтрации не позволяет полностью очистить топливо¹. Абразивное изнашивание стальных деталей происходит по причине микрорезания и царапания поверхностей свободными или защемленными абразивными частицами. Несмотря на значительное число научных исследований, посвященных проблеме повышения долговечности прецизионных деталей ТА дизелей, остаются вопросы, которые до настоящего времени решены неполностью.

Для повышения износостойкости деталей распылителя форсунки определяющее значение имеет микротвердость рабочих поверхностей². CVD – метод получения износо- и коррозионностойких покрытий на основе карбидов хрома – является перспективным при разработке технологии упрочнения распылителей форсунок³. В условиях вакуума равномерное нанесение покрытия на рабочие поверхности иглы обеспечивается их установкой на вращательном столе. Внутренние поверхности корпуса предлагается упрочнять направленным потоком реакционной среды [1].

Указанный метод позволяет получить карбидохромовое покрытие с микротвердостью 18,9 ГПа при температуре нагрева деталей в рабочей камере 161°C, что исключает их деформацию (коробление) [2].

При упрочнении деталей распылителя, когда отсутствует необходимость нанесения значительной

толщины покрытия, в технологии необходимо установить ее минимальную (критическую) величину.

Цель исследований: определение критической толщины упрочняющего покрытия на основе карбидов хрома, обеспечивающего несущую способность и износостойкость в условиях абразивного изнашивания.

Материалы и методы

Использовали образцы-свидетели из стали 12X2H4A ГОСТ 4543-71, из которой изготавливают корпус распылителя форсунки. Измерение толщины и микротвердости карбидохромового покрытия производили на металлографическом микроскопе GX53 и твердомере DuraScan 20 G5⁴.

Результаты и их обсуждение

Процесс контактно-абразивного изнашивания при прямом разрушении абразива в условиях его защемления между прецизионными деталями представлен на рисунке 1. Вариант (а) предусматривает использование прецизионной пары без упрочнения деталей. Корпус и игла распылителя имеют одинаковую микротвердость рабочих поверхностей: $H_1 \approx H_2 \approx 7500$ МПа. По варианту (б) на схеме показано упрочнение одной из деталей, при котором $H_3 > H_2$. В третьем случае (с) показана схема с упрочнением двух деталей.

Вариант (а) ввиду интенсивного изнашивания прецизионных деталей не обеспечивает необходимый ресурс распылителей форсунок. При возвратно-поступательном движении иглы относительно корпуса распылителя частицы абразива вызывают деформацию и микрорезание направляющих поверхностей.

Вариант (б) снижает удельную нагрузку на рабочие поверхности прецизионной пары и приводит к разрушению абразива, что способствует увеличению износостойкости.

⁴Быков Ю.А. и др. Определение твердости нанопокровтий: Учебное пособие по курсу «Современные методы исследования структуры материалов» / Ю.А. Быков, С.Д. Карпухин, В.М. Полянский; Под ред. Ю.А. Быкова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 31 с.

¹Готовцева Т.А. Комбинированная очистка топлива в топливных системах машин, эксплуатируемых в сельском хозяйстве: Дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2013. 161 с.

²Ерохин М.Н. и др. Способы модифицирования поверхностей трения деталей машин: Монография / М.Н. Ерохин, С.П. Казанцев, Н.Н. Чулятов. М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2014. 140 с.

³Устройство для формирования износостойкого покрытия из карбида хрома на восстанавливаемой внутренней поверхности корпуса распылителя форсунки: Патент RU216021 U1: МПК С23С16/32, С23С16/54 / М.Н. Ерохин, С.П. Казанцев, Н.Н. Чулятов [и др.]. № 2022120149: заявл. 22.07.2022; опубл. 13.01.2023, Бюл. № 2.

Согласно данным, приведенным в работе⁵, при упрочнении одной из деталей соединения ресурс в целом увеличивается в 1,7 раза. Упрочнение обеих поверхностей (вариант *с*) позволяет увеличить ресурс в 4,1 раза.

Рассмотрим несущую способность упрочняющего покрытия в системе «Деталь-покрытие-абразив» в условиях статики при нормально приложенной силе со стороны частицы абразива к упрочненной поверхности.

Критерий K_T оценки разрушения поверхности показывает способность абразивных частиц продавливать поверхность с последующим многоцикловым изнашиванием^{5,6}:

$$K_T = \frac{H_M}{H_a}, \tag{1}$$

где H_M и H_a – микротвердость поверхностей детали и абразивной частицы, МПа.

При $K_T < 0,5$ происходит продавливание (разрушение) поверхности.

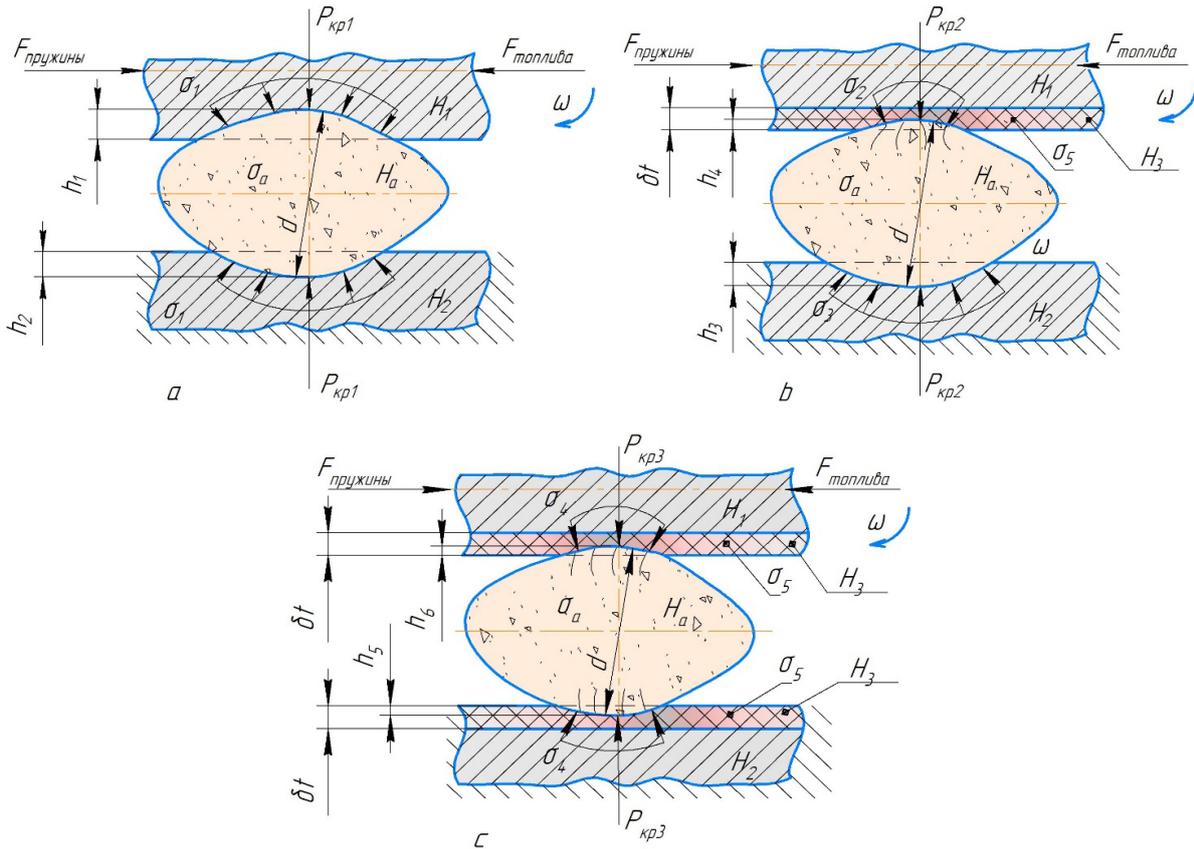


Рис. 1. Схемы контактно-абразивного изнашивания деталей:

a – взаимодействие абразива между неупрочненными поверхностями деталей;

b – взаимодействие абразива с рабочими поверхностями при упрочнении одной детали;

c – взаимодействие абразива с рабочими поверхностями при упрочнении двух деталей;

$F_{пружины}, F_{топлива}$ – сила, приводящая в движение иглу распылителя, Н; ω – угловая скорость, s^{-1} ;
 $P_{кр1,2,3}$ – нагрузка на абразив, Н; $H_{1,2}$ – микротвердость деталей, МПа; H_3 – микротвердость покрытия, МПа;
 H_a – микротвердость абразива, МПа; d – диаметр абразива, мкм; σ_{1-4} – напряжение в деталях, МПа;
 σ_5 – напряжение в покрытии, МПа; σ_a – напряжение в абразиве, МПа; δf – толщина покрытия, мкм;
 h_{1-6} – глубина отпечатка после разрушения абразива, мкм

Fig. 1. Diagrams of contact-abrasive wear of parts:

a – interaction of the abrasive material between non-reinforced surfaces of parts;

b – interaction of the abrasive material with working surfaces during hardening of one part;

c – interaction of the abrasive material with working surfaces during hardening of two parts;

$F_{пружины}, F_{топлива}$ – force driving the nozzle needle, N; ω – angular velocity, s^{-1} ; $P_{кр1,2,3}$ – load on the abrasive material, N;
 $H_{1,2}$ – microhardness of parts, MPa; H_3 – coating microhardness, MPa; H_a – microhardness of the abrasive material, MPa;
 d – diameter of the abrasive material, microns; σ_{1-4} – stress in parts, MPa; σ_5 – stress in the coating, MPa;
 σ_a – stress in the abrasive material, MPa; δf – coating thickness, microns;
 h_{1-6} – depth of imprint after the destruction of the abrasive material, microns

⁵ Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: «Машиностроение», 1977. 526 с.

⁶ Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. М.: Машиностроение, 1978. 271 с.

Границы перехода находятся в пределах $K_T = 0,5 \dots 0,7$. При $K_T > 0,7$ происходит многоцикловое изнашивание.

Нижний предел микротвердости стальной поверхности в условиях абразивного изнашивания должен отвечать условию:

$$H_m \geq 0,7H_a. \quad (2)$$

Условие разрушения абразивной частицы и поверхности⁷ –

$$\frac{H_m}{H_a} = \frac{P_m}{P_a}, \quad (3)$$

где P_m и P_a – критические нагрузки для разрушения детали и абразива, Н.

Максимальное напряжение σ_{max} , при котором происходит разрушение абразива [3], –

$$\sigma_{max} = \frac{P_a}{S} = \frac{3P_a}{2\pi d^2} \geq [\sigma_a], \quad (4)$$

где S – площадь контакта абразива с продавливаемой поверхностью, мм²; d – диаметр абразива, мм; $[\sigma_a]$ – предел прочности абразива, МПа.

Критическую силу разрушения абразива в работе предложено определять из уравнения 4, как

$$P_a = \pi \cdot R^2 \cdot [\sigma_a]. \quad (5)$$

Для определения критической силы разрушения поверхности предложено выражение⁸:

$$P_m = \frac{8 \cdot G \cdot a^3}{3 \cdot R}, \quad (6)$$

где G – модуль сдвига, МПа; a – радиус контакта абразива с продавливаемой поверхностью, мм; R – радиус абразива, мм.

Модуль сдвига в общем случае определяется как⁸

$$G = \frac{E_c}{2 \cdot (1 + \mu_2)}; \quad (7)$$

для упрочненных деталей –

$$G = \frac{E_{np}}{2 \cdot (1 + \mu_2)}; \quad (8)$$

$$E_{np} = \frac{E_n \cdot (1 - \mu_3)}{(1 - 2\mu_2) \cdot (1 + \mu_1)}, \quad (9)$$

где E_c , E_{np} и E_n – модули упругости стали, приведенный для стали и покрытия, только для покрытия, МПа; μ_1 , μ_2 , μ_3 – коэффициенты Пуассона для абразива, покрытия и стали.

⁷ Казанцев С.П. Разработка комбинированной технологии получения железоборидных покрытий при восстановлении и упрочнении деталей сельскохозяйственной техники: Дис. ... д-ра техн. наук / Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. Москва, 2006.

⁸ Сергеев В.З. Восстановление плунжерных пар топливных насосов распределительного типа диффузионным хромититированием: Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1985. 220 с.

Согласно задаче Герца при вдавливании сферического индентора в упругое тело глубина отпечатка абразива после его разрушения составит⁹:

$$a = \sqrt[3]{\frac{3P_a(1 - \mu_2^2)R}{4E_{np}}}. \quad (10)$$

В случае упрочнения обеих деталей соединения отношение глубины вдавливания абразива в поверхности примет вид:

$$\frac{h}{R} = \frac{[\sigma_a]}{2H_m}. \quad (11)$$

Окончательно глубина вдавливания абразивной частицы в обе поверхности может определена по формуле:

$$h = \frac{R[\sigma_a]}{H_m}. \quad (12)$$

Таким образом, многоцикловое изнашивание происходит при высоком уровне твердости поверхностей деталей, при котором глубина внедрения абразивной частицы будет стремиться к минимуму $h \rightarrow 0$.

$$h = \frac{R[\sigma_a]}{0,7H_a}. \quad (13)$$

Из уравнения 6 следует, критическая (минимальная) толщина, обеспечивающая несущую способность упрочняющего покрытия:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot R \cdot P_a \cdot \gamma^3 \cdot (1 - \mu_2)}{4 \cdot E_{np}}}, \quad (14)$$

где γ – отношение глубины внедрения абразива к радиусу отпечатка $\gamma = h/a$. Из формулы 14 следует, что критическая толщина упрочняющего покрытия прямо пропорциональна размеру абразива. Чем меньше твердость покрытия, тем больше должна быть его толщина для сохранения несущей способности.

Таким образом, в данной работе на основании формул 5, 9, 10, 12, 13 и 14 получена новая зависимость для расчета критической толщины покрытия:

$$h_{кр} = f(H_m, R) = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot R \cdot P_a \cdot \left(\frac{R[\sigma_a]}{H_m} \right)^3 \cdot (1 - \mu_2)}{4 \cdot E_{np}}}. \quad (15)$$

Далее путем преобразования из выражения 15 получено:

$$h_{кр} = f(H_m, R) = R[\sigma_a] \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{H_m^3 \cdot (1 + \mu_2)}} = \frac{R[\sigma_a]}{H_m \cdot \sqrt[3]{(1 + \mu_2)}}. \quad (16)$$

⁹ Морозов Е.М., Зернин М.В. Контактные задачи механики разрушения. М.: Машиностроение, 1999. 544 с.

Чистота поверхности упрочняемой детали зависит от толщины покрытия [4]. Для обеспечения адгезии перед осаждением покрытия необходимо обеспечить чистоту поверхности детали не менее $Ra = 0,32$ и $Rz = 2,6$ мкм. В начале осаждения карбидов хрома наблюдается эффект залечивания (заполнения) микронеровностей на поверхности детали. Поэтому шероховатость поверхности уменьшается до $Ra = 0,04$, $Rz = 0,2$ мкм.

Окончательно выражение для расчета критической толщины покрытия примет вид:

$$h_{кр} = f(H_m, R) = \frac{R[\sigma_a]}{H_m \cdot \sqrt[3]{(1+\mu_2)}} + Rz_{детали} + Rz_{покрытия} \cdot (17)$$

Поверхности деталей без покрытия разрушаются при меньших контактных напряжениях, чем упрочненные ($\sigma_4 \gg \sigma_1$). Глубина вдавливания абразива соотносится как $h_3 > h_1 \approx h_2 > h_4 \geq h_5 \approx h_6$ и пропорциональна площади контакта $S_3 > S_1 \approx S_2 > S_4 \geq S_5 \approx S_6$.

Нанесение карбидохромового покрытия на рабочие поверхности деталей распылителя ($P_{м1} > P_{м2} > P_{м3}$)

приводит к уменьшению удельных нагрузок и способствует разрушению абразива между ними, и в итоге – к повышению износостойкости прецизионной пары.

Выполнены расчеты по абразивному изнашиванию деталей распылителя форсунки на компонентах пыли, средняя концентрация которых в пылевом облаке Московской области составляет 78% для кварца и 10% для корунда. В таблице представлены результаты расчета коэффициента K_r .

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что упрочнение прецизионных деталей распылителя форсунки CVD-методом карбидохромовыми покрытиями до уровня микротвердости 18 ГПа обеспечивает высокую износостойкость в условиях абразивного изнашивания.

Изменение силы разрушения и критической толщины карбидохромового покрытия (18,9 ГПа) в зависимости от диаметра абразивных частиц представлено на рисунке 2. Установленная зависимость коррелирует с результатами работы [5], описывающей

Коэффициент K_r деталей распылителя на изнашиваемых поверхностях

Таблица

Coefficient K_r of sprayer parts on wearing surfaces

Table

Тип Type	Деталь / Поверхность Part / Surface	Материал Material	Микротвердость, ГПа Microhardness, GPa	Критерий оценки, K_r / Evaluation criterion, K_r	
				Кварц / Quartz	Корунд / Corundum
Серийные Serial	Корпус / Frame	12X2H4A	7,35	0,70...0,65	0,35...0,31
	Игла / Needle	P6M5	7,85	0,74...0,69	0,37...0,33
Упрочненные Reinforced	Покрытие / Coating	Cr_3C_2	12	1,14...1,06	0,57...0,50
			15	1,43...1,33	0,71...0,63
			18	1,71...1,59	0,85...0,75
			21	2,00...1,86	1,00...0,87
Абразив Abrasive	Кварц / Quartz	SiO_2	10,5...11,3	–	–
	Корунд / Corundum	Al_2O_3	21...24	–	–

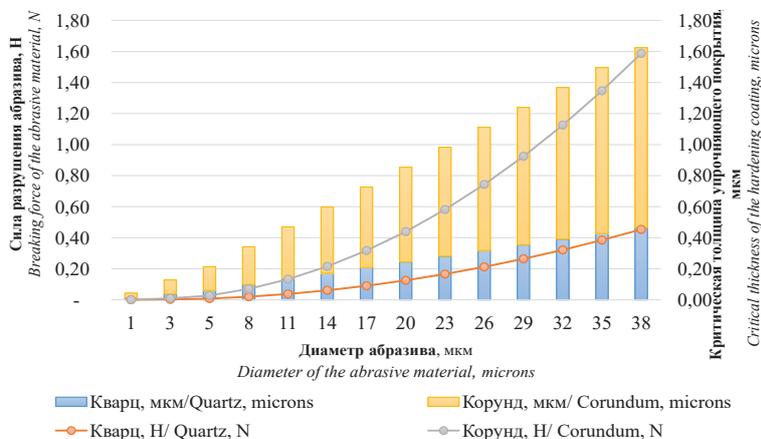


Рис. 2. Влияние размера абразива на величину разрушающей силы и критическую толщину карбидохромового покрытия (18,9 ГПа)

Fig. 2. Effect of abrasive size on the value of destructive force and critical thickness of chromium carbide coating (18.9 GPa)

измельчение частиц гранита в дробилках типа валковых, щековых, конусных и других видов.

Нами получены уравнения регрессии и графики функции отклика (рис. 3) для определения критической толщины покрытия в зависимости от уровня микротвердости и диаметра абразива.

$$h_{\text{Кварц}} = 0,18 - 2,55 \cdot 10^{-5} H_M + 0,026R + 8,21 \cdot 10^{-10} \cdot H_M^2 - 8,63 \cdot 10^{-7} \cdot H_M R - 17; \quad (18)$$

$$h_{\text{Корунд}} = 0,46 - 6,55 \cdot 10^{-5} H_M + 0,065R + 2,05 \cdot 10^{-9} \cdot H_M^2 - 2,16 \cdot 10^{-6} \cdot H_M R - 6,92 \cdot 10^{-17} R^2. \quad (19)$$

Из уравнений 18 и 19 следует, что с увеличением размера абразива критическая толщина упрочняющего покрытия увеличивается. С увеличением

микротвердости критическая толщина упрочняющего покрытия уменьшается. Исходя из этого величина износа покрытий убывает по линейному закону, что согласуется с результатами работы [6].

Согласно расчетам карбидохромовое покрытие (18,9 ГПа) в условиях абразивного изнашивания деталей распылителя форсунки обеспечивает несущую способность при толщине не менее 3 мкм. Это согласуется с результатами, опубликованными в работе [7], согласно которым минимальная рекомендуемая толщина абразивостойкого покрытия составляет от 3 до 10 мкм. Для технологии восстановления геометрических параметров изношенных деталей распылителя толщина покрытия может быть увеличена с учетом величины износа.

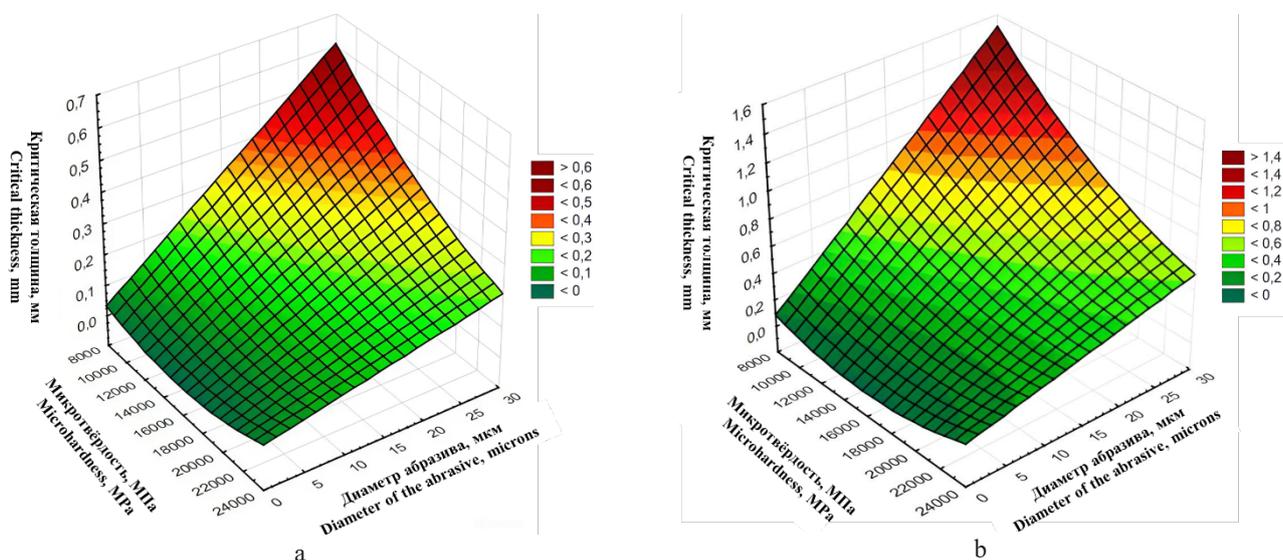


Рис. 3. Функция отклика критической толщины покрытия в зависимости от его микротвердости и размера абразива: (а) кварц; (б) корунд

Fig. 3. Response function of the critical coating thickness depending on its microhardness and the size of the abrasive material: (a) quartz; (b) corundum

Выводы

1. Получены аналитические зависимости для расчета критической толщины карбидохромового покрытия на рабочих поверхностях прецизионных деталей распылителя форсунки в условиях абразивного изнашивания.
2. Получены уравнения регрессии и графики функции отклика критической толщины покрытия

в зависимости от уровня микротвердости и размера частиц кварца и корунда.

3. Для обеспечения несущей способности упрочняющего покрытия на деталях распылителя форсунки дизельного двигателя его критическая толщина при микротвердости 18,9 ГПа должна составлять не менее 3 мкм.

Список источников

1. Логачев К.М. Модернизация CVD-установки для осаждения карбида хрома на внутренних поверхностях корпуса распылителя форсунки дизельных двигателей // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 3. С. 84-90. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-84-90>
2. Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Пастухов А.Г., Скороходов Д.М., Логачев К.М. Деформация прецизионных деталей топливной аппаратуры дизелей при восстановлении методом диффузионной металлизации

References

1. Logachev K.M. Upgrading a CVD unit for chrome carbide deposition on the inner surfaces of the fuel injector nozzle body of a diesel engine. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(3):84-90. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-84-90>
2. Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Pastukhov A.G., Skorokhodov D.M., Logachev K.M. Deformation of precision parts in diesel fuel equipment during diffusion metallization. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022;16(3):4-11. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-3-4-11>

// Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16, № 3. С. 4-11. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-3-4-11>

3. Мещерякова А.Р., Горячева И.Г. Напряженное состояние упругих тел в условиях качения с проскальзыванием при наличии промежуточного слоя // Физическая мезомеханика. 2020. Т. 23, № 6. С. 91-101. EDN: HJKIJK

4. Бутенко В.И. Влияние начального состояния поверхностей деталей на технологическую совместимость создаваемых на них функциональных слоев и покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия. 2020. Т. 16, № 9 (189). С. 394-400. EDN: SGYGDV

5. Гурьянов Г.А., Абдеев Б.М., Байгереев С.Р., Ким В.А., Сулейменов А.Д. Прикладная механико-математическая модель измельчения частицы твердого вещества статическим раздавливанием // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2021. № 3. С. 58-69. <https://doi.org/10.15593/perm.mech/2021.3.06>

6. Сильченко О.Б., Силуянова М.В., Хопин П.Н. Исследование микротвердости и износостойкости карбометаллических покрытий из композиционных материалов, полученных газодетонационным методом // Вестник Брянского государственного технического университета. 2020. № 10 (95). С. 29-36. <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-10-29-36>

7. Wu L., Guo X., Zhang J. Abrasive Resistant Coatings – A Review. *Lubricants*. 2014;2(2):66-89. <https://doi.org/10.3390/lubricants2020066>

5. Meshcheryakova A.R., Goryacheva I.G. Stress state of elastic bodies under slip-rolling contact in the presence of an intermediate layer. *Fizicheskaya Mezomekhanika*. 2020;23(6):91-101. (In Russ.)

4. Butenko V.I. Effect of initial condition of parts surfaces on technological compatibility of functional layers and coatings created on them. *Strengthening Technologies and Coatings*. 2020;16(9):394-400. (In Russ.)

5. Guryanov G.A., Abdeev B.M., Baigereyev S.R., Kim V.A., Suleimenov A.D. The applied mechanical and mathematical model of grinding of a solid particle by static crushing. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Mechanics = PNRPU mechanics bulletin*. 2021;3:58-69. (In Russ.) <https://doi.org/10.15593/perm.mech/2021.3.06>

6. Silchenko O.B., Siluyanov M.V., Hopin P.N. Micro-hardness and wear-resistance investigation in carbo-metal coating composites obtained through gas-detonation method. *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2020;10:29-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2020-10-29-36>

7. Wu L., Guo X., Zhang J. Abrasive Resistant Coatings – A Review. *Lubricants*. 2014;2(2):66-89. <https://doi.org/10.3390/lubricants2020066>

Информация об авторах

Михаил Никитьевич Ерохин¹, д-р техн. наук, профессор, академик РАН; er.mihn@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>; Scopus Author ID: 572092705884

Сергей Павлович Казанцев², д-р техн. наук, профессор; kazansev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709>; Scopus Author ID: 57209268547; Researcher ID: GZL-6443-2022

Иван Юрьевич Игнаткин³, д-р техн. наук, профессор; ignatkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>; Scopus Author ID: 57222543815; Researcher ID: AAC-1577-2022

Константин Михайлович Логачёв⁵, канд. техн. наук, ассистент; klogachyov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-3474-7591>, SPIN-код: 9152-5491, AuthorID: 1134974

Дмитрий Михайлович Скороходов⁵, канд. техн. наук, доцент; d.skorokhodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6315-4184>; Scopus Author ID: 57223623999; Researcher ID: AFH-8012-2022

^{1,2,3,4,5} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

М.Н. Ерохин – разработка методологии исследования; С.П. Казанцев – руководство исследованием, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование; И.Ю. Игнаткин – формирование выводов исследования; К.М. Логачёв – актуальность проблемы, формулирование основной концепции исследования, представление результатов; Д.М. Скороходов – визуализация, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 12.09.2024, после рецензирования и доработки 21.10.2024; принята к публикации 21.10.2024.

Author Information

Mikhail N. Erokhin¹, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor; er.mihn@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>; Scopus Author ID: 572092705884

Sergey P. Kazantsev², DSc (Eng), Professor; kazansev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709>; Scopus Author ID: 57209268547; Researcher ID: GZL-6443-2022

Ivan Yu. Ignatkin³, DSc (Eng), Professor; ignatkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>; Scopus Author ID: 57222543815; Researcher ID: AAC-1577-2022

Konstantin M. Logachev⁴, CSc (Eng), Assistant Professor, klogachyov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-3474-7591>, SPIN-код: 9152-5491, AuthorID: 1134974

Dmitry M. Skorokhodov⁵, CSc (Eng), Associate Professor; d.skorokhodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6315-4184>; Scopus Author ID: 57223623999

^{1,2,3,4,5} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow 127434, Russian Federation

Author Contribution

M.N. Erokhin – research methodology; S.P. Kazantsev – research supervision, writing – finalizing (revising and editing) of the manuscript; I.Yu. Ignatkin – research conclusions; K.M. Logachev – problem statement, conceptualization, presentation of results; D.M. Skorokhodov – visualization, writing – finalizing (revising and editing) of the manuscript.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests and are responsibility for plagiarism

Received 12.09.2024; Revised 21.10.2024; Accepted 21.10.2024

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.793.79

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-63-70>

Исследование адгезионной прочности напыленного покрытия для ремонта рабочей поверхности гильз цилиндров

А.В. Чавдаров¹, Ю.В. Катаев², А.А. Мамедов³, Н.А. Попов⁴^{1,2,4}Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия³Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ info@firma-tom.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9825-306X>² ykataev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>³ aMamedov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3194-1930>⁴ mr.n.a.popov@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-4148-7038>

Аннотация. Технология ремонта изношенных внутренних поверхностей гильз цилиндров с применением комбинированной технологии, включающей в себя холодное газодинамическое напыление алюминия с последующим микродуговым оксидированием, недостаточно изучена. С целью обоснования возможности применения холодного газодинамического напыления при ремонте гильз цилиндров исследован предел прочности на срез алюминиевого покрытия, нанесенного ХГДН на чугунный образец. Разработаны методика и оборудование для нанесения покрытия на внутреннюю поверхность цилиндра. В качестве образцов использовали цилиндры 10×30 из чугуна ВЧ40. Напыление порошка алюминия марки А-20-01 проводилось на установке ДИМЕТ-403 при режимах «2-2», «2-3», «3-2», «3-3». Предел прочности сцепления алюминиевого покрытия с чугуном при сдвиге определялся при продавливании образца (цилиндра с покрытием в виде напыленного пояса) через матрицу. Результаты испытаний на прочность показывают, что при режиме нагрева «2» (около 300°С) достигается наибольшая адгезионная прочность на срез по сравнению с другими режимами. Максимальная средняя прочность покрытия составила 11,99 МПа, что в 2,5 раза меньше, чем при нанесении порошка А-20-11 на сталь. Режим «2-3» позволяет напылить необходимый объем материала за меньшее время за счет большей скорости подачи порошка. Для обеспечения большей прочности и надежности покрытия рекомендованы режимы напыления «2-2» и «2-3» с расходом порошка, соответственно, 0,2 и 0,3 г/с. Разработанная технология позволяет наносить относительно прочные покрытия для восстановления гильз цилиндров. В результате исследований выявлены возможность восстановления цилиндров в номинальный размер и обеспечение высокой износостойкости их поверхности для любой модели двигателя.

Ключевые слова: двигатель, ресурс, холодное газодинамическое напыление, напыление, поверхность цилиндра, прочность покрытия, адгезионная прочность, предел прочности на срез, предел прочности сцепления

Для цитирования: Чавдаров А.В., Катаев Ю.В., Мамедов А.А., Попов Н.А. Исследование адгезионной прочности напыленного покрытия для ремонта рабочей поверхности гильз цилиндров // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 63-70. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-63-70>

ORIGINAL PAPER

Study of the adhesion strength of sprayed coating used to repair cylinder faces

A.V. Chavdarov¹, Yu.V. Kataev², A.A. Mamedov³, N.A. Popov⁴^{1,2,4}Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia³Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ info@firma-tom.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9825-306X>² ykataev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>³ aMamedov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3194-1930>⁴ mr.n.a.popov@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-4148-7038>

Abstract. Today, there is insufficient study on the technology of repair of worn cylinder faces with the use of combined technology, including cold gas dynamic spraying (CGDS) of aluminum followed by microarc oxidation. In order to justify the possibility of using cold gas dynamic spraying to repair cylinder liners, the authors

studied the shear strength of aluminum coating applied to cast iron sample by the CGDS method. The methodology and equipment for coating the cylinder face were developed. 10×30 cylinders made of BCh40 cast iron were used as samples. Aluminum powder of A-20-01 grade was sprayed on the DIMET-403 unit in modes “2-2”, “2-3”, “3-2”, “3-3”. The shear bond strength of the aluminum coating with cast iron was determined by pushing a sample (a cylinder with a sprayed belt coating) through a matrix. The results of strength tests have shown that heating mode “2” (about 300°C) achieves the highest shear adhesion strength compared to other modes. The maximum average strength of the coating was 11.99 MPa, which is 2.5 times less than when applying A-20-11 powder on steel. Under the “2-3” mode the required volume of material can be sprayed over less amount of time due to the higher powder feed rate. To ensure greater durability and reliability of the coating, the authors recommend spraying modes “2-2” and “2-3” with a powder flow rate of, respectively, 0.2 and 0.3 g/s. The developed technology produces relatively durable coatings for cylinder liner restoration. As a result, the study has revealed a possibility of restoring cylinders to nominal size and ensuring high wear resistance of their surface for any engine model.

Keywords: engine, service life, cold spray, spraying, cylinder surface, coating strength, adhesive strength, shear strength, ultimate adhesion strength

For citation: Chavdarov A.V., Kataev Yu.V., Mamedov A.A., Popov N.A. Study of the adhesion strength of sprayed coating used to repair cylinder faces. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(6):63-70. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-63-70>

Введение

С поломкой двигателя связаны 36...52% всех отказов техники. Долговечность двигателя зависит от степени износа деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ), и особенно – от состояния гильз цилиндров. Ресурс ЦПГ при эксплуатации составляет не более 40% общего ресурса двигателя, что требует частой ее замены или восстановления [1-3]. Увеличить ресурс работы узла можно совмещением современных технологий диагностики остаточного ресурса ЦПГ с оптимальными технологиями ремонта [4].

Наиболее распространенные технологии ремонта гильз цилиндров: расточка под ремонтный размер, термообжатие и установка ремонтных деталей – имеют существенные недостатки. Термообжатие и расточка под ремонтный размер приводят к снижению износостойкости гильзы в связи с удалением с ее поверхности наиболее упроченного слоя материала. Установка ремонтных деталей и термообжатие являются трудоемкими, требуют специфического пресового оборудования и применяются только в серийном производстве. Расточка под ремонтный размер требует закупки сменных поршневых колец ремонтного размера, что может вызвать некоторые трудности особенно для двигателей иностранного производства.

Современная технология ремонта цилиндров двигателей внутреннего сгорания (ДВС) должна обеспечивать наладку оборудования под любой типоразмер в единичном производстве, позволять восстановить цилиндр в номинальный размер и обеспечивать износостойкость не ниже, чем у новой детали.

Разработка новых способов восстановления гильз цилиндров ДВС обусловлена потребностью

промышленности в качественном ремонте и обеспечении лучших характеристик по сравнению с существующими методами.

Новый способ восстановления рабочей поверхности гильз цилиндров из любых материалов в номинальный размер предполагает нанесение покрытия по комбинированной технологии. Сначала на расточенную и предварительно подготовленную гильзу цилиндра с помощью холодного газодинамического напыления (ХГДН) наносится слой порошка алюминия, затем поверхность обрабатывается микродуговым оксидированием. После нанесения покрытия гильза механически обрабатывается в номинальный размер. Предполагается достижение долговечности работы гильзы цилиндров, не уступающей новой.

Применение технологии ХГДН с использованием мелкодисперсного порошка делает этот подход относительно экологичным благодаря высокой степени использования перерабатываемого сырья при производстве порошков [5] и возможности сбора и переработки не осевшего на поверхность порошка [6].

Комбинированное покрытие, полученное холодным газодинамическим напылением алюминия с последующим микродуговым оксидированием, – это способ нанесения защитного износостойкого покрытия на алюминиевые детали техники [7], способ антикоррозионной защиты и упрочнения стальной основы [8-10]. Для улучшения трибологических характеристик в пористую поверхность, полученную микродуговым оксидированием, предлагается внедрять твердые смазочные материалы [11], но нами не обнаружены данные по применению этого метода для ремонта ДВС. Поэтому авторы решили исследовать надежность работы ремонтного покрытия

в рамках ЦПГ по прочности покрытия на чугунной основе на срез. Износостойкость и теплопроводность данного ремонтного покрытия планируется рассмотреть в дальнейших исследованиях.

Цель исследований: определение предела прочности на срез покрытия, нанесенного ХГДН на основу из чугуна, с целью обоснования возможности применения данного способа при ремонте гильз цилиндров; разработка методики и оборудования для нанесения покрытия на внутреннюю поверхность цилиндра.

Материалы и методы

При проведении испытаний руководствовались документом РД 10.003-2009¹, предполагающим продавливание через матрицу образца – цилиндра с покрытием в виде напыленного пояска. В данном случае материал покрытия разрушается при действиях касательных напряжений, а сдвиг напряжения характеризует прочность соединения.

В качестве образца применяли цилиндр диаметром 10 мм и длиной 30 мм (рис. 1). Образцы изготавливали из чугуна ВЧ 40 ГОСТ 7293-85 «Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки». Анализ материалов, используемых для изготовления гильз, показал, что наиболее критичным для адгезионной прочности является сочетание «Чугун-алюминиевый порошок» [7, 8, 11]. На центральную часть образца наносили покрытие ХГДН в виде пояска с применением изогнутого сопла. Ширина напыленного пояска после проточки составляла $2 \pm 0,1$ мм.

До напыления алюминия выполнялась предварительная очистка и проводилась подготовка (активация) поверхности заготовки при помощи пескоструйной обработки на установке ДИМЕТ 403. Использовался порошок К-00-04-16 при отсутствии нагрева.

При напылении использовался порошок А-20-01, в составе которого 80% алюминия и 20% корунда. Рабочее давление при напылении составляло 0,6...0,7 МПа и обеспечивало стабильное протекание ХГДН [12]. Напыление производилось при режимах «2-2», «2-3», «3-2», «3-3» (первая цифра отвечает за режим нагрева, а вторая – за расход порошка). Температурный режим «2» соответствует нагреву порошка до 300°C, а режим «3» – нагреву до 400°C. Расход порошка 0,2 г/с соответствует режиму «2», а расход 0,3 г/с – режиму «3». Режимы выбраны на основании выполненных ранее экспериментов и рекомендаций производителя по применению данного порошка.

¹РД 10.003-2009. Геометрические параметры и физико-механические свойства поверхностей, образованных при электроискровой обработке материалов в газовой среде / Ф.Х. Бурумкулов, П.В. Сенин, А.В. Мартынов и др. М.: ГОСНИТИ, 2009. 56 с.

Образцы напылялись до получения пояска диаметром 12,5 мм. Для всех режимов время напыления составило от 4 до 6 мин при расстоянии от сопла до заготовки 8...10 мм. Во время напыления образцы вращались вокруг своей оси со скоростью 20 об/мин.

На каждом режиме было изготовлено по 3 образца (рис. 2). Ширина напыленного пояска составляла около 6 мм, а его толщина имела максимальный размер по центру и линейно уменьшалась к краям заготовки, образуя конусную поверхность.

После чистовой проточки все образцы проверялись на соответствие размеров чертежу (рис. 1) и отсутствие излишнего сопротивления при проходе через матрицу. Соединение «Образец без покрытия-матрица» образует посадку $\varnothing 10 \frac{H7}{f6}$. Образец без покрытия должен входить в матрицу свободно, без заеданий, чтобы исключить погрешность измерения, вызванную трением образца о внутреннюю цилиндрическую поверхность матрицы.

Испытание материалов на растяжение и сжатие в режиме статического нагружения в пределах собственных технических возможностей проводилось на машине И1147М-50-01-1.

С целью обеспечения точности измерений испытание образцов, полученных на одних и тех же режимах, повторялось трехкратно.

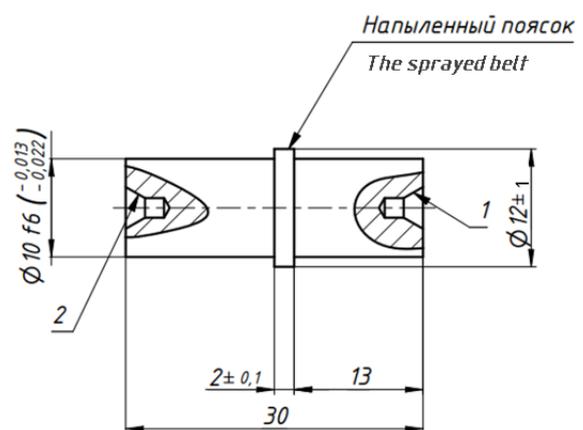


Рис. 1. Образец с покрытием

Fig. 1. Coated sample



Рис. 2. Заготовка образцов после напыления

Fig. 2. Sample preparation after spraying

Предел прочности сцепления покрытия с основным металлом при сдвиге (τ , МПа) определяли по формуле:

$$\tau = \frac{P_p}{\pi \cdot D \cdot h}, \quad (1)$$

где P_p – максимальная нагрузка, предшествующая разрушению покрытия, Н; h – ширина пояска, мм; D – диаметр образца, мм.

Статистическая обработка результатов испытаний проводилась с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Нанесение покрытия на внутреннюю цилиндрическую поверхность проводилось по методике, изложенной в работе [13]. Практически все гильзы цилиндров представляют собой тело вращения с относительно небольшим внутренним диаметром (60...120 мм). Стандартные сопла Лавалья для установок ХГДН являются неприменимыми для

напыления внутренней поверхности таких деталей, поэтому применяли специально изготовленное запатентованное изогнутое сопло (рис. 3), поворачивающее поток газа на 90° [14]. Сопло оснащено дополнительным соплом Лавалья 1, выполненным на базе стандартного наконечника сварочного полуавтомата, присоединенного к изогнутой трубке 2. Для подачи порошка сопло оснащено каналом порошкового питания 3. Сопло для ХГДН сконструировано таким образом, что подходит к любым пистолетам фирмы Димет 4.

Для достижения равномерного покрытия на рабочей поверхности гильзы рекомендуется использовать автоматизированные комплексы, позволяющие варьировать скорость вращения гильзы и обеспечивать равномерное перемещение сопла устройства вдоль поверхности детали с заданной скоростью. Пример такого комплекса представлен на рисунке 4. В автоматизированном комплексе вертикальная плоскость

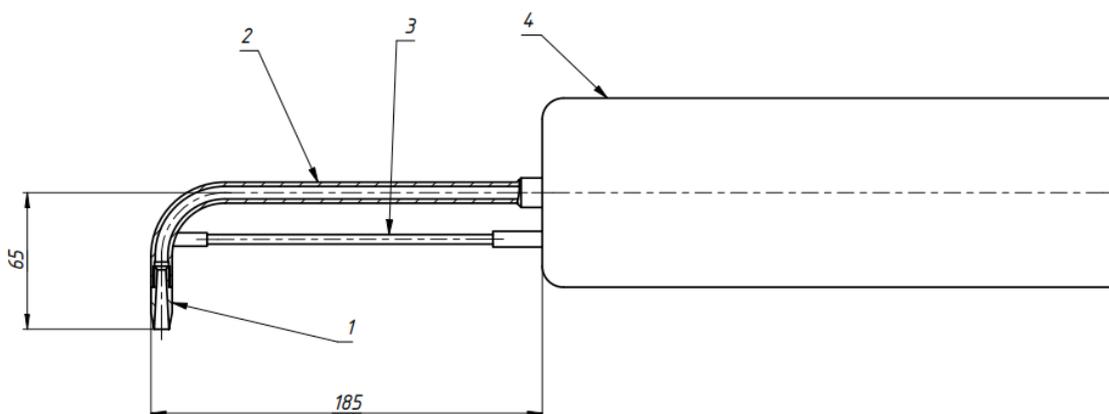


Рис. 3. Изогнутое сопло в сборе:

1 – дополнительное сопло Лавалья; 2 – изогнутая трубка; 3 – канал порошкового питания; 4 – напылитель

Fig. 3. Curved nozzle assembly

1 – additional Laval nozzle; 2 – curved tube; 3 – powder feed channel; 4 – sprayer

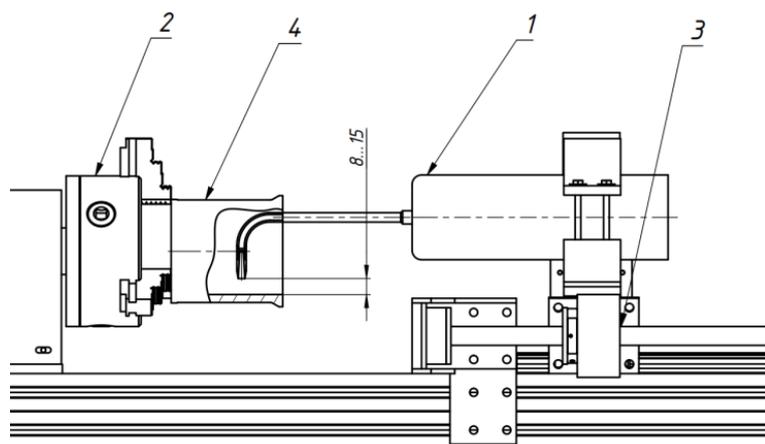


Рис. 4. Эскиз автоматизированного комплекса для ХГДН гильз цилиндров:

1 – напылитель; 2 – трехкулачковый патрон; 3 – шарико-винтовая передача; 4 – гильза цилиндра

Fig. 4. Diagram of an automated installation for CGDS of cylinder liners

1 – sprayer; 2 – three-jaw chuck; 3 – ball screw; 4 – cylinder liner

симметрии напылителя с изогнутым соплом 1 совпадает с плоскостью вращателя с трехкулачковым патроном 2 . Равномерное движение напылителя обеспечивается шарико-винтовой передачей 3 , приводимой в движение шаговым двигателем. Гильза цилиндра 4 зажимается в патрон вращателя 2 .

По результатам нагружения образцов по схеме, приведенной в описании эксперимента, были получены графики зависимости силы нагружения от времени (рис. 5). После разрушения напыленного пояса на графике отмечается спад усилия. Наибольшее зафиксированное усилие принималось за усилие разрушения. S-образная форма некоторых кривых нагружения объясняется особенностями работы прессового оборудования: сначала требовалось время для выхода на заданную скорость нагружения, в конце образец создавал сопротивление, замедляющее перемещение пуансона.

Для каждого образца были определены толщина напыленного пояса и сила его разрушения. По этим данным и формуле (1) определен предел прочности на срез покрытия (табл.).

Отметим, что предел прочности покрытия при напылении на тепловом режиме «2» в среднем больше, чем при напылении в режиме «3» (при большем разогреве порошка). Предположительно это связано с меньшей глубиной внедрения частиц порошка при ударе о чугунную подложку ввиду большей пластичности при нагреве. При этом увеличение расхода порошка не обязательно приводит к уменьшению прочности, как можно было предположить.

В работе [15] представлены результаты по испытаниям адгезионной прочности напыленного по аналогичной технологии покрытия порошка А-20-11 на цилиндрические образцы из стали. По результатам исследования адгезионная прочность достигала 29 МПа. Исследование отмечает важность большего нагрева порошка при напылении изогнутым соплом по сравнению с обычным прямым.

В данном исследовании была получена меньшая адгезионная прочность покрытия и падение прочности при большем нагреве порошка. Это может быть связано с различными свойствами материалов образца и разным составом порошка. Можно предположить, что различный профиль шероховатости на стали и чугуне ВЧ 40 после схожей пескоструйной обработки приводит к разнице в прочности анкерного зацепления напыленного слоя. Также содержание в порошке А-20-11 цинка (обычно более мягкого по сравнению с алюминием) может положительно влиять на адгезионную прочность. Однако добавление цинка делает микродуговое

окисление покрытия из порошка А-20-11 более затруднительным, что является существенным недостатком в предлагаемой технологии ремонта гильз цилиндров. Наличие данных о большей адгезионной прочности покрытия по стали делает актуальными дальнейшие исследования по расширению области применения технологии восстановления на гильзы цилиндров из стали.

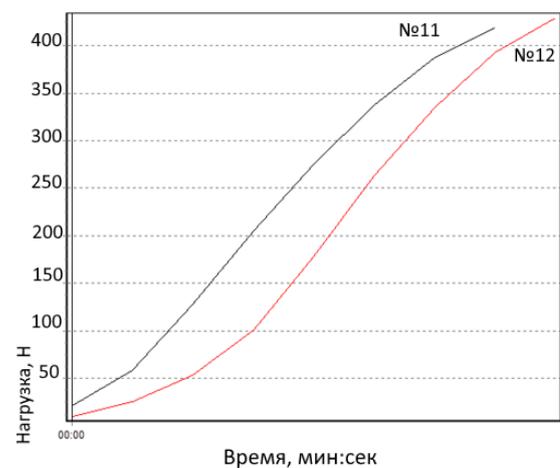
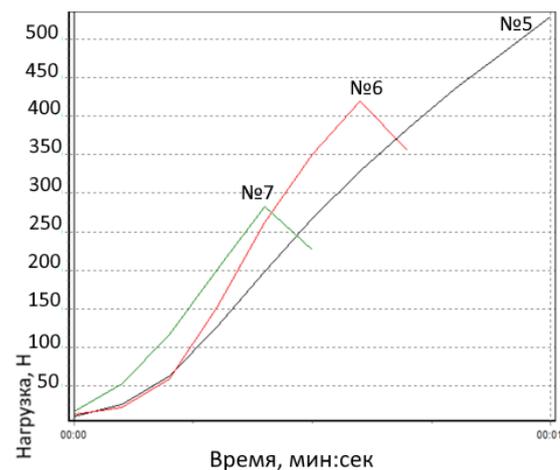
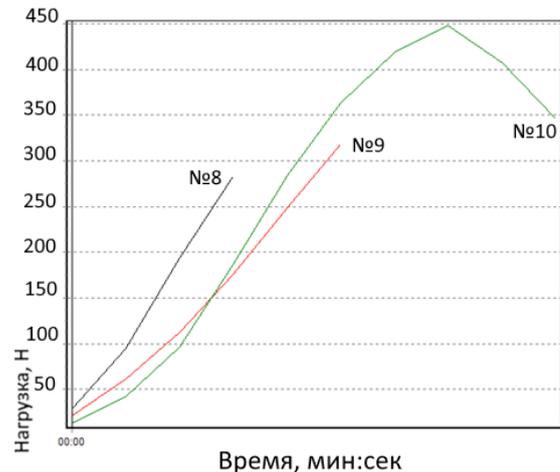


Рис. 5. Зависимость усилия нагружения образцов от времени

Fig. 5. Graph of the relationship between the loading force of samples and time

Таблица

Результаты испытания на прочность покрытия на срез

Table

Results of the shear strength test of coatings

№	Режим напыления <i>Spraying mode</i>	Толщина пояска, мм / <i>Belt thickness, mm</i>				Среднее Average	Сила разрушения, Н <i>Force of destruction, N</i>	Прочность покрытия, МПа <i>Strength, MPa</i>	Среднее значение прочности, МПа <i>Average strength value, MPa</i>
		Измерение / <i>Measurement</i>							
		1	2	3					
1	2-2	2,02	2,01	2,02	2,02	760	12,00	11,99	
2	2-2	1,33	1,32	1,33	1,33	522	12,52		
3	2-2	1,38	1,39	1,39	1,39	499	11,45		
4	2-3	1,57	1,52	1,56	1,55	461	9,47	10,87	
5	2-3	1,42	1,4	1,41	1,41	529	11,94		
6	2-3	1,19	1,2	1,18	1,19	419	11,21		
7	3-2	1,14	1,17	1,16	1,16	283	7,79	7,14	
8	3-2	1,36	1,37	1,36	1,36	283	6,61		
9	3-2	1,47	1,44	1,42	1,44	318	7,01		
10	3-3	1,64	1,64	1,64	1,64	448	8,70	9,09	
11	3-3	1,36	1,37	1,38	1,37	419	9,74		
12	3-3	1,55	1,54	1,55	1,55	429	8,83		

Из соображений обеспечения большей прочности, а соответственно и надежности покрытия, рекомендуем режимы напыления «2-2» и «2-3» (табл.). Режим «2-3» может позволить напылить необходимый объем материала за меньшее время за счет большей скорости подачи порошка.

Полученные средние значения прочности покрытия на срез на всех режимах отвечают условиям работы цилиндропоршневой группы.

Исследования позволяют произвести расчет по возможности применения комбинированной технологии восстановления изношенной гильзы цилиндра для каждой модели отдельно.

Список источников

1. Жачкин С.Ю., Живогин А.А. Гальваноконтактное железнение как способ восстановления изношенной внутренней поверхности гильз цилиндров дизельных двигателей // Труды ГОСНИТИ. 2012. Т. 109, № 2. С. 72-76. EDN: PIBQFJ
2. Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Петрищев Н.А., Саяпин А.С., Молибоженко К.К. Повышение уровня технического обслуживания энергонасыщенной техники // Техника и оборудование для села. 2022. № 4 (298). С. 27-31. EDN: BMPALW
3. Черноиванов В.И., Денисов В.А., Соломашкин А.А. Способ определения остаточного ресурса деталей машин // Технический сервис машин. 2020. № 1 (138). С. 50-57. EDN: ZKSZUL

Выводы

Оптимальные режимы напыления алюминиевого порошка на чугунные образцы с использованием специального изогнутого сопла позволяют увеличивать предел прочности покрытия в 1,3...1,8 раза. Разработанная принципиальная схема оборудования позволяет восстанавливать геометрию внутренней поверхности гильзы цилиндров из любого металлического материала. Прочность покрытия на срез образцов на всех режимах отвечает условиям работы цилиндропоршневой группы.

References

1. Zhachkin S.Yu., Zhivogin A.A. Galvanic contact ironing as a way to restore the worn inner surface of diesel engine cylinder liners. *Trudy GOSNITI = Proceedings of GOSNITI*. 2012;109(2):72-76. (In Russ.)
2. Kataev Yu.V., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A., Sayapin A.S., Molibozhenko K.K. Increasing the level of maintenance of energy-saturated equipment. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022;4:27-31. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-4-27-31> (In Russ.)
3. Chernoi Ivanov V.I., Denisov V.A., Solomashkin A.A. How to determine the remaining life of machine parts.

4. Черноиванов В.И., Денисов В.А., Катаев Ю.В., Соломашкин А.А. Новая стратегия технического обслуживания и ремонта машин // Техника и оборудование для села. 2021. № 9 (291). С. 33-36. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-9-33-36> EDN: DQBNRT
5. Зуевский В.А., Задорожний Р.Н., Романов И.В. Использование порошковых материалов в технологиях восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2021. № 4 (145). С. 180-190. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2021-59-4-180-190> EDN: AYCENNA
6. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electro-sparks with a secondary bronze coating. *Coatings*. 2022;12(3). <https://doi.org/10.3390/coatings12030312>
7. Кузнецов Ю.А., Марков М.А., Кравченко И.Н., Красиков А.В., Величко С.А., Чумаков П.В., Кулаков К.В. Технологические аспекты определения температуры в металле при формировании покрытий методом гетерофазного переноса и микродугового оксидирования // Электронная обработка металлов. 2021. Т. 57, № 1. С. 70-74. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4455849>
8. Кузнецов Ю.А., Марков М.А., Красиков А.В., Быстров Р.Ю., Беляков А.Н., Быкова А.Д., Макаров А.М., Фадин Ю.А. Формирование износостойких и коррозионно-стойких керамических покрытий комбинированными технологиями напыления и микродугового оксидирования // Журнал прикладной химии. 2019. Т. 92, № 7. С. 819-826. EDN: QNDAIM
9. Ипатов А.Г., Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Дородов П.В., Малинин А.В. Физико-механические свойства керамических покрытий, получаемых короткоимпульсной лазерной наплавкой порошковой смеси на основе бора // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 1. С. 71-76. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-71-76>
10. Кравченко И.Н., Закарчевский О.В., Катаев Ю.В., Колмейченко А.А. Оценка остаточных напряжений и прочности покрытий повышенной толщины при послойном их формировании // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 127. С. 171-175. EDN: YRTQUD
11. Быкова А.Д., Марков М.А. Повышение износостойкости деталей машин методом микродугового оксидирования // Нанопластика и наноматериалы: Сборник научных трудов Международного симпозиума, посвященного 110-летию В.Б. Алесковского и 115-летию Л.А. Сена, Санкт-Петербург, 23-24 ноября 2022 г. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2022. С. 73-80. EDN: VDCBHQ
12. Чавдаров А.В., Толкачев А.А. Восстановление внутренних поверхностей цилиндрических деталей малых диаметров холодным газодинамическим напылением // Технический сервис машин. 2020. № 3 (140). С. 128-136. EDN: YISKJJ
13. Чавдаров А.В., Денисов В.А. Кинетика роста МДО-покрытия при вневанном процессе // Агроинженерия. 2021. № 4 (104). С. 33-40. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-4-33-40>
14. Устройство для газодинамического нанесения покрытий на внутренние поверхности цилиндрических деталей: Патент RU2714002 C1, МПК C23C24/04(2006.01), C23C4/12(2006.01), B05B7/14(2006.01) / А.В. Чавдаров, А.В. Валиячиков, А.А. Толкачев; заявл. 02.09.2019; опубл. 11.02.2020, Бюл. № 5. EDN: RESTBS
15. Чавдаров А.В., Толкачев А.А. Новые технологические решения для восстановления внутренней поверхности гидроцилиндров // Аграрная наука. 2021. № 354 (11-12). С. 166-170. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-166-170>
- Machinery Technical Service*. 2020;1(138):50-57. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2020-58-1-50-57>
4. Chernoiivanov V.I., Denisov V.A., Kataev Yu.V., Solomashkin A.A. A new strategy for maintenance and repair of machines. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021;9:33-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-9-33-36>
5. Zuevskiy V.A., Zadorozhniy R.N., Romanov I.V. The use of powder materials in technologies of restoration and hardening of agricultural machinery parts. *Machinery Technical Service*. 2021;4:180-190. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2021-59-4-180-190>
6. Dorokhov A.S., Denisov V.A., Zadorozhny R.N., Romanov I.V., Zuevskiy V.A. The tribotechnical properties of electro-sparks with a secondary bronze coating. *Coatings*. 2022;12(3). <https://doi.org/10.3390/coatings12030312>
7. Kuznetsov Yu.A., Markov M.A., Kravchenko I.N., Krasikov A.V., Velichko S.A., Chumakov P.V., Kulakov K.V. Technological aspects of estimation of temperature in metals when forming coatings by heterophase transfer and microarc oxidation. *EOM = Elektronnaya Obrabotka Materialov*. 2021;57(1):70-74. (In Russ.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.4455849>
8. Kuznetsov Yu.A., Markov M.A., Krasikov A.V., Bystrov R. Yu., Belyakov A.N., Bykova A.D., Makarov A.M., Fadin Yu.A. Formation of wear-and corrosion-resistant ceramic coatings by combined technologies of spraying and micro-arc oxidation. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2019;92(7):819-826. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0044461819070016>
9. Ipatov A.G., Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Dorodov P.V., Malinin A.V. Physico-mechanical properties of ceramic coatings obtained by short-pulse laser surfacing of a boron-based powder mixture. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(1):71-76. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-71-76>
10. Kravchenko I.N., Zakarchevskiy O.V., Kataev Yu.V., Kolomeichenko A.A. Assessment of residual stresses and strength of coatings with increased thickness during their layer-by-layer depositing. *Trudy GOSNITI = Proceedings of GOSNITI*. 2017;127:171-175. (In Russ.)
11. Bykova A.D., Markov M.A. Increasing the wear resistance of machine parts by microarc oxidation. *Nanophysics and Nanomaterials: Proceedings of the International Symposium dedicated to the 110th anniversary of V.B. Aleskovsky and the 115th anniversary of L.A. Sena* St. Petersburg, November 23-24, 2022. St. Petersburg: St. Petersburg Mining University, 2022. Pp. 73-80. (In Russ.)
12. Chavdarov A.V., Tolkachev A.A. Restoration of internal surfaces of cylindrical parts of small diameters by cold gas-dynamic spraying. *Machinery Technical Service*. 2020;3:128-136. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2020-58-3-128-136> (In Russ.)
13. Chavdarov A.V., Denisov V.A. Kinetics of the microarc oxidation coating growth in the no-bath process. *Agricultural Engineering*. 2021;4:33-40. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-4-33-40>
14. Chavdarov A.V., Valyaichikov A.V., Tolkachev A.A. Device for gas-dynamic application of coatings on cylindrical parts inner surfaces: patent No. 2714002 Russian Federation, IPC C23C24/04 (2006.01), C23C4/12 (2006.01), B05B7/14 (2006.01); 2020. (In Russ.)
15. Chavdarov A.V., Tolkachev A.A. New technological solutions for restoring the inner surface of hydraulic cylinders. *Agrarian Science*. 2021;354(11-12):166-170. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-166-170>

Информация об авторах

Анатолий Валентинович Чавдаров¹, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; info@firma-tom.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9825-306X>

Юрий Владимирович Катаев², канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник; ykataev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>

Азер Агабала Оглы Мамедов³, д-р филос. наук, доцент; aMamedov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3194-1930>

Никита Александрович Попов⁴, аспирант, инженер; mr.n.a.popov@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-4148-7038>

^{1,2,4} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5

³ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская, д. 49

Вклад авторов

А.В. Чавдаров – руководство исследованием, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование, ресурсы;

Ю.В. Катаев – концептуализация, методология;

А.А.О. Мамедов – табличное и графическое представление результатов;

Н.А. Попов – создание черновика рукописи, проведение исследования, визуализация.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила в редакцию 15.04.2024; поступила после рецензирования и доработки 16.10.2024; принята к публикации 30.10.2024

Author Information

Anatoly V. Chavdarov¹, CSc (Eng), Lead Research Engineer; info@firma-tom.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9825-306X>

Yuri V. Kataev², CSc (Eng), Lead Research Engineer; ykataev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>

Azer A. Mamedov³, DSc (Philosophy); aMamedov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3194-1930>

Nikita A. Popov⁴, postgraduate student, engineer; mr.n.a.popov@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-4148-7038>

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

³ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127434, Russian Federation

Author Contribution

A.V. Chavdarov – research supervision, writing – finalizing (revising and editing) of the manuscript, resources.

Yu.V. Kataev – conceptualization, methodology.

A.A.O. Mamedov – tabular and graphical visualization of results.

N.A. Popov – writing – original draft preparation, research, visualization.

Conflict of interests

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

Received 15.04.2024; Revised 16.10.2024; Accepted 30.10.2024.

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 62-732:662.75

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-71-76>**Очистка биотоплива с помощью высокопористого полимерного фильтра****Е.А. Улюкина¹, О.П. Андреев², С.С. Гусев³, А.А. Андреев⁴, А.В. Меликов⁵**^{1,2,3,4,5} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ eulykina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3048-6836>² aopmsau@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0738-302X>³ gusev.s@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3619-6848>⁴ ato215@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0006-8715-2286>⁵ melikov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2790-2146>

Аннотация. Биотопливо, полученное из растительного сырья, отличается от традиционного нефтяного топлива высокой вязкостью, плотностью, гигроскопичностью и химической активностью. Техническое состояние топливной аппаратуры определяется уровнем чистоты топлива. Для очистки биотоплива от загрязнений и эмульсионной воды предложено использовать полимерные материалы с глобулярной структурой. С целью изучения их свойств проведены испытания образцов полимерных материалов, полученных сополимеризацией резорцина с формальдегидом и стирола с дивинилбензолом. Использовались стандартные методы и оборудование. Испытания на прочность и проницаемость проводились на образцах сополимеров резорцина и формальдегида с содержанием полимерообразующих компонентов 20, 30, 40% и стирола с дивинилбензолом при содержании мономера 25, 40 и 60%. В результате исследований получены показатели прочности полимерных материалов: удельная разрушающая нагрузка при растяжении для сополимеров резорцина с формальдегидом составила 19 МПа, при сжатии – 6 МПа; для сополимеров стирола с дивинилбензолом – 15,5 и 2,5 МПа соответственно. Средний диаметр пор сополимеров составил 0,1...10 мкм, большая удельная поверхность и узкий диапазон распределения пор по размерам (+/-10%) позволяют использовать их в качестве фильтрующих перегородок для различных жидкостей. При взаимодействии образцов резорцинформальдегидного полимерного материала с биодизелем – метиловым эфиром рапсового масла – в течение 14 суток не выявлено изменений в составе полимера. Спектроскопические исследования не выявили изменений и в составе биотоплива. Разработанный резорцинформальдегидный фильтроэлемент для очистки биотоплива может в течение продолжительного времени эффективно работать без замены и технического обслуживания.

Ключевые слова: очистка топлива, очистка биотоплива, биотопливо, фильтроэлемент, полимерный фильтр

Для цитирования: Улюкина Е.А., Андреев О.П., Гусев С.С., Андреев А.А., Меликов А.В. Очистка биотоплива с помощью высокопористого полимерного фильтра // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 6. С. 71-76. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-71-76>

ORIGINAL ARTICLE

Biofuel purification using a highly porous polymer filter**Е.А. Ulyukina¹, О.П. Andreev², S.S. Gusev³, А.А. Andreev⁴, А.В. Melikov⁵**^{1,2,3,4,5} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ eulykina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3048-6836>² aopmsau@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0738-302X>³ gusev.s@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3619-6848>⁴ ato215@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0006-8715-2286>⁵ melikov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2790-2146>

Abstract. Biofuels are a renewable and environmentally friendly resource. Biofuels obtained from vegetable raw materials differ from traditional petroleum fuels in their high viscosity, density, hygroscopicity and chemical activity. The technical condition of the fuel equipment is determined by the level of fuel purity. The authors propose to use polymer materials with a globular structure to purify biofuels from contaminants and emulsion water. In order to study their properties, the authors carried out tests using standard methods and equipment of polymer samples obtained by copolymerization of resorcinol with formaldehyde and styrene with divinyl

benzene. Strength and permeability tests were carried out on samples of resorcinol and formaldehyde copolymers with 20, 30 and 40% polymer-forming components, and styrene with divinyl benzene with a monomer content of 25, 40 and 60%. The research determined the strength indicators of polymer materials: specific tensile stress for resorcinol copolymers with formaldehyde was 19 MPa, for compression – 6 MPa; for styrene copolymers with divinyl benzene, respectively, 15.5 and 2.5 MPa. The average pore diameter of the copolymers is 0.1 to 10 microns, a large specific surface area and a narrow range of pore size distribution (+/-10%) makes them good filter baffles for various liquids. During the interaction of samples of the resorcinol-formaldehyde polymer material with biodiesel – methyl ester of rapeseed oil, no changes in the polymer composition were detected for 14 days. Spectroscopic studies have not revealed any changes in the composition of biofuels. The authors have developed a resorcinol-formaldehyde filter element for biofuel purification, which can work effectively for a long time without replacement and maintenance.

Keywords: fuel purification, biofuel purification, biofuel, filter element, polymer filter

For citation: Ulyukina E.A., Andreev O.P., Gusev S.S., Andreev A.A., Melikov A.V. Biofuel purification using a highly porous polymer filter. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(6):71-76. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-71-76>

Введение

Разработка альтернативных источников энергии обусловлена ростом цен на нефтепродукты и увеличением выбросов токсичных веществ при сгорании нефтяных топлив. Из возобновляемых ресурсов перспективным является использование энергии биомассы, то есть всех видов веществ растительного и животного происхождения, продуктов их жизнедеятельности и органических отходов¹.

Производство биотоплива постоянно совершенствуется. Доля биотоплива в общемировом потреблении топлив увеличивается. На первом этапе в качестве биотоплива применялись спирты и разнообразные масла [1-3]. Использование масел в чистом виде способствовало увеличению нагарообразования на распылителях форсунок и других деталях камеры сгорания. Поэтому в дизелях предпочтительно использовать не масла, а продукты их химической переработки – метиловые и этиловые эфиры растительных масел [4-8]. Наиболее перспективным источником сырья для производства биодизеля являются водоросли. С одного акра (~ 0,4 га) земли можно получить 255 л соевого масла или 2400 л пальмового масла. С такой же площади водной поверхности можно производить до 3570 баррелей биотоплива из микроводорослей (1 баррель = 159 л) [9-11].

Биотопливо по сравнению с традиционными нефтяными топливами относится к возобновляемым ресурсам, не содержит соединений серы и образует при сгорании гораздо меньше вредных веществ, таких, как оксид углерода CO, оксиды серы, многоатомные углеводороды, оксиды

азота и др. Фракционный состав биодизеля существенно отличается от товарного дизельного топлива. При этом эфиры растительных масел весьма гигроскопичны и могут поглощать влагу из воздуха, а резинотехнические изделия и защитные покрытия из топливостойкой эмали не выдерживают контакта с эфирами [12].

Надежность работы сельскохозяйственной техники зависит от применяемых материалов, качества обработки поверхностей, допусков и посадок деталей, герметичности уплотнительных устройств [13], а также от эффективной работы дизельных двигателей, надежность и топливная экономичность которых зависят от технического состояния топливной аппаратуры, в значительной степени определяемого уровнем чистоты топлива [14]. Для очистки биотоплива следует использовать фильтрующие материалы, инертные к биотопливу, способные отделять не только твердые частицы, но и влагу. Текстурированные полимеры с пористой структурой обладают фильтрационными, абсорбционными свойствами, инертностью по отношению к различным видам топлива и способностью к регенерации [15].

Цель исследований: изучение свойств высокопористых полимерных фильтрующих материалов с глобулярной структурой, предназначенных для очистки и обезвоживания биотоплива.

Материалы и методы

Лабораторные исследования прочностных свойств фильтрующих материалов проводились путем определения предельных разрушающих нагрузок при растяжении (прочность на разрыв) и при сжатии (прочность на продавливание). Сопротивление растяжению определялось на вертикальной разрывной машине, сопротивление

¹ Сравнительный анализ технологий получения биотоплива для дизельных двигателей / А.Н. Зауля, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, В.Ф. Федоренко, Д.С. Буклагин, И.Г. Голубев. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. 96 с.

продавливанию – на механическом прессе. Исследовались проницаемость текстурных материалов и их пропускная способность, а также их взаимодействие с биотопливом – метиловым эфиром рапсового масла.

Испытания на прочность и проницаемость проводились на образцах сополимеров резорцина и формальдегида с содержанием полимеробразующих компонентов 20, 30, 40% и стирола с дивинилбензолом при содержании мономеров 25, 40 и 60%.

Микроскопические исследования проводились на микроскопе ADF I350.

Технология изготовления высокопористых полимерных материалов с глобулярной структурой отработана и достаточно проста. Рассмотрим ее на примере резорцинформальдегидного фильтра. Этот материал изготавливают поликонденсацией мономеров в кислой среде при pH от 0,1 до 4. Сначала готовят водные растворы резорцина и формальдегида с концентрацией мономеров 30...60% от общего объема. Растворы мономеров смешивают, добавляют катализатор (соляную кислоту), выдерживают

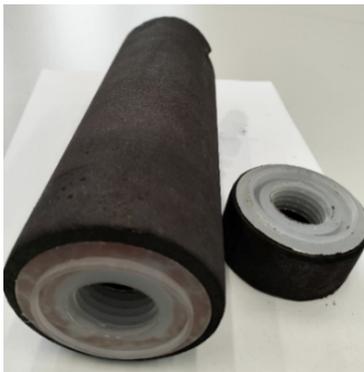
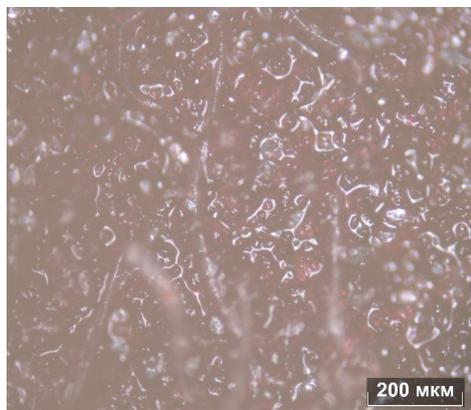
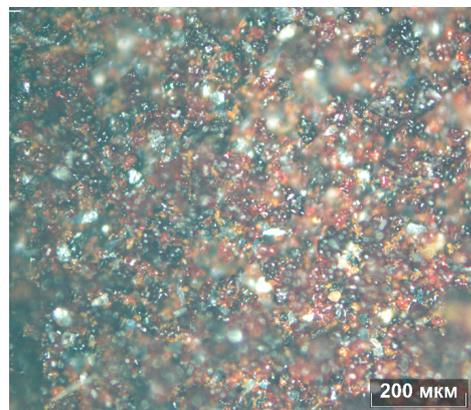


Рис. 1. Фильтроэлемент резорцинформальдегидный

Fig. 1. Resorcinol-formaldehyde filter element



а



б

Рис. 2. Микроснимок среза резорцинового фильтра после фильтрации топлива (а) и после сушки в течение 16 ч при температуре 60°C (б) (100-кратное увеличение)

Fig. 2. Micrography of the resorcinol filter (100x magnification):

a – after filtering the fuel; b – after drying for 16 hours at a temperature of 60°C

при комнатной температуре и разливают по формам, затем осуществляют отверждение в полимеризационной камере при температуре 80...85 °С.

Общий вид резорцинформальдегидного фильтра с подготовленным образцом для микроскопии представлен на рисунке 1.

Результаты и их обсуждение

Абсолютная тонкость фильтрования для всех исследованных образцов полимерных фильтрационных материалов составляет 10 мкм, а полнота очистки биотоплива – 92...95%.

На микроснимке среза фильтра после фильтрации, выполненного с помощью микроскопа ADF I350, хорошо видны следы топлива, которое осталось в порах фильтра (рис. 2а). На снимке среза фильтра после сушки можно рассмотреть структуру полимерных микроглобул, образующих регулярную пространственную структуру (рис. 2б).

Микроскопическими исследованиями определены размеры пор, средний диаметр которых составил 0,1...10 мкм. Большая удельная поверхность, узкий диапазон распределения пор по размерам (+/- 10%) придают этим материалам хорошие механические и эксплуатационные свойства, что позволяет использовать их в качестве фильтрующих перегородок для различных жидкостей.

Текстурные полимеры в виде жестких образцов толщиной 5 мм подвергались испытаниям на разрыв и сжатие. Результаты исследований прочности полимерных материалов представлены в таблице.

У всех образцов полимеров полученные прочностные характеристики соответствуют требованиям, предъявляемым к фильтрующим материалам для очистки топлива. Однако наилучшие показатели прочности наблюдались у образца сополимера

резорцина с формальдегидом, и именно этот материал был выбран для изготовления фильтроэлемента для очистки биотоплива.

Результаты испытаний на прочность и проницаемость образцов высокопористых полимерных материалов с различным содержанием полимерообразующих компонентов представлены на рисунках 3, 4.

Экспериментальные данные показали, что прочность на сжатие текстурных полимерных материалов с пористой структурой увеличивается с повышением концентрации полимерообразующих компонентов (рис. 3), но при этом уменьшается проницаемость материала, что связано с уменьшением пористости образцов (рис. 4).

Таблица

Показатели прочности полимерных материалов

Table

Strength values of polymeric materials

Удельная разрушающая нагрузка, МПа <i>Specific breaking load, MPa</i>	Образцы полимеров / <i>Polymer samples</i>	
	резорцин с формальдегидом <i>resorcinol with formaldehyde</i>	стирол с дивинилбензолом <i>styrene with divinylbenzene</i>
При растяжении / <i>In tension</i>	19	15,5
При сжатии / <i>In compression</i>	6	2,5

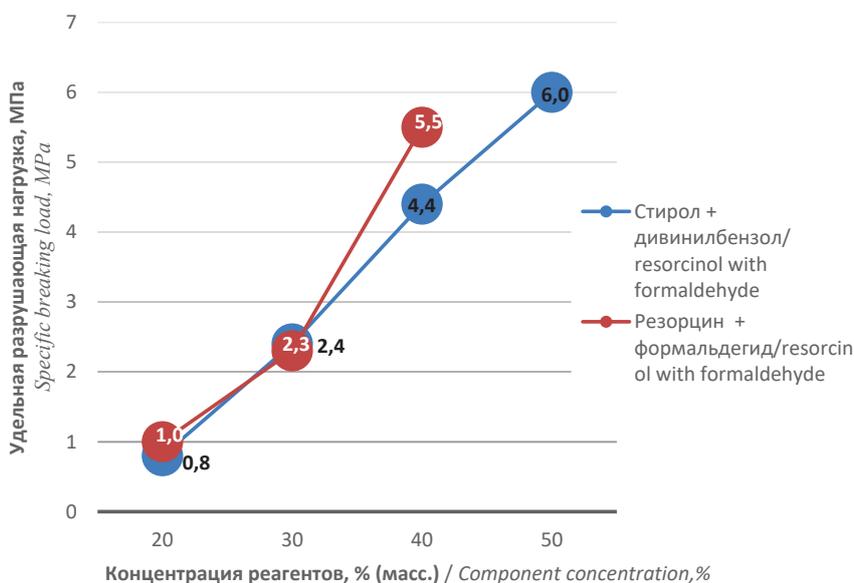


Рис. 3. Зависимость удельной разрушающей нагрузки от концентрации полимерообразующих компонентов

Fig. 3. Relationship between the specific load and the concentration of polymer-forming components

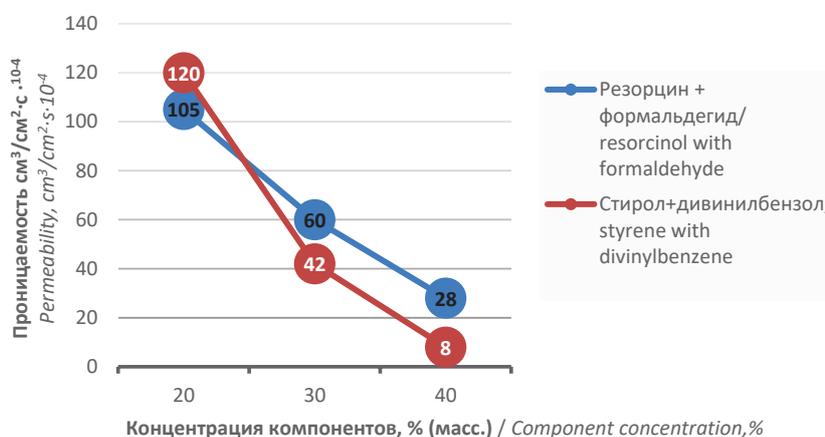


Рис. 4. Зависимость проницаемости от концентрации полимерообразующих компонентов

Fig. 4. Relationship between the permeability and the concentration of polymer-forming components

При взаимодействии образцов резорцинформальдегидного полимерного материала с биодизелем (метиловым эфиром рапсового масла) в течение 14 суток не выявлено изменений в составе полимера. Спектроскопические исследования не выявили изменения и в его составе биотоплива, контактировавшего с образцами полимеров.

Для очистки биотоплива разработан фильтр, в котором одновременно происходят очистка топлива от механических примесей и регенерация фильтрующих перегородок [16, 17]. Проверка эффективности регенерации образцов полимерных фильтров, изготовленных из резорцинформальдегидного полимерного материала, показала, что при противоточной продувке сжатым воздухом или промывке топливом удельная пропускная способность полимерных фильтров восстанавливается на 95...97%.

Полимерный фильтр показал хорошие результаты и может эффективно применяться для очистки биотоплива.

Выводы

1. Текстурные полимерные материалы с пористой структурой, полученные сополимеризацией резорцина с формальдегидом и стирола с дивинилбензолом, пригодны для очистки биотоплив.

2. Исследуемые полимерные материалы инертны к биотопливу. Удельная разрушающая нагрузка образцов материалов при растяжении составила 15,5...19,0 МПа, при сжатии – 2,5...6,0 МПа, толщина фильтрации – 10 мкм, полнота очистки – 92...95%.

3. В разработанном резорцинформальдегидном фильтроэлементе одновременно происходит очистка биотоплива от механических примесей, а также его регенерация с помощью противоточной промывки в выделенном сегменте. Разработанный полимерный фильтр может эффективно работать в течение продолжительного времени без замены и технического обслуживания.

Список источников / References

1. Barsic N., Humke A. Performance and emissions characteristics of a naturally aspirated diesel engine with vegetable oil fuels. *SAE Technical Paper*. 1981:810262. <https://doi.org/10.4271/810262>
2. Goering C.E., Schwab A.W., Daugherty M.J., Pryde E.H., Heakin A.J. Fuel Properties of eleven vegetable oils. *Transactions of the ASAE*. 1982;25(6):1472-1477. <https://doi.org/10.13031/2013.33748>
3. Cigizoglu K.B., Özaktas T., Karaosmanoğlu F. Used sunflower oil as an alternative fuel for diesel engines. *Energy Sources*. 1997;19(6):559-566. <https://doi.org/10.1080/00908319708908872>
4. Wagner L.E., Clark S.J., Schrock M.D. Effects of soybean oil esters on the performance, lubricating oil and water of diesel engine. *SAE Transactions*. 1984;93:57-72. <http://www.jstor.org/stable/44467120>
5. Clark S.J., Wagner L., Schrock M.D. Pienaar, P.G. Methyl and ethyl soybean esters as renewable fuels for diesel engines. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1984;61:1632-1638. <https://doi.org/10.1007/BF02541648>
6. Bose P.K., Beg R.A., Ghosh B.B., Chakrabarti R.K., Saha S.K. Performance and emission characteristics of a naturally aspirated diesel engine with esterified vegetable oil. *SAE Technical Paper Series*. 2001;2001-01-3386. <https://doi.org/10.4271/2001-01-3386>
7. Hamasaki K., Tajima H., Takasaki K., Satohira K., Enomoto M., Egawa H. Utilization of waste vegetable oil methyl ester for diesel fuel. *SAE Transactions*. 2001;110:1499-1504. <http://www.jstor.org/stable/44742751>
8. Park S.H., Kim H.J., Suh H.K., Lee C.S. A study on the fuel injection and atomization characteristics of soybean oil methyl ester (SME). *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2009;30(1):108-116. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2008.11.002>
9. Shaishow S., Singh R.N., Tripathi Satyendra. Biohydrogen from algae: fuel of the future. *International Research Journal of Environment Sciences*. 2013;2(4):44-47.
10. Rosenberg J.N., Oyler A.G., Wilkinson L., Betenbaugh M.J. A green light for engineered algae: redirecting metabolism to fuel a biotechnology revolution. *Current Opinion in Biotechnology*. 2008;19(5):430-436. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.07.008>
11. Lee A.K., Lewis D.M., Ashman P.J. Microbial flocculation, a potentially low-cost harvesting technique for marine microalgae for the production of biodiesel. *Journal of Applied Phycology*. 2009;21:559-567. <https://doi.org/10.1007/s10811-008-9391-8>
12. Улюкина Е.А. Особенности применения биотоплива в сельскохозяйственном производстве // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. № 6 (94). С. 23-27. <https://doi.org/10.34677/1728-7936-2019-6-23-27>
13. Улюкина Е.А. Особенности применения биотоплива в сельскохозяйственном производстве // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019;6(94):23-27. <https://doi.org/10.34677/1728-7936-2019-6-23-27> (In Russ.)
13. Ерохин М.Н., Белов М.И., Мельников О.М. Методика расчета контактного давления манжеты на вал // Вестник машиностроения. 2020. № 11. С. 39-45. EDN: PLAAFT
14. Ерохин М.Н., Белов М.И., Мельников О.М. Method of calculating the contact pressure of the cuff on the shaft. *Vestnik Mashinostroeniya*. 2020;11:39-45. (In Russ.)
14. Коваленко В.П., Улюкина Е.А. Снижение износа деталей топливной аппаратуры дизельных двигателей // Ремонт, восстановление, модернизация. 2012. № 9. С. 12-15. EDN: PCKSZJ
15. Коваленко В.П., Улюкина Е.А. Reducing the wear of fuel equipment parts used in diesel engines. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2012;9:12-15. (In Russ.)
15. Способ получения полимера с пространственно-глобулярной структурой: Пат. RU2470948 C1 / Г.С. Жданов, С.С. Новиков, А.Ю. Сандеров; Бюл. № 36; опубл. 27.12.2012. EDN: ZGORN
15. Zhdanov G.S., Novikov S.S., Sanderov A.Y. Method for producing polymer with a spatially globular structure: Pat. RF 2470948, bul. No. 36, issued on December 27, 2012. (In Russ.)
16. Коваленко В.П., Улюкина Е.А., Гусев С.С. Удаление загрязнений из нефтепродуктов самоочищающимся фильтром // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2013. № 3 (59). С. 35-37. EDN: TEFXLR
16. Коваленко В.П., Улюкина Е.А., Гусев С.С. Decontamination of oil self-cleaning filter. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2013;3:35-37. (In Russ.)

17. Самоочищающийся фильтр: Пат. RU205889 U1 / А.А. Андреев, Е.А. Улюкина, С.С. Гусев, А.С. Апатенко; Бюл. № 23, опубл. 11.08.2021. EDN: PKSHQU

Информация об авторах

Елена Анатольевна Улюкина^{1,2}, д-р техн. наук, профессор кафедры «Материаловедение и технология машиностроения»; eulykina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3048-6836>; Scopus ID57218137673

Олег Петрович Андреев², канд. техн. наук, доцент кафедры «Тракторы и автомобили»; aopmsau@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0738-302X>; Scopus ID57224412292

Сергей Сергеевич Гусев³, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис машин и оборудования»; gusev.s@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3619-6848>; Scopus ID58399738100

Александр Александрович Андреев⁴, аспирант кафедры «Технический сервис машин и оборудования»; ato215@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0006-8715-2286>

Алексей Владимирович Меликов⁵, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина»; melikov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2790-2146>; Scopus ID57188849547
^{1,2,3,4,5} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

Е.А. Улюкина – концептуализация, проведение экспериментов;
О.П. Андреев – организация экспериментов;
С.С. Гусев – обработка результатов, анализ, отчет;
А.А. Андреев – формирование выводов, описание результатов;
А.В. Меликов – оформление статьи, перевод на английский язык.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 04.06.2024; поступила после рецензирования и доработки 04.09.2024; принята к публикации 04.09.2024

Andreev A.A., Ulyukina E.A., Gusev S.S. Self-cleaning filter: Pat. RF No. 205889, Apatenko A.S. Bul. No. 23, issued on August 11, 2021. (In Russ.).

Author Information

Elena A. Ulyukina^{1,2}, DSc (Eng), Professor, eulykina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3048-6836>; Scopus ID57218137673

Oleg P. Andreev², CSc (Eng), Associate Professor; aopmsau@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0738-302X>

Sergey S. Gusev³, CSc (Eng), Associate Professor; gusev.s@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3619-6848>

Aleksandr A. Andreev⁴, postgraduate student; ato215@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0006-8715-2286>

Aleksei V. Melikov⁵, CSc (Eng), Associate Professor; melikov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2790-2146>
^{1,2,3,4,5} Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Author Contribution

E.A. Ulyukina – conceptualization, investigation;
O.P. Andreev – investigation;
S.S. Gusev – processing of results, analysis, report;
A.A. Andreev – conclusions, description of results;
A.V. Melikov – writing – original draft preparation, review and editing.

Conflict of interests

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

Received 04.06.2024; Revised 04.09.2024; Accepted 04.09.2024.

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.3

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-77-85>



Удельные показатели надежности электрических сетей 0,4 кВ

*А.В. Виноградова*¹, *А.В. Виноградов*^{2✉}, *А.В. Букреев*³

^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

¹ alinawin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8935-7086>

² winaleksandr@gmail.com[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

³ skiffdark@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>

Аннотация. Надежность электроснабжения определяет работу электрических сетей. В результате анализа источников литературы выявлено, что удельные показатели надежности, необходимые при планировании и оценке эффективности работ по энергосбережению, недостаточно исследованы. Поэтому целью работы являлось исследование удельных показателей надежности электрических сетей 0,4 кВ – таких, как поток отказов, поток преднамеренных отключений, удельные значения отключенной мощности и недоотпуск электроэнергии. Проведен анализ журналов отключений сельских электрических сетей 0,4 кВ в Орловской области за период 2018-2023 гг. и получены статистические данные по аварийным и плановым отключениям. Исследовано 12787 воздушных линий электропередачи общей протяженностью более 10 тыс. км. В результате анализа выявлены значения удельных показателей надежности и тенденции их изменения в течение 6 лет. Проанализированы вероятные причины изменений показателей. Выявлено, что значения параметра потока отказов не превышают справочные значения до 2022 г. включительно, а в 2023 г. превышают в 1,2 раза. В 2022-2023 гг. произошел значительный рост числа аварийных и преднамеренных (плановых) отключений: в 2023 г. поток отказов на 100 км линий 0,4 кВ составил 29/год¹, а преднамеренных – 71/год¹. Значения удельной отключенной мощности на одно отключение в 2023 г. сократились в 17,5 раза по отношению к 2018 г., среднее значение на одно отключение составляет 0,0009 МВт. Удельное значение недоотпуска электроэнергии на одного потребителя в год по аварийным отключениям составило 1,0...5,7 МВт·ч/потр., по плановым – 3,0...8,1 МВт·ч/потр. Удельные показатели надежности позволяют оценить эффективность распределительных сетей 0,4 кВ в конкретном регионе и могут применяться при оценке эффекта от внедрения мероприятий по повышению надежности электроснабжения.

Ключевые слова: удельные показатели надежности, показатели надежности электрических сетей 0,4 кВ, статистические данные, отключения, плановое отключение, аварийное отключение, длительность перерывов электроснабжения, отключенная мощность, недоотпуск электроэнергии

Для цитирования: Виноградова А.В., Виноградов А.В., Букреев А.В. Удельные показатели надежности электрических сетей 0,4 кВ // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 77-85. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-77-85>

ORIGINAL ARTICLE

Study of specific reliability indicators of 0.4 kV power networks

A. V. Vinogradova¹, A. V. Vinogradov², A. V. Bukreev³^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ alinawin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8935-7086>² winaleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>³ skiffdark@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>

Abstract. The reliability of power supply determines the operation of power networks. The literature review revealed that insufficient attention is paid to the research of specific reliability indices necessary for planning and evaluation of energy saving efficiency. Therefore, the purpose of the work is to study the specific reliability indicators of 0.4 kV power networks. Among the analyzed indicators, we consider the flow of failures, the flow of intentional outages, specific values of disconnected power and undersupply of electricity, and others. The authors analyzed statistical data on emergency and planned outages of 0.4 kV power networks in the Orel region over the period 2018-2023. In total, 12,787 overhead power lines with a total length of more than 10 thousand km were examined. Based on the analysis, the authors identified the values of specific reliability indicators and trends in their changes over 6 years and analyzed probable reasons for these changes. It was revealed that the values of the failure flow parameter do not exceed the reference values until 2022 inclusive, and in 2023, they exceed the reference values in 1.2 times. In 2022-2023, there was a significant increase in the number of both emergency and intentional (planned) outages; the flow of failures per 100 kilometers of 0.4 kV lines in 2023 was 29 year⁻¹, and intentional – 71 year⁻¹. The values of specific disconnected power per outage decreased in 17.5 times in 2023 as compared to 2018, the average value per outage is 0.0009 MW. The specific value of undersupply of electricity per consumer per year is in the range between 1 and 5.7 MWh/consumer for emergency shutdowns, and 3 to 8.1 MWh/consumption, according to the new plan. Specific reliability indices allow assessing the efficiency of 0.4 kV distribution networks in a particular region and can be used in assessing the effect of implementing measures to improve the reliability of power supply.

Keywords: specific reliability indicators, reliability indicators of 0.4 kV power networks, statistical data, outages, planned outage, emergency outage, duration of power supply interruptions, cut-off power, undersupply of electric power

For citation: Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Bukreev A.V. Study of specific reliability indicators of 0.4 kV power networks. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(6):77-85. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-77-85>

Введение

Удельные показатели применяются в энергетике при планировании и оценке эффективности работ по энергосбережению, проведении энергетических обследований (энергетического аудита) потребителей энергоресурсов, формировании статистической отчетности по эффективности энергоиспользования, при проведении оценки экономичности работы энергетического оборудования.

Используя удельные показатели, можно выявить проблемные области и приоритетные направления развития в электрических сетях, оценить эффективность деятельности и прогнозировать изменения, выявить причины отклонений от плановых показателей и принять меры. Удельные показатели позволяют упростить процесс расчетов эффективности внедрения нового оборудования, организационных и технических мероприятий.

Показатели надежности электроснабжения сельских потребителей – такие, как количество отказов и плановых отключений, время восстановления и время плановых перерывов, суммарное время перерывов в электроснабжении, для каждого региона индивидуальны, так как связаны с особенностями структуры электрических сетей и природно-климатическими факторами.

Подробным анализом электрических сетей 0,4 кВ занимаются немногие исследователи, хотя сети данного класса напряжения имеют значительную протяженность и влияют на показатели надежности электроснабжения потребителей [1, 2].

Большинство работ как отечественных, так и зарубежных авторов, посвящено анализу аварийных отключений. Исследуются причины аварийных отключений в разных регионах и странах, величины недоотпуска электроэнергии с учетом времени года.

Отмечается, что большинство отключений происходит в сетях потребителей, а основными причинами являются разрушение элементов конструкции ЛЭП и климатические условия [3]. Выполняется анализ причин отказов электрического оборудования распределительных сетей 0,38...10 кВ [4, 5]. Для повышения надежности предлагаются различные технические решения [6].

В работе [7] представлены результаты анализа официальных статистических данных по количеству аварийных и плановых отключений в филиалах ПАО «Россети Центр» и «Россети Центр и Приволжье», который выявил отклонения показателей надежности электрооборудования энергосистем и электрических сетей от представленных в РД 34.20.574 и отсутствие в нормативных документах значений среднего времени простоя при преднамеренных отключениях воздушных линий электропередачи 0,4 кВ и 6-10 кВ.

Сравнительный анализ структуры сетей и особенностей повреждений их элементов, а также статистические данные по показателям надежности сетей и рекомендации по повышению надежности изложены в работе [8].

В ряде работ рассматриваются вопросы использования интеллектуальной автоматизации [9], новые методы прогнозирования катастрофических отказов линий [10], разрабатываются алгоритмы решения задачи комплексной оценки надежности электрооборудования и качества электроэнергии в сельских распределительных сетях с учетом плановых отключений [11]. Выполняется сравнение подходов различных стран к нормированию надежности распределительных сетей [12]. Обсуждаются подходы к реконструкции сетевых объектов на основе анализа их надежности [13].

Проводятся исследования показателей эксплуатационной надежности на основе статистических данных об отключениях, которые подтверждают целесообразность проведения расчетов непосредственно для каждого отдельно взятого района электрических сетей [14]. Однако в рассмотренных публикациях, а также в других исследованиях не представлены данные о таких удельных показателях надежности, как удельный недоотпуск электроэнергии при отключениях в сетях 0,4 кВ, удельная отключенная мощность на одно отключение и одного потребителя, которые могли бы быть использованы при проектировании и проведении анализа эффективности работы электрических сетей.

Цель исследований: анализ удельных показателей надежности электрических сетей 0,4 кВ.

Материалы и методы

В ходе исследований использовали статистические данные о количестве аварийных и плановых отключений, длительности перерывов электроснабжения и суммарно-отключенной мощности в сельских электрических сетях 0,4 кВ Орловской области за период 2018-2023 гг. Общая протяженность сетей составила более 10 тыс. км. Использовали дескриптивные (в частности, получение удельных значений показателей) и диагностические (в частности, выявление причин изменений в показателях в разные годы) методы анализа. Метод исследований включал в себя анализ журналов отключений по исследуемым сетям с целью сбора статистических данных, расчет удельных показателей, анализ полученных результатов.

Результаты и их обсуждение

Общие сведения о плановых и аварийных отключениях в рассматриваемых сетях 0,4 кВ за период 2018-2023 гг. по итогам изучения журналов отключений представлены в таблице 1. Показано количество отключений линий электропередачи (ЛЭП) 0,4 кВ по видам: аварийные и преднамеренные (плановые). Всего было исследовано 12787 воздушных линий электропередачи общей протяженностью 10829,2 км.

Количество отключенных потребителей принималось по количеству точек присоединения (жилые дома, производственные объекты и т.п.). Журналы отключений позволяют также оценить количество отключенных населенных пунктов и количество людей, проживающих в этих поселениях.

Суммарно отключенная мощность определялась на основе фактических замеров мощности в режимные дни на отходящих от трансформаторных подстанций линиях. При отключении конкретной линии, или ТП, замеренная в режимный день мощность принималась в качестве отключенной. Оснащение всех ТП 10/0,4 кВ средствами технического учета в перспективе обеспечит возможность учета суммарно-отключенной мощности по фактическим данным на момент отключения. В настоящее время в рассматриваемой компании таким учетом оснащено не более 7...10% ТП.

Недоотпуск электроэнергии определялся исходя из отключенной мощности и продолжительности перерыва в электроснабжении.

Из приведенных в таблице 1 данных следует, что увеличение количества отключений происходит постепенно, и пик отключений приходится на 2023 г. Также происходит увеличение количества плановых и аварийных отключений и суммарной длительности

Таблица 1

Общие показатели

Table 1

General indicators

Причина отключений <i>Cause of outage</i>	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее за 2018-2023 гг. <i>Average for 2018-2023</i>
Количество отключений в год / Number of outages per year							
По причине аварийных отключений <i>Due to emergency outages:</i>							
ч / hours	903	760	682	882	2308	3147	1447
% к общему числу / % of total number	38	36	45	39	54	29	40
По причине плановых отключений <i>Due to planned outages:</i>							
ч / hours	1500	1349	833	1381	1963	7719	2457,5
% к общему числу / % of total number	62	64	55	61	46	71	60
Всего, ед. / Total, units	2403	2109	1515	2263	4271	10866	3904
Суммарная длительность перерывов в электроснабжении / Total duration of power supply interruptions							
По причине аварийных отключений, ч, <i>Due to emergency outages, hours,</i>	2098,07	1071,25	1040,17	1530,45	3636,5	3960,85	2222,88
% к общему числу / % of total number	30	18	29	25	33	35	28
По причине плановых отключений, ч, <i>Due to planned outages, hours,</i>	4905,48	4759,73	2510,92	4703,25	7411,65	7353,35	5274
% к общему числу / % of total number	70	82	71	75	67	65	72
Всего, ч / Total, hours	7003,55	5830,99	3551,08	6233,7	11048,15	11314,2	7496,88
Суммарно-отключенная мощность за год, МВт / Total cut-off power for the year, MW							
По причине аварийных отключений <i>Due to emergency outages</i>	42,4	15,8	13,5	30,0	22,9	13,7	23
По причине плановых отключений <i>Due to planned outages</i>	118,1	111,2	80,7	55,8	52,5	25,9	74
Всего / Total	160,5	127	94,2	85,8	75,4	39,6	97
Количество отключенных потребителей, ед. / Number of cut-off consumers, units							
По причине аварийных отключений <i>Due to emergency outages</i>	15740	13917	10742	17677	34682	35720	21413
По причине преднамеренных отключений <i>Due to deliberate outages</i>	180364	109327	72779	54325	47711	45446	84992
Всего / Total	196104	123244	83521	72002	82393	81166	106405
Суммарный недоотпуск электроэнергии, МВт·ч / Total power undersupply, MW·h							
По причине аварийных отключений <i>Due to emergency outages</i>	88958,2	16925,75	14042,3	45913,5	83275,85	54263,6	51126,24
По причине плановых отключений <i>Due to planned outages</i>	579337,2	529282	202631,2	262441,3	389111,6	190451,8	390276
Всего / Total	668295,4	546207,75	216673,5	308354,8	472387,45	244715,4	441402,24

перерывов в электроснабжении. При этом наблюдается снижение суммарно-отключенной мощности.

Заметна явная тенденция снижения числа плановых отключений к 2020 г., а затем наблюдаются плавный рост их количества до 2022 г. и резкое увеличение в 2023 г. Это связано отчасти с периодом самоизоляции в 2020 г. ввиду COVID-19, и по этой же причине – со сложностью планирования ремонтов на 2021 г. При этом в 2023 г. резко возросло количество плановых ремонтов по причине вынужденных мер сдерживания в предыдущие годы.

Помимо устаревания оборудования и сложности с планированием и организацией ремонтов, на количество аварийных отключений повлияло изменение в порядке учета данных по отказам. Так, до 2020 г. включительно не все срабатывания средств релейной защиты и автоматики (РЗА), приведшие к отключениям, фиксировались в журналах отключений. Абсолютно все отключения стали фиксировать, начиная с 2021 г. В 2023 г. количество плановых отключений выросло почти в 2,5 раза по отношению к 2022 г., что связано с превентивными мерами по сдерживанию количества аварийных отключений. В качестве одной из таких мер была предпринята вырубка охранной зоны вдоль трасс линий электропередачи. Необходимость данных мер связана с возросшим числом аварийных отключений в 2023 г. (на 23% по отношению к 2022 г.) ввиду плохих погодных условий, приведших к обрывам проводов, падению деревьев на ЛЭП и к другим негативным последствиям.

Для потребителей электроэнергии надежность электроснабжения определяется длительностью и частотой перерывов подачи энергии. Плановые (преднамеренные) отключения так же, как и аварийные, связаны с перерывами электроснабжения, поэтому длительность плановых отключений служит одним из показателей надежности. Отметим, что преднамеренные отключения не в полной мере можно назвать плановыми, так как часть из них выполняется не по предварительному плану отключений, а экстренно, в связи с аварийными отключениями другого оборудования или по иным причинам.

Для сельских распределительных сетей можно выделить следующие удельные показатели надежности:

- удельная отключенная мощность на одно отключение (суммарно-отключенная мощность/количество отключений за год);
- удельная отключенная мощность на одного потребителя (суммарно-отключенная мощность/количество отключенных потребителей за год);
- удельное время перерыва в электроснабжении (суммарная длительность перерывов в электроснабжении/количество отключений за год);

- удельное время отключения (суммарное время отключений/количество отключений за год);

- удельный недоотпуск электроэнергии на одно отключение (суммарный недоотпуск электроэнергии/количество отключений за год);

- удельный недоотпуск электроэнергии на одного потребителя (суммарный недоотпуск электроэнергии/количество отключенных потребителей за год).

Данные по расчетам перечисленных показателей сведены в таблицу 2.

В дальнейших работах планируется на конкретных примерах аргументировать указанный выше перечень удельных показателей и, возможно, расширить его.

Отметим, что существуют документы, регламентирующие определение ряда показателей ущерба от недоотпуска электроэнергии, регулирующих взаимоотношения потребителей и энергоснабжающей организации. Так, «Методика оценки ущерба сельскохозяйственных предприятий от перерывов электроснабжения» позволяет более детально оценивать ущерб для сельских потребителей с учетом технологической, технической и системной составляющих. Однако она требует детального анализа конкретных объектов, состава их электроприемников. На практике же часто требуется выполнение укрупненных оценок возможного ущерба на основе знания объема недоотпущенной электроэнергии для групп потребителей. С применением «Методики...» это сделать затруднительно.

«Рекомендации по применению скидок (надбавок) к тарифу на электрическую энергию за надежность электроснабжения сельскохозяйственных потребителей и установления штрафов за внезапные отключения сельскохозяйственных потребителей» (РД 34.20.582-90) предназначены для регулирования тарифа на электроэнергию в зависимости от надежности электроснабжения и предполагают внесение ряда условий в договор между сельхозпотребителем и энергоснабжающей организацией, что также требует конкретизации электроснабжаемого объекта. Рассмотренные же в таблице 2 удельные показатели предназначены для проведения оценки надежности в целом по электрическим сетям и не содержат сведений о возможном ущербе, поскольку он отличается для каждого вида потребителя. Это скорее оценка системы электроснабжения в целом по районам или регионам.

Рассмотрим предлагаемые выше удельные показатели более подробно.

При распределении по годам потоков отказов (аварийных отключений) и преднамеренных

Таблица 2

Расчетные удельные показатели надежности

Table 2

Estimated specific reliability indices

Причина отключений <i>Cause of outage</i>	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее за 2018-2023 гг. <i>Average for 2018-2023</i>
Поток отключений на 100 км, год⁻¹ / <i>Flow of outages per 100 km, year⁻¹</i>							
По причине аварийного отключения <i>Due to emergency outage</i>	8,34	7,02	6,30	8,14	21,30	29,06	13,36
По причине преднамеренного отключения <i>Due to deliberate outage</i>	13,85	12,46	7,70	12,75	18,13	71,28	22,70
По всем причинам / For all reasons	22,19	19,48	14,00	20,89	39,43	100,34	36,06
Удельная отключенная мощность на одно отключение, МВт / <i>Specific cut-off power per one outage, MW</i>							
На одно аварийное отключение <i>Per one emergency outage</i>	0,05	0,02	0,02	0,03	0,01	0,004	0,02
На одно плановое отключение <i>Per one planned outage</i>	0,08	0,08	0,10	0,04	0,03	0,003	0,05
По всем причинам / For all reasons	0,07	0,06	0,06	0,04	0,02	0,004	0,04
Удельная отключенная мощность на одного потребителя, МВт / <i>Specific cut-off power per one consumer, MW</i>							
При аварийном отключении <i>In case of emergency outage</i>	0,003	0,001	0,001	0,002	0,0007	0,0004	0,001
При плановом отключении <i>In case of planned outage</i>	0,0006	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0006	0,0009
По всем причинам / For all reasons	0,0008	0,001	0,001	0,001	0,0009	0,0005	0,0009
Удельное время перерыва в электроснабжении на одно отключение, ч / <i>Specific time of power supply interruption per one outage, hours</i>							
По причине аварийных отключений <i>Due to emergency outages</i>	2,3	1,4	1,5	1,7	1,6	1,3	1,6
По причине плановых отключений <i>Due to planned outages</i>	3,3	3,5	3,0	3,4	3,8	0,9	3,0
По всем причинам / For all reasons	2,9	2,8	2,3	2,7	2,6	1,0	2,4
Удельное время отключений (на одно отключение), ч / <i>Specific time of power outages (per one outage), hours</i>							
При аварийном отключении <i>In case of emergency outage</i>	2,3	1,4	1,5	1,7	1,6	1,3	1,6
При плановом отключении <i>In case of planned outage</i>	3,3	3,5	3,0	3,4	3,8	1,7	3,1
По всем причинам / For all reasons	2,9	2,8	2,3	2,8	2,6	1,6	2,5
Удельный недоотпуск электроэнергии (на одно отключение), МВт·ч / <i>Specific power shortage (per one outage), MWh</i>							
При аварийных отключениях <i>In case of emergency outages</i>	98,5	22,3	20,6	52	36,1	17,2	41,1
При плановых отключениях <i>In case of planned outages</i>	386,2	392,4	243,3	190	198,2	24,7	239,1
По всем причинам / For all reasons	467,7	351	220,9	236,4	195	41	252
Удельный недоотпуск электроэнергии на одного потребителя, МВт·ч / <i>Specific undersupply of electric power per 1 consumer, MWh</i>							
При аварийных отключениях <i>In case of emergency outages</i>	5,6	1,2	1,3	2,6	2,4	1,5	2,4
При плановых отключениях <i>In case of planned outages</i>	3,2	4,8	2,8	4,8	8,2	4,2	4,7
По всем причинам / For all reasons	5,7	6,0	4,0	7,4	10,1	5,5	6,5

отключений, а также потока отключений по всем причинам просматривается тенденция увеличения значений с 2021 г. При этом поток преднамеренных отключений выше потока аварийных по всем годам, за исключением 2022 г. Нормированное значение параметра потока отказов, в соответствии с РД 34.20.574, составляет 25/год¹. До 2022 г. включительно это значение не превышает, а в 2023 г. возросло в 1,2 раза.

Среднее значение удельной отключенной мощности на одно отключение в 2023 г. уменьшилось в 17,5 раза по отношению к 2018 г., что, вероятно, связано с применением дизельных генераторов на время устранения отключений и ремонта, а также с изменением порядка учета отключений в 2022 г. При аварийных отключениях максимальные значения удельной отключенной мощности достигаются в 2018 г., а минимальные – в 2023 г. Удельная отключенная мощность при плановых отключениях имеет более неровный характер. Наблюдаются ее рост до 2020 г. и резкое снижение в период 2021-2023 гг.

Среднее значение удельной отключенной мощности на одного отключенного потребителя снижается начиная с 2021 г. При этом в 2018 и 2021 гг. наблюдается резкое увеличение удельной отключенной мощности при аварийных отключениях, что связано с аварийными отключениями мощных потребителей в этот период.

Среднее значение показателя удельной отключенной мощности на одного отключенного потребителя по всем видам отключений за все годы наблюдений составляет 0,0009 МВт/потр., по аварийным отключениям – 0,001 МВт/потр., по плановым – 0,0009 МВт/потр.

Удельное время перерыва в электроснабжении в течение времени наблюдений имеет относительно равномерное распределение с небольшим снижением в 2020 г. и резким снижением (почти в 2 раза) в 2023 г. При этом удельное время перерыва в электроснабжении при преднамеренных отключениях в течение всех лет, за исключением 2023 г., выше, чем при аварийных, примерно в 2 раза. В 2023 г. данный показатель при аварийных отключениях был выше в 1,4 раза. Причина этого неочевидна и, возможно, связана с ростом числа случаев использования средств местного резервирования питания потребителей при преднамеренных отключениях.

Показатель «Удельное время отключений» близок по своему значению к показателю «Удельное время перерыва в электроснабжении». Его отличие заключается в том, что при составлении отчетности время отключений не учитывает случаи, когда отключение по той или иной причине не привело к перерыву

в электроснабжении потребителей. Такая ситуация может быть, например, если потребитель запитан по первой категории надежности электроснабжения, то есть время отключений учитывает время отключенного состояния элемента сети (например, ЛЭП), а время перерывов в электроснабжении – именно время перерывов в электроснабжении потребителей вследствие отключений. Ввиду того, что сети 0,4 кВ в сельской местности, как правило, не имеют возможности резервирования, а потребители в большинстве своем имеют третью категорию надежности, отличия времени перерывов в электроснабжении и времени отключений минимальны. В 2023 г. удельное время преднамеренных отключений превысило удельное время аварийных отключений в отличие от ситуации с удельными показателями времени перерывов в электроснабжении.

Удельный недоотпуск электроэнергии на одно отключение в период 2018-2023 гг. снижается по всем видам отключений, и особенно – по плановым отключениям. Резкое снижение показателя в 2023 г. связано с большим ростом числа отключений в этом году при снижении суммарного недоотпуска электроэнергии. Не был нанесен ущерб для потребителей с большой мощностью. Отключались в большинстве своем коммунально-бытовые потребители. Это в определенной мере связано с резервированием потребителей при отключениях и с изменением порядка отчетности. Резервирование электроснабжения, особенно крупных потребителей, способно привести к сокращению удельного недоотпуска электроэнергии.

Удельный недоотпуск электроэнергии при плановых и аварийных отключениях на одного потребителя изменяется по годам в меньшей степени по сравнению с удельным недоотпуском на одно отключение и находится в пределах 1...5,7 МВт·ч/потр. по аварийным отключениям, 3...8,1 МВт·ч/потр. – по плановым. Это достаточно большое значение с учетом того, что большинство сельских потребителей – коммунально-бытовые, имеющие небольшую мощность (от 2 до 15 кВт), и 3 МВт·ч может составлять их годовое потребление. В то же время отключаются и производственные потребители, которые потребляют в годкратно большие объемы электроэнергии, то есть указанное значение применимо к смешанной сельскохозяйственной нагрузке.

Выводы

1. Удельные показатели надежности позволяют оценить эффективность сельских распределительных сетей и могут применяться при оценке эффекта от внедрения мероприятий по повышению надежности электроснабжения.

2. Надежность сельских электрических сетей 0,4 кВ характеризуется следующими удельными показателями: удельная отключенная мощность на одно отключение; удельная отключенная мощность на одного потребителя; удельное время перерыва в электроснабжении; удельное время отключения; удельный недоотпуск электроэнергии на одно отключение; удельный недоотпуск электроэнергии на одного потребителя.

2. В Орловской области за 2018-2023 гг. значения удельной отключенной мощности на одного потребителя составили 0,0009 МВт, на одно отключение – 0,04 МВт. Удельный недоотпуск электроэнергии на одно отключение составил 252 МВт·ч,

на одного потребителя в год – 6,5 МВт·ч; удельное время перерыва в электроснабжении составило 2,4 ч, а удельное время отключения – 2,5 ч.

3. Внедрение средств секционирования сетей 0,4 кВ позволит сократить удельные показатели недоотпуска и количество отключенных потребителей за счет сокращения числа отключенных потребителей и суммарно отключенной мощности. Оценка количества секционированных линий позволит рассчитать скорректированные удельные показатели.

4. В дальнейших работах планируется определить удельные показатели для различных регионов страны для выявления наилучших и наихудших показателей и анализа причин их появления.

Список источников

1. Добрусин Л.А. Повышение энергоэффективности электросетевого комплекса России // Энергосбережение. 2013. № 7. С. 54-61. EDN: THEQNZ
2. Виноградов А.В., Лансберг А.А., Виноградова А.В. Анализ конфигурации электрических сетей 0,4 кВ Орловской области // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70, № 4 (53). С. 22-29. EDN: LHIRSK
3. Наумов И.В., Полковская М.Н. Анализ работы электрических сетей Облкоммунэнерго Иркутской области в 2019 году // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (199). С. 118-126. EDN: NUWCDT
4. Васильева Т.Н., Лопатин Е.И. Анализ причин отказов электрического оборудования распределительных сетей 0,38...10 кВ // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2011. № 3 (11). С. 64-66. EDN: OFSKQV
5. Сбитнев Е.А., Жужин М.С. Анализ аварийности сельских электрических сетей 0,38 кВ нижегородской энергосистемы // Вестник НГИЭИ. 2020. № 11 (114). С. 36-47. EDN: KEJHDX
6. Бандурин И., Садченкова О. Повышение надежности электроснабжения распределительных сетей сельскохозяйственного назначения // Электроэнергия. Передача и распределение. 2015. № 5 (32). С. 46-52. EDN: VOSCOF
7. Виноградов А.В., Лансберг А.А., Виноградова А.В. Определение современных показателей надежности воздушных линий электропередачи 0,4-110 кВ // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 1. С. 77-85. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-77-85>
8. Виноградов А.В., Лансберг А.А., Виноградова А.В. Анализ конфигурации электрических сетей 0,4 кВ Орловской области // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70, № 4 (53). С. 22-29. EDN: LHIRSK
9. Böhm R., Rehtanz Ch., Franke J. Strategy for implementing black start and islanded operation capabilities on distribution system level. *Energy Systems Research*. 2018;1(1):9-20. <https://doi.org/10.25729/esr.2018.01.0001>
10. Санакулов А.Х., Галиуллин Л.А. Повышение надежности электроснабжения животноводческих комплексов и птицефабрик с учетом современных условий // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2016. № 4 (71). С. 51-66. EDN: XSCTFH
11. Ковалев Г.Ф., Чернов Д.В. Методика комплексной оценки надежности электроснабжения и качества электроэнергии в сельских распределительных сетях // Известия

References

1. Dobrusin L.A. Increasing the energy efficiency of the Russian integrated power grid. *Energoberezhnie*. 2013;7:54-61. (In Russ.)
2. Vinogradov A.V., Lansberg A.A., Vinogradova A.V. Analysis of the configuration of 0.4 kV electrical grids of the Orel region. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2023;70(4):22-29. (In Russ.)
3. Naumov I.V., Polkovskaya M.N. The analysis of the operation of electric networks of the Oblkommunenergo of the Irkutsk Region in 2019. *Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2021;5:118-126. (In Russ.)
4. Vasileva T.N., Lopatin E.I. The analysis of causes of failures of the electric equipment of distributive networks 0.38...10 kV. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2011;3:64-66. (In Russ.)
5. Sbitnev E.A., Zhuzhin M.S. Accident rate analysis of rural electric networks 0.38 kV of the Nizhny Novgorod power system. *Vestnik NGIEI*. 2020;11:36-47. (In Russ.)
6. Bandurin I., Sadchenkova O. Increasing the reliability of power supply to agricultural distribution networks. *Electric Power: Transmission and Distribution*. 2015;5:46-52. (In Russ.)
7. Vinogradov A.V., Lansberg A.A., Vinogradova A.V. Determination of modern reliability indicators of overhead power transmission lines of voltage classes 0.4-110 kV. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(1):77-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-77-85>
8. Vinogradov A.V., Lansberg A.A., Vinogradova A.V. Analysis of the configuration of 0.4 kV electrical grids of the Orel region. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2023;70(4):22-29. (In Russ.)
9. Böhm R., Rehtanz Ch., Franke J. Strategy for implementing black start and islanded operation capabilities on distribution system level. *Energy Systems Research*. 2018;1(1):9-20. <https://doi.org/10.25729/esr.2018.01.0001>
10. Sanakulov A.Kh., Galiullin L.A. Improve power supply reliability of livestock complexes and poultry factories to meet modern conditions. *Sotsialno-Ekonomicheskie i Tekhnicheskie Sistemy: Issledovanie, Proyektirovanie, Optimizatsiya*. 2016;4:51-66. (In Russ.)
11. Kovalev G.F., Chernov D.V. A technique for integrated assessment of power supply reliability and power quality in rural distribution networks. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*. 2009;5:104-114. (In Russ.)
12. Gvozdev D.B., Gabdushev D.M., Goyenko R. Yu., Klimkina D.I., Buyankov D.A., Vanin A.S. Analysis of domestic and foreign practices of distribution network reliability specification.

Российской академии наук. Энергетика. 2009. № 5. С. 104-114. EDN: KVAУУР

12. Гвоздев Д.Б., Габдушев Д.М., Гоенко Р.Ю., Климкина Д.И., Буянков Д.А., Ванин А.С. Анализ отечественного и зарубежного опыта нормирования надежности распределительных сетей // Электроэнергия. Передача и распределение. 2023. № 5 (80). С. 26-33. EDN: LDLHUM

13. Кадыркулов С.С., Жусубалиев Б.К., Кайдиев Н.К. Об основных задачах повышения надежности и эффективности работы распределительных электрических сетей // Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики. 2014. № 1. С. 10-12. EDN: XCNHAJ

14. Исупова А.М., Хорольский В.Я., Мастепаненко М.А., Епифанов А.П. Оценка эксплуатационной надежности сельских электрических сетей по статистическим данным об отключениях // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023. № 5 (74). С. 121-139. EDN: BWOMOY

Информация об авторах

Алина Васильевна Виноградова¹, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; alinawin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8935-7086>

Александр Владимирович Виноградов², д-р техн. наук, доцент; winaleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

Алексей Валерьевич Букреев³, канд. техн. наук, старший научный сотрудник; skiffdark@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>

^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5.

Вклад авторов

А.В. Виноградов – постановка задачи, формулирование основной концепции, анализ и доработка текста.

А.В. Виноградова – подготовка и первичный анализ литературных данных, подготовка и обработка статистических данных, описание результатов, участие в подготовке начального варианта текста.

А.В. Букреев – участие в подготовке и анализе литературных данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 26.05.2024; поступила после рецензирования и доработки 14.06.2024; принята к публикации 16.06.2024

Electric Power. Transmission and Distribution. 2023;5:26-33. (In Russ.).

13. Kadyrkulov S.S., Zhsubaliev B.K., Kaiduev N.K. On the main tasks of increasing the reliability and efficiency of electrical distribution networks. *Izvestiya Natsionalnoy Akademii Nauk Kyrgyzskoy Respubliki.* 2014;1:10-12. (In Russ.).

14. Isupova A.M., Khorolskiy V.Ya., Mastepanenko M.A., Epifanov A.P. Assessment of operational reliability of rural electric networks by statistical data on outages. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University.* 2023;5:121-139. (In Russ.).

Author Information

Alina V. Vinogradova¹, CSc (Eng), Lead Research Engineer; alinawin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8935-7086>

Alexandr V. Vinogradov², DSc (Eng), Associate Professor; winaleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

Alexey V. Bukreev³, CSc (Eng), Research Engineer; skiffdark@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>

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

Author Contribution

A.V. Vinogradov – problem statement, conceptualization, analysis; writing – finalizing (revising and editing) of the manuscript.

A.V. Vinogradova – literature review and analysis, preparation and processing of statistical data, description of results, writing – original draft preparation

A.V. Bukreev – writing – original draft preparation, literature review and analysis

Conflict of interests

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

Received 26.05.2024; Revised 14.06.2024; Accepted 16.06.2024.

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 378.37.04

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-86-92>



Социально-психологические барьеры создания инклюзивной образовательной среды в аграрном вузе

Л.В. Занфирова¹, Т.П. Коваленок², М.В. Шингарева³

^{1,2,3} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

¹ zanfirova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6151-2267>

² kovalenok@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0003-2835-1454>

³ shingareva@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0713-5042>

Аннотация. Инклюзивное («включенное») обучение предполагает получение образования лицами с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) в образовательных учреждениях общего типа совместно с нормально развивающимися сверстниками. Готовность субъектов образовательного процесса становиться субъектами формирования и развития инклюзивной образовательной среды определяется их мировоззрением, личностными особенностями, пониманием и принятием самой идеи инклюзии. Внедрение инклюзивного образования в нашей стране сдерживается в связи с неготовностью педагогов, родителей и обучающихся функционировать в условиях инклюзивного образования. С целью выявления предпосылок и подходов к формированию инклюзивной образовательной среды в вузах проведено анкетирование по вопросам отношения к инклюзивному образованию и продиагностированы личностные особенности, влияющие на эффективность общения. В исследовании приняли участие 124 студента 2 курса РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. В результате выявлены социально-психологические барьеры, препятствующие развитию инклюзивной образовательной среды в аграрном вузе: недостаточная информированность о данной проблеме и низкая коммуникативная толерантность по отношению к людям с ОВЗ. Для устранения барьеров необходимы формирование устойчивого мотивационно-ценностного отношения к инклюзии, раскрытие возможностей творческой самореализации субъектов инклюзивной образовательной среды, расширение кругозора, ознакомление с вариантами социализации лиц с ОВЗ, обучение специфическим правилам и приемам общения с ними. Реализация инклюзии на уровне профессионального образования требует изменения параметров образовательной среды профессиональных учебных заведений, развития инклюзивной среды, соответствующей возможностям и потребностям всех ее субъектов.

Ключевые слова: инклюзивное образование, вуз, образовательная среда, социально-психологические барьеры, коммуникативная толерантность, обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья

Для цитирования: Занфирова Л.В., Коваленок Т.П., Шингарева М.В. Социально-психологические барьеры создания инклюзивной образовательной среды в аграрном вузе // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 86-92. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-86-92>

ORIGINAL PAPER

Socio-psychological barriers to creating an inclusive educational environment in an agricultural university

L.V. Zanfirova¹, T.P. Kovalenok², M.V. Shingareva³

^{1,2,3} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

¹ zanfirova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6151-2267>

² kovalenok@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0003-2835-1454>

³ shingareva@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0713-5042>

Abstract. Inclusive education involves the training of persons with disabilities in general educational institutions – together with their normally developing age-mates. The willingness of the educational process stakeholders to participate

in the establishing and development of an inclusive educational environment is determined by their worldview, personal characteristics, understanding and acceptance of the very idea of inclusion. The introduction of inclusive education in our country is not efficient enough due to the reluctance of teachers, parents and students to function in the inclusive education environment. In order to identify prerequisites and approaches to the formation of an inclusive educational environment in higher education institutions, the authors carried out a questionnaire survey on attitudes to inclusive education and diagnosed personal characteristics affecting the effectiveness of communication. The study involved 124 2nd year students of Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy. As a result, the socio-psychological barriers to the development of inclusive educational environment in agrarian higher education institution were revealed: insufficient awareness of this problem and low communicative tolerance towards people with disabilities. To eliminate the barriers it is necessary to form a stable motivational and value attitude to inclusion, to disclose the possibilities of creative self-realization of the subjects of inclusive educational environment, to expand their horizons, to get acquainted with the options of socialization of persons with disabilities, to learn specific rules and techniques of communication with them. The implementation of inclusion at the level of vocational education requires changes in the parameters of the educational environment of vocational educational institutions, the development of an inclusive environment, corresponding to the opportunities and needs of all its stakeholders.

Keywords: inclusive education, educational environment, socio-psychological barriers, communicative tolerance, students with disabilities

For citation: Zanfirova L.V., Kovalenok T.P., Shingareva M.V. Socio-psychological barriers to creating an inclusive educational environment in an agricultural university. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(6):86-92. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-86-92>

Введение

В 2012 г. в нашей стране был принят Закон об образовании, который стал нормативно-правовой базой развития инклюзивного образования. Принятие закона стало частью исторического перехода от исключения и отделения людей с особенностями здоровья от «нормотипичных», обычных людей.

Процесс развития инклюзивного образования в нашей стране происходит при активном участии государства в решении проблем инклюзии, разработке законодательных норм и контроля за их исполнением, в то время как в других странах решающее значение имеет работа благотворительных фондов, инициативных групп, непосредственно реализующих инклюзивную практику.

В Федеральном законе «Об образовании в Российской Федерации» от 29 декабря 2012 г. № 273 было дано определение понятий «обучающийся с ограниченными возможностями здоровья», «инклюзивное образование», «адаптированная образовательная программа». В 2016 г. были приняты федеральные государственные образовательные стандарты для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ). В дошкольных и общеобразовательных учреждениях стали появляться специальные группы и классы, родители детей с особенностями получили возможность определять их в общеобразовательные учреждения. Эти изменения выявили ряд препятствий для эффективного внедрения законодательных норм. Образовательным учреждениям не хватает средств и оборудования для создания инклюзивной

среды, сотрудники образовательных учреждений не имеют достаточных знаний и опыта для такой деятельности, не всегда бывают психологически готовы к возможности совместного обучения детей с разными образовательными потребностями.

В настоящее время продолжается развитие инклюзивного образования. Приняты межведомственные комплексные планы по развитию инклюзивного образования до 2030 года¹, позволяющие разработать базовую модель инклюзивной образовательной организации с учетом специфики всех уровней образования. У получивших общее среднее образование «особенных» обучающихся появилась возможность получить профессию в учреждениях среднего профессионального и высшего образования. Это делает актуальным исследование готовности профессиональных учебных заведений к фор-

¹ Межведомственный комплексный план мероприятий по повышению доступности среднего профессионального и высшего образования для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе профориентации и занятости указанных лиц: утв. Правительством РФ 21 декабря 2021 г. № 14000п-П8. [Электронный ресурс]. URL: <https://legalacts.ru/doc/mezhvedomstvennyi-kompleksnyi-plan-meropriyatii-po-povysheniui-dostupnosti-srednego-professionalnogo;>

Межведомственный комплексный план мероприятий по развитию инклюзивного общего и дополнительного образования, детского отдыха, созданию специальных условий для обучающихся с инвалидностью, с ограниченными возможностями здоровья на долгосрочный период (до 2030 года): утв. Правительством РФ 22 декабря 2021 г. № 14068п-П8. [Электронный ресурс]. URL: <https://sudact.ru/law/mezhvedomstvennyi-kompleksnyi-plan-meropriyatii-po-razvitiui-inkluzivnogo.>

мированию инклюзивной образовательной среды, где предметом внимания становятся не только материальные ресурсы образовательной организации, но и социально-психологические параметры образовательной среды. В качестве системообразующего фактора инклюзивной образовательной среды специалисты выделяют активное включение в образовательный процесс всех его участников (учителей, специальных педагогов, учащихся с особыми образовательными потребностями, их нормативно развивающихся сверстников, родителей) в качестве субъектов деятельности, которые способны менять и перестраивать среду, развиваясь сами и преобразуя имеющуюся в среде совокупность внешних условий в свои актуальные возможности с учетом разнообразия потребностей [1, 2].

Таким образом, в качестве предпосылок к формированию инклюзивной образовательной среды выступают психологические особенности участников образовательного процесса, а барьером для этого процесса могут стать недостаток информированности, нетерпимость и нетолерантность, культурные стереотипы по отношению к лицам с ОВЗ. С нашей точки зрения, имеет значение и профиль профессионального учебного заведения, поскольку в выборе профессии проявляется общая направленность, склад личности. От студента педагогического или психологического учебного заведения закономерно ожидать альтруистической направленности, стремления к общению, готовности к принятию, коммуникативных умений и т.п. Менее однозначными становятся прогнозы поведения будущих профессионалов, выбравших деятельность в технической сфере, в сфере взаимодействия с объектами природы или знаковыми системами.

Цель исследований: анализ подходов к созданию инклюзивной образовательной среды в вузе и предпосылок к ее формированию в РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева.

Материалы и методы

Использовались методы теоретического анализа исследований по проблеме инклюзивного образования, для сбора эмпирических данных применялись анкета, составленная авторами, и тест коммуникативной толерантности В.В. Бойко².

Анкета включала в себя 10 вопросов (8 вопросов с вариантами ответов, 2 открытых вопроса) и была направлена на определение уровня осведомленности об инклюзивном образовании, выявление отношения

к людям с особенностями здоровья и готовности обучаться с ними. (Вопросы приведены в описании результатов.)

Тест коммуникативной толерантности позволил оценить, в какой мере человек способен проявлять терпимость к другим людям в деловом и межличностном общении, измерить выраженность особенностей поведения, свидетельствующих о низком уровне коммуникативной толерантности: неприятие индивидуальности, использование себя как эталона, категоричность и консервативность, неумение скрывать чувства, стремление переделать партнера, желание сделать партнера удобным, неумение прощать ошибки, нетерпимость к дискомфорту, низкая степень приспособления.

Базой для проведения эмпирического исследования стал Институт садоводства и ландшафтной архитектуры РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. В исследовании приняли участие 124 студента 2 курса направления подготовки 35.03.05 «Садоводство», направленности (профиля) «Плодоводство, виноградарство и виноделие», «Производство продукции овощных и лекарственных растений», «Декоративное садоводство, газоноведение и флористика», «Селекция, генетика и биотехнология садовых культур».

Сбор эмпирических данных осуществлялся на мероприятии, посвященном проблемам инклюзивного образования, в котором студенты принимали участие.

Анкета заполнялась анонимно в онлайн-режиме с помощью гугл-сервиса, тестирование проводилось на сайте psytests.org. Доступ к ним осуществлялся через сканирование студентами специальных QR-кодов. После выполнения теста студенты самостоятельно вносили свои баллы по шкалам в гугл-формы, исследователи получали обобщенные данные.

Результаты и их обсуждение

Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» № 273-ФЗ определяет понятие «инклюзивное образование» как обеспечение равного доступа к образованию для всех обучающихся с учетом разнообразия особых образовательных потребностей и индивидуальных возможностей. При этом в российских вузах обучаются, по данным заместителя министра науки и высшего образования РФ Ольги Петровой на октябрь 2023 г., менее 1% студентов с ограниченными возможностями здоровья от общего числа студентов³. Столь небольшое

³ Вести образования. 2023. 6 сентября: Официальный сайт. URL: https://vogazeta.ru/articles/2023/9/6/CHto_proiskhodit/23689-v_rossiyskih_vuzah_obuchayutsya_menee_1_studentov_s_ovz

количество студентов с ОВЗ объясняется недостаточным развитием доступной образовательной среды для молодых людей с особыми образовательными потребностями или особенностями здоровья.

Основоположником изучения феномена образовательной среды в отечественной педагогической науке считается С.Т. Шацкий, который, начиная с 20-х гг. XX в., рассматривал возможности различных факторов среды с точки зрения их влияния на обучающегося, считая главным результатом этого влияния усвоение обучающимся востребованной в обществе субкультуры [3].

В последующих психолого-педагогических исследованиях были даны разнообразные определения понятия «образовательная среда», описаны ее характеристики и выделены компоненты. Так, В.А. Ясвин, подчеркивая динамический характер образовательной среды, определяет ее как «совокупность условий, обстоятельств, событий, факторов и влияний на развивающуюся личность, а также развивающих личность возможностей, которым придается особое педагогическое значение» [4]. Реализация развивающего потенциала образовательной среды возможна только в процессе деятельностной активности самой личности.

Многие педагоги-исследователи определяют образовательную среду похожим образом, рассматривая ее как сложное поликультурное образование, индивидуальное для каждого обучающегося, обеспечивающее создание условий для его личностного роста, становления самосознания и самореализации, но при этом дифференцируя образовательные среды образовательных организаций разных уровней (в зависимости от целей образования, профессиональной направленности, сформированности познавательных навыков и стратегий, мотивации обучающихся, их социальной зрелости и прочего) [5].

Понятие «инклюзивная образовательная среда» является производным от понятия «образовательная среда», отражающего специфику образовательной среды в целом. В определении инклюзивной образовательной среды можно выявить два основных подхода: создание особой образовательной среды и создание образовательной среды, одинаково подходящей для всех обучающихся. Сторонники первого подхода считают, что обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) являются объектами (пользователями) инклюзивной среды, а в соответствии со вторым подходом все участники образовательного процесса являются активными создателями инклюзивной образовательной среды [6-8].

В контексте представлений об участниках образовательного процесса как субъектах формирования

инклюзивной образовательной среды было выполнено эмпирическое исследование. Результаты анкетирования студентов и преподавателей РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева представлены в таблице. Вопросы анкеты предполагали выявление уровня знаний респондентов об инклюзивном образовании, эмоций и чувств, переживаемых ими при взаимодействии с обучающимися с ограниченными возможностями здоровья.

Анализ результатов анкетирования показал недостаточную осведомленность студентов об особенностях инклюзивного образования. Около 80% студентов не имеют четкого представления об инклюзивном образовании, особенностях лиц с ограниченными возможностями здоровья и способах взаимодействия с ними (вопросы № 2, 4, 5). При этом около 50% опрошенных положительно относятся к самой идее инклюзивного образования и считают, что это окажет положительное влияние на здоровых обучающихся, будет способствовать развитию эмпатии, толерантности и других социально-полезных качеств.

При ответе на вопрос «Какие чувства у Вас возникают, когда встречаете человека с ОВЗ?» респондентам предлагалось отметить 3 варианта из предложенных. Самые частые ответы: «Сочувствие» (65,3%), «Неловкость» (49,2%); примерно третья часть опрошенных испытывает «Уважение», «Спокойствие», «Любопытство», «Интерес».

Необходимыми для успешного овладения профессией студенты считают прежде всего волевые личностные качества: целеустремленность, упорство, сила воли, дисциплинированность, ответственность, усидчивость (57% от общего числа ответов). На втором месте по частоте упоминания – мотивационные черты: трудолюбие, интерес, любознательность, любопытство.

Необходимыми для педагога, работающего в инклюзивной среде, опрошенные считают понимание, доброту, альтруизм и т.п. (44% от общего числа ответов) и терпение (33%).

Результаты анкетирования позволили выявить недостаточную информированность студентов об особенностях инклюзивного образования и обучающихся с ОВЗ, положительное отношение к инклюзии примерно у половины опрошенных, напряженность и неоднозначность эмоций, возникающих при взаимодействии с лицами, имеющими особенности здоровья.

Диагностика коммуникативной толерантности студентов и преподавателей показала, что только около 20% испытуемых имеют особенности поведения, свидетельствующие о недостаточном уровне терпимости в межличностных отношениях.

Таблица

Отношение студентов к инклюзивному образованию

Table

Students' attitude to inclusive education

1. Считаете ли Вы важным для любого человека, независимо от его состояния и возможностей, иметь профессию?		
	Да	77,4%
	Нет	14,5%
	Не могу ответить определенно	8,1%
2. Оцените свои знания об инклюзивном профессиональном образовании		
	Хорошо понимаю особенности инклюзивного профессионального образования	22,6%
	Не имею представления об инклюзивном образовании	20,2%
	Не могу ответить определенно	57,3%
3. Мое отношение к инклюзивному образованию		
	Положительно отношусь к идее ИО	51,6%
	Не имею четкой позиции в отношении ИО	29,8%
	Не уверен в целесообразности этого обучения	8,1%
	Не могу ответить определенно	7,3%
	Отрицательно отношусь к идее ИО	3,2%
4. Моя готовность к взаимодействию с обучающимися, имеющими ОВЗ		
	Не имею знаний и навыков в этой сфере	56,9%
	Имею ограниченные знания и навыки работы с обучающимися, имеющими ОВЗ	33,3%
	Не могу ответить определенно	5,7%
	Владею специфическими методами и приемами	4,1%
5. Мои представления об особенностях обучающихся с ОВЗ		
	Имею ограниченные представления о физических и психических особенностях обучающихся с ОВЗ	54,5%
	Фактически не имею представлений о физических и психических особенностях обучающихся с ОВЗ	27,6%
	Знаю о физических и психических особенностях обучающихся с ОВЗ	14,6%
	Не могу ответить определенно	3,3%
6. Влияние присутствия обучающихся с ОВЗ в профессиональном образовательном учреждении		
	Возможно положительное влияние на здоровых обучающихся, развитие эмпатии, толерантности и т.п.	46,3%
	Возможно негативное влияние: появление нетерпимости, антипатии, снижение качества обучения и т.п.	29,3%
	Особого влияния нет	24,4%
7. Считаете ли Вы, что обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья имеют право на снисхождение при оценке их учебной деятельности?		
	Не могу ответить определенно	38%
	Да	37,2%
	Нет	24,8%
8. Какие личностные качества, с вашей точки зрения, необходимы человеку, чтобы успешно овладеть профессией?		
	Волевые: целеустремленность, упорство, сила воли, дисциплинированность, ответственность, усидчивость	57%
	Мотивационные: трудолюбие, интерес, любознательность, любопытство	37%
	Социальные: коммуникативность, открытость, доброта, эмпатия	1%
	Другое	5%
9. Какие качества необходимы педагогу, работающему в инклюзивной среде?		
	Понимание, эмпатия, доброта, альтруизм, любовь к людям, искренность, уважение, коммуникативность	44%
	Терпение	33%
	Спокойствие, уверенность, уравновешенность, хладнокровие, стрессоустойчивость	14%
	Интеллект, знания, просвещенность, гибкость мышления	4%
	Другое	5%
10. Какие чувства у Вас возникают, когда встречаете человека с ОВЗ? Отметьте 3 варианта ответа		
	Сочувствие	65,3%
	Неловкость	49,2%
	Уважение	36,3%
	Спокойствие	36,3%
	Любопытство	36%
	Интерес	33,9%
	Напряжение	20,2%
	Страх	14,5%
	Восхищение	7,3%
	Неудовольствие	4%
	Раздражение	4%

На рисунке показана частота встречаемости различных признаков низкой толерантности в этой части обследованной выборки. Чаще всего встречается такое проявление интолерантности, как категоричность, или консервативность. Это свидетельствует о нетерпимости к проявлению индивидуальности, жесткости оценок, ориентации на сложившиеся ценности и вкусы. Еще одной характерной особенностью респондентов является неумение прощать ошибки, «застревание» на различиях своих особенностей и личности партнера. Это становится причиной обид, усложнения отношений, проявляется в склонности придавать особый неприятный смысл поступкам и словам другого человека (5% выборки). Еще более единичными являются остальные проявления недостаточной толерантности в общении.

Проведенное исследование позволило выявить и описать некоторые виды социально-психологических барьеров, которые могут затруднить формирование инклюзивной образовательной среды в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева: прежде всего – недостаточная информированность о данной проблеме и некоторая неадекватность эмоций по отношению к людям с ОВЗ. Социально-психологические

барьеры определяются не только психологическими особенностям личности, но и в значительной степени – конкретными обстоятельствами ее жизни. Возможно, в данном случае они связаны с отсутствием опыта взаимодействия с лицами, имеющими ограниченные возможности здоровья. Социально-психологические барьеры блокируют духовные ресурсы личности, препятствуют их реализации в процессе жизнедеятельности.

Необходима специальная работа по преодолению социально-психологических барьеров, при этом большое значение имеют формирование устойчивого мотивационно-ценностного отношения к инклюзии, раскрытие возможностей творческой самореализации субъектов создания инклюзивной образовательной среды. Другими направлениями работы по преодолению социально-психологических барьеров может стать расширение кругозора, ознакомление с вариантами социализации лиц с ОВЗ, обучение специфическим правилам и приемам общения с ними. Развитию инклюзивной компетентности личности будет способствовать обучение самоанализу и рефлексии в процессе индивидуальных или групповых психологических тренингов.



Рис. Частота встречаемости признаков интолерантности в общении

Fig. Frequency of intolerance signs in communication

Выводы

Результаты исследований, проведенных на базе Института садоводства и ландшафтной архитектуры РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, выявили

социально-психологические барьеры формирования инклюзивной образовательной среды в аграрном вузе, показали направления организации работы для их преодоления.

Список источников

1. Алехина С.В., Самсонова Е.В., Шеманов А.Ю. Подход к моделированию инклюзивной среды образовательной организации // Психологическая наука и образование. 2022. Т. 27, № 5. С. 69-84. <https://doi.org/10.17759/pse.2022270506>
2. Романова Г.А. Модель развития инклюзивной образовательной среды вуза // Вестник РМАТ. 2017. № 4. С. 55-59. EDN: XMLAXZ
3. Мардахаев Л.В. Учение, С.Т. Шацкого о педагогизации среды и его отражение в принципах социальной педагогики // ЦИТИСЭ. 2014. № 1. С. 7. EDN: NMJXVK
4. Ясвин В.А. Формирование теории среды развития личности в отечественной педагогической психологии // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2020. Т. 17, № 2. С. 295-314. <https://doi.org/10.17323/1813-8918-2020-2-295-314>
5. Васильева Е.Ю. Образовательная среда вуза как объект управления и оценки // Университетское управление: практика и анализ. 2011. № 4 (74). С. 76-82. EDN: ООВОЕН
6. Алехина С.В. Инклюзивная образовательная среда и параметры ее оценки // Инклюзивное образование: опыт и перспективы: Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Ярославль, 27-29 апреля 2022 г. Ярославль: Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, 2022. С. 17-24. EDN: QLGONV
7. Курносова С.А., Овчинникова Т.С. Концептуальные основы повышения уровня инклюзивной компетентности студентов // Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина. 2018. № 2. С. 216-227. EDN: RUUEUX
8. Муллер О.Ю. Модель развития методической компетентности преподавателей вуза в условиях инклюзивного образования // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2019. № 2 (102). С. 146-152. <https://doi.org/10.26293/chgpu.2019.102.2.020>

Информация об авторах

- Лариса Вячеславовна Занфирова**¹, канд. пед. наук, доцент; zanfirova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6151-2267>
- Татьяна Петровна Коваленок**², канд. психол. наук, доцент; kovalenok@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0003-2835-1454>
- Марина Валентиновна Шингарева**³, канд. пед. наук, доцент; shingareva@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0713-5042>

^{1,2,3} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

Вклад авторов

Л.В. Занфирова – анализ литературы, проведение исследований, обработка результатов исследований;
Т.П. Коваленок – формулирование основных направлений исследований, представление результатов, формулировка общих выводов;
М.В. Шингарева – анализ литературы, проведение исследований, подготовка рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 05.07.2024, после рецензирования и доработки 02.09.2024; принята к публикации 18.10.2024.

References

1. Alekhina S.V., Samsonova E.V., Shemanov A.Yu. An approach to modeling the inclusive environment of an educational organization. *Psychological Science and Education*. 2022;27(5):69-84. (In Russ.)
2. Romanova G.A. Model of the development of the inclusive educational environment of the university. *Vestnik RMAТ*. 2017;4:55-59. (In Russ.)
3. Mardakhaev L.V. Teaching of S.T. Shatsky on the pedagogization of the environment and its reflection in the principles of social pedagogy. *TsITISE*. 2014;1:7. (In Russ.)
4. Yasvin W.A. Formation of the theory of environment of personal development in the Russian pedagogical psychology. *Psychology. Journal of Higher School of Economics*. 2020;17(2):295-314 (In Russ.)
5. Vasilyeva E.Ju. Educational environment in university as object of management and evaluation. *Journal University Management: Practice and Analysis*. 2011;4(74):76-82. (In Russ.)
6. Alekhina S.V. Inclusive educational environment and parameters of its assessment. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Yaroslavl, April 27-29, 2022*. Yaroslavl: Yaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky 2022:17-24. (In Russ.)
7. Kurnoсова S.A. Conceptual foundations for improving the level of inclusive competence of students. *Bulletin of the Leningrad State University named after A.S. Pushkin*. 2018;2:216-227. (In Russ.)
8. Muller O.Y. Model of the development of teachers' methodical competence in conditions of inclusive education. *I.Ya. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University Bulletin*. 2019;2:146-152. (In Russ.)

Author Information

- Larisa V. Zanfirova**¹, PhD (Ed), Associate Professor; zanfirova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6151-2267>
- Tatyana P. Kovalenok**², PhD (Psy), Associate Professor; kovalenok@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0003-2835-1454>
- Marina V. Shingareva**³, PhD (Ed), Associate Professor; shingareva@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0713-5042>

^{1,2,3} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

Author Contribution

L.V. Zanfirova – literature review, investigation, processing of research results;
T.P. Kovalenok – conceptualization, results and conclusions;
M.V. Shingareva – literature review, investigation, writing – manuscript preparation.

Conflict of interests

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

Received 05.07.2024; Revised 02.09.2024; Accepted 18.10.2024

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 378.126

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-93-97>

Разработка профессионально-ориентированного содержания дисциплины «Химия» для студентов агроинженерных направлений подготовки

М.В. Григорьева

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Россия, Москва

m.grigorieva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8140-3538>

Аннотация. Содержание дисциплины «Химия», изучаемой студентами агроинженерных направлений подготовки, слабо связано с их будущей профессиональной деятельностью. В связи с этим актуальной задачей является обоснование возможностей разработки профессионально-ориентированного содержания дисциплины «Химия». Исследования проведены с целью поиска методологического основания для реализации системного подхода к разработке профессионально-ориентированного содержания дисциплины «Химия», позволяющего максимально приближать образовательный процесс к будущей профессии. Предлагаемые автором решения построены на основе теории инвариантной структуры содержания образования. Методологический прием, включающий в себя объектную и профессионально-деятельностную детерминанты, был применен в разработке профессионально-ориентированного содержания дисциплины «Химия» для направления 35.03.06 «Агроинженерия» на системной основе. Рассмотрено соответствие содержания дисциплины «Химия» инвариантным компонентам содержания профессиональной подготовки. В результате автором представлена реализация этого подхода для профессионально-ориентированного обучения дисциплине «Химия». В содержание дисциплины «Химия» для обучающихся по направлению 35.03.06 «Агроинженерия» должны входить следующие разделы: строение вещества, свойства органических и неорганических веществ, свойства растворов и дисперсных систем, энергетика физико-химических процессов, кинетика физико-химических процессов. Профессионально-ориентированное обучение позволит сформировать у обучающихся общепрофессиональную компетенцию «Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических и естественных наук с применением информационно-коммуникационных технологий».

Ключевые слова: профессионально-ориентированное содержание дисциплины, обучение химии, подготовка специалистов по направлению «Агроинженерия», системный подход

Для цитирования: Григорьева М.В. Разработка профессионально-ориентированного содержания дисциплины «Химия» для студентов агроинженерных направлений подготовки // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 93-97. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-93-97>

ORIGINAL ARTICLE

Development of job-related content of the “Chemistry” subject for students of agro-engineering training areas

M.V. Grigoryeva

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

m.grigorieva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8140-3538>

Abstract. The content of the “Chemistry” course taken by agroengineering students poorly corresponds to their future professional activity. In this regard, an urgent task is to prove the possibility of developing job-related content of a “Chemistry” course. The author aimed to find a methodological basis for the use of a systematic approach to develop job-related content of the “Chemistry” course to bridge the gap between the educational process and the future professional activity. The solutions proposed by the author root from the theory of the invariant structure of teaching content. The methodological solution based on the system approach and a combination of object and occupational determinants was applied to design job-related content of the “Chemistry” course for training area 35.03.06 Agroengineering. The author checked the content correspondence of the designed “Chemistry” course to the invariant components of the content of professional training. As a result, the author presents the implementation

of this approach for job-related training of the “Chemistry” course. The content of the “Chemistry” course taught to students of training area 35.03.06 “Agroengineering” should include the following sections: the structure of matter, properties of organic and inorganic substances, properties of solutions and dispersed systems, energy of physicochemical processes, kinetics of physicochemical processes. Job-related training will allow students to form the general professional competence “able to solve typical problems of professional activity applying the knowledge of basic laws of mathematical and natural sciences with the use of information and communication technologies”.

Keywords: job-related content of the subject course, chemistry teaching, training of specialists in the field of “Agroengineering”, system approach

For citation: Grigoryeva M.V. Development of job-related content of the “Chemistry” subject for students of agro-engineering training areas. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(6):93-97. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-93-97>

Введение

Вопросами поиска методологических решений по разработке профессионально-ориентированного содержания учебных дисциплин [1-6], в том числе химических [7, 8], занимались многие исследователи.

Профессиональная направленность преподаваемых дисциплин является одним из необходимых условий эффективности подготовки по специальности [9]. Специалисты направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» для решения задач профессиональной деятельности должны быть осведомлены о свойствах материалов, из которых состоят машины и механизмы, и об используемых веществах (топливо, смазочные и защитно-восстановительные покрытия). Специалист должен владеть технологиями обращения со всеми видами удобрений, отходами сельхозпроизводства, подготовки почвы, но для этого ему необходимы знания о свойствах растворов и дисперсных систем. В учебном плане данного направления подготовки предусмотрено изучение дисциплины «Химия», ценность которой заключается в наличии теории, позволяющей студентам ориентироваться в свойствах как отдельных веществ, так и их смесей. Данная дисциплина призвана внести вклад в формирование у обучающихся общепрофессиональной компетенции «Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических и естественных наук с применением информационно-коммуникационных технологий». Химические знания необходимы обучающимся для освоения ряда последующих дисциплин, в числе которых – «Материаловедение и технология конструктивных материалов», «Топливо и смазочные материалы», «Эксплуатация машинно-тракторного парка», «Охрана труда на предприятиях АПК», «Нано-трибо-составы в агроинженерии». В связи с этим подготовка агроинженеров по дисциплине «Химия» должна учитывать следующие особенности:

– курс должен формировать у обучающихся способности применять химические знания для решения профессиональных задач;

– содержание должно быть подобрано в соответствии с профессиональной направленностью.

Объем, отводимый на изучение дисциплины, составляет 3 зачетные единицы (108 часов), поэтому перед преподавателями химических дисциплин стоит непростая задача – проектирование образовательного процесса по дисциплине «Химия», позволяющего осуществить и фундаментальную, и профессионально-ориентированную подготовку в отводимое на изучение дисциплины время.

Цель исследований: определение методологических оснований для системного подхода к разработке профессионально-ориентированного содержания непрофильных дисциплин (на примере дисциплины «Химия» для направления 35.03.06 «Агроинженерия»).

Материалы и методы

В качестве опорной методологической теории исследований выступила теория инвариантной структуры содержания образования В.С. Леднева. Исследования проведены на кафедре химии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Результаты и их обсуждение

Структурирование содержания дисциплины на основе логики развития понятий соответствующей науки является эффективным подходом в контексте фундаментальности и результативности, но слабая связь со специальностью может являться недостатком¹ [8]. Поэтому разработка профессионально-ориентированного содержания непрофильных дисциплин является обязательной составляющей проектирования. Основной проблемой в разработке профессионально-ориентированного содержания дисциплин был ее

¹ Крылова О.Н. Современная методология исследования взаимосвязи традиций и инноваций содержания образования. Интернет-Форум в рамках Всероссийской научной конференции с международным участием «Педагогика в современном мире». URL: <http://kafedra-forum.narod.ru/index/0-51> (дата обращения: 01.05.2024).

случайный, несистемный характер. Построение логики содержания дисциплины осуществлялось, как правило, в соответствии с логикой развития понятий данной науки² [4, 5]. Профессиональная направленность же не имела четкого логического основания и, несмотря на зачастую высокую дидактическую ценность отдельных ее элементов, не носила системного характера. Авторское видение педагога или исследователя являлось основой разработки профессионально-ориентированного содержания дисциплин. В этом случае не было уверенности в том, что учтены все необходимые связи дисциплины и профиля.

Для разработки профессионально-ориентированного содержания непрофильной дисциплины с учетом всех необходимых аспектов предлагаем рассмотреть системный подход с использованием компонентов инвариантной структуры профессионального образования в соответствии с детерминантами, выделенными В.С. Ледневым³ [6, 7]. Согласно теории ученого содержание образования определяется двумя детерминантами: структурой изучаемого объекта и структурой личности и деятельности субъекта образования. В профессиональном образовании вторая детерминанта преобразуется в профессионально-деятельностную, ее структура определяется структурой профессиональной деятельности.

В случае профессиональной подготовки объект изучения непрофильной учебной дисциплины является неоднозначным. Это и объект изучения науки, лежащей в основе этой дисциплины, и объект, соответствующий профессии, поскольку ее основная цель – подготовка специалиста. Согласно теории В.С. Леднева «В основе структуры объектной детерминанты профессионального образования находятся компоненты отрасли народного хозяйства: философия отрасли; предмет и продукт труда; технологический процесс; система управления; техника; кадры; окружающая среда. Компонентами профессионально-деятельностной детерминанты являются: технологический, управленческий, проектный, исследовательский, организационный, педагогический»⁴ [8].

² Пак М.С. Дидактика химии. Санкт-Петербург: Трио, 2012. 457 с.; Черепанов И.С., Корепанова Е.М. Проблемы построения профильных курсов «Органическая химия»: Учебно-методическое пособие. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2021. 50 с. URL: http://elibrary.udsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/20587/625%D0%BB%D0%B1_1000984039_29.11.2021.pdf?sequence=4.

³ Леднев В.С. Содержание образования: сущность, структура, перспективы. М., 1991. 223 с.; Леднев В.С. Содержание общего среднего образования: Проблемы структуры. М.: Педагогика, 1980. 264 с.

⁴ Кубрушко П.Ф. Содержание профессионально-педагогического образования: Монография. М.: Гардарики, 2006. 207 с.

Наполнение содержанием компонентов объектной и профессионально-деятельностной детерминант осуществляется совокупностью всех дисциплин программы подготовки специалиста. Но при проектировании содержания отдельных дисциплин, в том числе химии, необходимо ориентироваться на инвариантную структуру содержания подготовки по специальности. В этом случае не будет разрыва между отдельной дисциплиной и подготовкой к профессии. Этот аспект важен как на уровне общего определения ключевых разделов химического знания, так и при подборе содержания, обеспечивающего готовность обучаемого к освоению последующих дисциплин, и на заключительных этапах, когда подбираются примеры, иллюстрирующие теоретические положения, задания с профессионально-ориентированным контентом и т.д.

Опираясь на вышеописанную структуру объектной детерминанты инвариантной структуры содержания подготовки по специальности, рассмотрим возможности химических наук для подготовки агроинженеров (табл.).

Если, основываясь на компонентах объектной детерминанты профессионального образования, осуществлять отбор содержания дисциплины «Химия», то связь содержания дисциплины с профилем будет системной.

На основе анализа структуры химической подготовки в аспекте детерминированности объектами и спецификой профессиональной деятельности агроинженера нами были выделены инвариантные разделы дисциплины «Химия»:

1. Строение вещества (строение атомов и молекул, химическая связь, кристаллические решетки).
2. Свойства органических и неорганических веществ. Необходимо научить обучающихся ориентироваться в многообразии свойств веществ, используя учение о периодичности изменения свойств, на основании ряда констант и детально рассмотреть свойства металлов, полимеров и углеводородов.
3. Свойства растворов и дисперсных систем (свойства растворов электролитов, коллигативные свойства растворов, свойства дисперсных систем).
4. Энергетика физико-химических процессов. Раздел является базовым для формирования современной научной картины естествознания.
5. Кинетика физико-химических процессов.

При изучении курса «Химия» по направлению «Агроинженерия» выделенные разделы обязательны для максимальной ориентированности содержания дисциплины на будущую профессиональную деятельность обучающихся. Определение ключевых разделов – это первый этап проектирования

Таблица

Соответствие содержания дисциплины «Химия» инвариантным компонентам содержания подготовки по направлению 35.03.06 «Агроинженерия»

Table

Correspondence of the content of the “Chemistry” course to the invariant components of the teaching content for training area 35.03.06 Agroengineering

Компоненты объектной детерминанты	Аспекты реализации в агроинженерии	Вклад химической подготовки	Разделы химии
Философия отрасли	Понимание механизмов протекания физико-химических процессов в агросфере и технике; понимание механизмов управления (скорость и энергетика) производственными процессами; способность и готовность применять достижения химической науки в сельскохозяйственном производстве	Формирование научной химической картины природы, понимание сути химических, физико-химических и биохимических процессов. Понимание закономерностей, позволяющих управлять данными процессами. Применение химических знаний в исследовательских и иных целях	Строение вещества. Основы химической термодинамики. Основы химической кинетики. Химическое равновесие. Теория строения органических соединений
Предмет и объект труда	Главным объектом труда является техника, технологические системы. Тесное взаимодействие с разнообразными материалами и веществами. Производственные процессы тесно переплетаются с биологическими, на результаты которых большое влияние оказывают погодные-климатические условия	Химический состав объектов и продуктов труда и, соответственно, осведомленность в свойствах, способах обращения с ними	Свойства неорганических соединений. Свойства органических веществ. Свойства растворов электролитов и неэлектролитов. Коллигативные свойства растворов. Свойства растворов ВМС. Поверхностные явления. Дисперсные системы
Технологический процесс	Тесная взаимосвязь биологических и технологических процессов. Требуется знание принципов управления протеканием биологических и физико-химических процессов	Управление физико-химическими процессами. Энергетика и кинетика химических и физико-химических процессов. Катализ, катализаторы, ингибиторы. Химические и физико-химические свойства веществ. Фазовые равновесия. Учение о скорости химических реакций. Положительный и отрицательный катализ	Основы химической термодинамики. Основы химической кинетики. Свойства основных классов неорганических веществ. Свойства органических веществ. Свойства растворов. Коллигативные свойства растворов. Свойства растворов ВМС. Поверхностные явления. Дисперсные системы
Система управления, кадры	Для безопасного осуществления производственных действий необходимы знания свойств веществ, задействованных в технологическом процессе. Высокий уровень квалификации работников отрасли связан с фундаментальностью естественно-научной подготовки	Техника безопасности работы с веществами	Свойства органических и неорганических веществ
Экономика	Химическая подготовка данной сферы касается опосредованно		
Техника	Применяются машины и агрегаты разных видов	Знание свойств металлов. Свойства полимеров. Явления на границе раздела фаз. Основные закономерности топливных процессов. Свойства топлива	Металлы, их свойства. Основы термохимии. Поверхностные явления. Углеводороды
Окружающая среда	Сельскохозяйственное производство оказывает сильное воздействие на окружающую среду	Понимание механизмов и движущих сил процессов, протекающих в природе и агросфере. Примеры процессов и технологий, уменьшающих экологическую нагрузку на окружающую среду	Свойства неорганических и органических веществ. Основы химической термодинамики. Основы химической кинетики. Свойства растворов. Поверхностные явления. Свойства дисперсных систем. Принципы зеленой химии

профессионально-ориентированного содержания дисциплины. Далее определяется круг рассматриваемых понятий каждого раздела. Затем отбираются дидактические единицы, раскрывающие основные понятия теоретических положений. На этом этапе целесообразно вновь обращаться к структуре детерминант, определяющих содержание профессиональной подготовки.

Выводы

Реализация системного подхода к профессиональной ориентации содержания дисциплин может быть осуществлена с учетом теории инвариантной

структуры содержания образования В.С. Леднева. Основываясь на данной теории, при проектировании содержания дисциплины следует учитывать компоненты объектной и профессионально-деятельностной детерминант содержания профессиональной подготовки. В содержание дисциплины «Химия» для обучающихся по направлению 35.03.06 «Агроинженерия» должны входить разделы: строение вещества; свойства органических и неорганических веществ; свойства растворов и дисперсных систем; энергетика физико-химических процессов; кинетика физико-химических процессов.

Список источников

1. Корчагин Е.А., Сафин Р.С. Проектирование гибкого содержания образовательной программы в техническом вузе // Высшее образование в России. 2017. № 5. С. 79-87. EDN: YNZYKN
2. Каргина Е.М. Фундаментализм и специализация как основания профилизации образовательной среды в вузе // Научно-педагогическое обозрение. 2014. № 4 (6). С. 48-54. EDN: SUFHMR
3. Ризванов Р.Г. Проблемы профильного образования и их решения // Образование и саморазвитие. 2013. № 4 (38). С. 187-191. EDN: SDBZUH
4. Хайруллин И.Т., Илюшин О.В. Интегрированный подход к профильному обучению // Образование и саморазвитие. 2013. № 4 (38). С. 192-196. EDN: SDBZUR
5. Каргина Е.М. Анализ понятия профилизации образовательной среды в современной методологии познания // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. 2011. № 6. С. 68-79. EDN: NYAUUD
6. Селевко Г.К., Соловьева О.Ю. Инновационная теория предпрофильного обучения // Педагогический журнал Башкортостана. 2009. № 1 (20). С. 51-76. EDN: KUBESB
7. Пичугина Г.А., Сидоренко А.В. Организация профориентационной работы на уроках химии // Научен вектор на Балканите. 2019. № 2 (4). С. 62-64. EDN: WWGJNS
8. Литвинова Т.Н., Выскубова Н.К., Овчинникова С.А., Кириллова Е.Г., Слинкова Т.А. Межпредметная интеграция курса общей химии в медицинском вузе // Фундаментальные исследования. 2004. № 3. С. 71-73. EDN: IUJFDJ
9. Григорьева М.В. Химическая подготовка современного агрария: изучение мнения работающих специалистов // Международный научный журнал. 2021. № 4. С. 68-76. <https://doi.org/10.34286/1995-4638-2021-79-4-68-76>

Информация об авторе

Марина Викторовна Григорьева, канд. пед. наук, доцент; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; <https://orcid.org/0000-0001-8140-3538>, ResearcherID: AAE-7222-2022; marina_gry@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 13.05.2024; поступила после рецензирования и доработки 16.10.2024; принята к публикации 17.10.2024

References

1. Korchagin E.A., Safin R.S. Designing flexible content of an educational program at engineering university. *Higher Education in Russia*. 2017;5:79-87. (In Russ.)
2. Kargina E.M. Fundamentalism and specialization as the basis for profilization the educational environment in higher school. *Pedagogical Review*. 2014;4:48-54. (In Russ.)
3. Rizvanov R.G. Problems of specialized education and their solutions. *Education and Self-Development*. 2013;4:187-191. (In Russ.)
4. Khairullin I.T., Ilyushin O.V. Integrated approach to specialized training. *Education and Self-Development*. 2013;4:192-196. (In Russ.)
5. Kargina E.M. The concept analysis of the profilisation of educational environment in modern methodology of knowledge. *Vestnik Chelyabinskogo Gosudarstvennogo Pedagogicheskogo Universiteta*. 2011;6:68-79. (In Russ.)
6. Selevko G.K., Solovyova O.Y. Innovative theory of preprofile training. *Pedagogicheskiy Zhurnal Bashkortostana*. 2009;1:51-76. (In Russ.)
7. Pichugina G.A., Sidorenko A.V. The organization of professional orientation work at chemistry lesson. *Scientific Vector of the Balkans*. 2019;2:62-64. (In Russ.)
8. Litvinova T.N., Vyskubova N.K., Ovchinnikova S.A., Kirillova E.G., Slinkova T.A. Interdisciplinary integration of the course of general chemistry in a medical university. *Fundamentalnye Issledovaniya*. 2004;3:73-75. (In Russ.)
9. Grigorieva M.V. Chemical training of the modern agrarian: a study of the opinions of working professionals. *International Scientific Journal*. 2021;4:68-76. (In Russ.) <https://doi.org/10.34286/1995-4638-2021-79-4-68-76>

Author Information

Marina V. Grigoryeva, CSc (Ed), Associate Professor; Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-8140-35-38>, ResearcherID: AAE-7222-2022; marina_gry@inbox.ru

Received 13.05.2024; Revised 16.10.2024; Accepted 17.10.2024.

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 ARTICLE

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 подрисуючную подпись, в которой даётся объяснение всех его элементов.

3. **Таблицы** должны иметь сквозную нумерацию и заголовки. К таблицам и рисункам необходим англоязычный перевод подрисуючных 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