



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

# АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научный журнал

Том 26. № 4 / 2024

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

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

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

Основан в 2003 году

Периодичность: 6 номеров в год

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

Полнотекстовые версии доступны на сайте  
[https://www.elibrary.ru/title\\_profile.asp?id=8505](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](mailto:agroeng@rgau-msha.ru)  
<https://agroengineering.timacad.ru/jour/index>

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

Подписано в печать 22.08.2024  
Формат 60 84/8  
Тираж 500 экз.

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

## Главный научный редактор

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

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

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

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

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

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

**Тамара Петровна Кобозева**, д-р с.-х. наук, профессор ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва, Россия), [tkobozeva@rgau-msha.ru](mailto:tkobozeva@rgau-msha.ru)  
**Алексей Иванович Купренко**, д-р техн. наук, профессор кафедры технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств, Брянский государственный аграрный университет (с. Кокино Брянская обл, Россия), <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>, [kuprenkoai@mail.ru](mailto:kuprenkoai@mail.ru)

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

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

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

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

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

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



### Founder and Publisher:

Russian State Agrarian University –  
Moscow Timiryazev Agricultural Academy

Address of Founder and Publisher:  
49, Timiryazevskaya str., Moscow,  
127434, Russian Federation

The mass media registration certificate  
ПИ No. ФС 77-78053 of March 6, 2020

### Founded in 2003

### Publication Frequency:

Bimonthly

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

Full versions are posted on the site  
[https://www.elibrary.ru/title\\_profile.asp?id=8505](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](mailto: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 22.08.2024

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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:vbabanov@rgau-msha.ru)

**Vladimir T. Vodyannikov**, DSc (Econ), Professor, Professor of the Department of Organization of Production, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-7111-9437>, [vtvodyannikov@rgau-msha.ru](mailto:vtvodyannikov@rgau-msha.ru)

**Sergei M. Gaidar**, DSc (Eng), Professor, Head of the Department of Materials Science and Engineering Technology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia) <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>, [techmash@rgau-msha.ru](mailto: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](mailto:s.devyanin@rgau-msha.ru)

**Aleksei V. Zhuravlev**, DSc (Eng), Associate Professor, Vice-Rector for Science and Innovative Development, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), [azhuravlev@rgau-msha.ru](mailto:azhuravlev@rgau-msha.ru)

**Vladimir I. Zaginailov**, DSc (Eng), Professor, Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering named after Academician I.A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-2623-760X>, [vzaginailov@rgau-msha.ru](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:rena_robert@mail.ru)

**Vladimir F. Storchevov**, DSc (Eng), Professor, Head of the Academician I.F. Borodin Process Automation and Robotisation Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>, [v.storchevov@rgau-msha.ru](mailto:v.storchevov@rgau-msha.ru)

**Yuriy Kh. Shogenov**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Senior Research Associate, Head of the "Mechanization, Electrification and Automation" Section, Department of Agricultural Sciences, Federal State Budgetary Institution – the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-7588-0458>, [yh1961s@yandex.ru](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:pavel.auramenka@bsatu.by)

**Snezhana I. Bozhkov**, PhD (Eng), Professor, Institute of Soil Science, Agrotechnology and Plant Protection named after N. Pushkarov, Agricultural Academy (Sofia, Bulgaria), <https://orcid.org/0000-0002-5702-4893>, [bozhkov@mail.bg](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:quanghoang1510@gmail.com)

## СОДЕРЖАНИЕ

### ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

<b>А.С. Дорохов, М.Н. Ерохин, А.В. Сибирёв, М.А. Мосяков</b> Энергия разрушения почвенных комков сепарирующим рабочим органом в зависимости от физико-механических свойств почвы .....	4
<b>С.И. Старовойтов, Н.П. Старовойтова</b> Интенсивность воздействия газоструйного излучателя на поверхностный слой суглинистой почвы: результаты исследований .....	13
<b>Д.М. Скороходов, А.Н. Скороходова, С.С. Басов</b> Условия эксплуатации шнеков экструдеров в кормопроизводстве для животноводства .....	19
<b>А.В. Алешкин, Ф.А. Киприянов, П.А. Савиных</b> Установка для предпосевного увлажнения семян: обоснование угла поворота форсунки и времени распыления жидкости .....	27
<b>В.В. Шаров</b> Вклад профессора П.М. Белянчикова в тракторостроение СССР .....	35

### ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

<b>П.В. Голиницкий, У.Ю. Антонова, Э.И. Черкасова</b> Цифровая маркировка запасных частей .....	44
<b>Н.В. Серов, О.М. Мельников, С.П. Казанцев, И.Ю. Игнаткин, А.Е. Павлов</b> Ремонт радиаторов системы охлаждения двигателей сельскохозяйственной техники: метод холодного газодинамического напыления .....	51

### ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

<b>В.Ю. Страхов, В.Ф. Сторчевой, Ю.В. Саенко, Н.Е. Кабдин</b> Выбор источника для УФ-облучения зерна на установке ленточного типа .....	59
<b>Д.В. Белов, С.А. Андреев</b> Расчет координат расположения беспилотных летательных средств при сбрасывании грузов сельскохозяйственного назначения .....	68

### ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

<b>Е.В. Щедрина, О.Н. Ивашова</b> Применение генеративных нейросетей в обучении агроинженеров .....	75
<b>А.Н. Волкова, Е.Н. Козленкова</b> Формирование готовности студентов аграрного вуза к организации проектно-исследовательской деятельности .....	81

## CONTENTS

### FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

<b>A.S. Dorokhov, M.N. Erokhin, A.V. Sibirev, M.A. Mosyakov</b> Energy of soil clod crushing with a separating working tool, depending on physical and mechanical properties of the soil .....	4
<b>S.I. Starovoitov, N.P. Starovoitova</b> Intensity of the impact made by a gas-jet emitter on the surface layer of the loamy soil: research results .....	13
<b>D.M. Skorokhodov, A.N. Skorokhodova, S.S. Basov</b> Operating conditions of extruder screws in livestock feed production .....	19
<b>A.V. Aleshkin, F.A. Kipriyanov, P.A. Savinykh</b> Unit for pre-sowing seed moistening: a rationale for the nozzle rotation angle and liquid spraying time .....	27
<b>V.V. Sharov</b> Contribution of Professor P.M. Belyanchikov to the tractor industry development in the USSR .....	35

### TECHNICAL SERVICE IN AGRICULTURE

<b>P.V. Golinitzkiy, U.Yu. Antonova, E.I. Cherkasova</b> Digital marking of spare parts .....	44
<b>N.V. Serov, O.M. Melnikov, S.P. Kazantsev, I.Yu. Ignatkin, A.E. Pavlov</b> Repair of radiators of the engine cooling system of agricultural machinery: use of cold gas-dynamic spraying .....	51

### POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION

<b>V.Yu. Strakhov, V.F. Storchevoy, Yu.V. Saenko, N.E. Kabdin</b> Selecting the source of the UV irradiation of grain in the belt-type plant .....	59
<b>D.V. Belov, S.A. Andreev</b> Calculation of unmanned aerial vehicle positioning coordinates when dropping agricultural loads .....	68

### THEORY AND METHODOLOGY OF PROFESSIONAL EDUCATION

<b>E.V. Shchedrina, O.N. Ivashova</b> Prospects of using generative neural networks in the training of agricultural engineers .....	75
<b>A.N. Volkova, E.N. Kozlenkova</b> Enhancing the readiness of agricultural university students to organize project and research activities .....	81

# ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.356

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



## Энергия разрушения почвенных комков сепарирующим рабочим органом в зависимости от физико-механических свойств почвы

*А.С. Дорохов<sup>1</sup>, М.Н. Ерохин<sup>2</sup>, А.В. Сибирёв<sup>3</sup>, М.А. Мосяков<sup>4</sup>*

<sup>1,3,4</sup> Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

<sup>1</sup> [dorokhov@rgau-msha.ru](mailto:dorokhov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

<sup>2</sup> [er.mihn@mail.ru](mailto:er.mihn@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

<sup>3</sup> [sibirev2011@yandex.ru](mailto:sibirev2011@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

<sup>4</sup> [maks.mosyakov@yandex.ru](mailto:maks.mosyakov@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

**Аннотация.** Для снижения содержания почвенных примесей и повреждений клубней картофеля при уборке необходимо исследовать состав разделяемой смеси клубненосного вороха товарной продукции и определить энергию разрушения почвенных комков. С целью выявления закономерностей физико-механических свойств комков почвы при взаимодействии с сепарирующим рабочим органом экспериментально исследовали разрушение почвенного комка. Энергия разрушения почвенных комков выщелоченного чернозема плотностью в интервале от 1300 до 1700 кг/м<sup>3</sup> определялась на образцах размером 5 см при влажности почвы 10...30%. На лабораторной установке, включающей в себя сепарирующий прутковый элеватор, исследовалось влияние воздействия полотна (частоты встряхивания интенсификаторов сепарации) на количество образованных почвенных фракций размером 5 см. Выяснили, что материальный баланс для сепарирующих устройств картофелеуборочного комбайна первичной и вторичной очистки определяется массовой подачей клубненосной массы на сепарирующий орган и количеством массы, сходящей с сепарирующего органа. Количество удаляемой с сепарирующего органа массы является стационарной функцией частоты колебаний пруткового элеватора и количества находящегося на нем продукта. Разработана методика исследований по определению энергии разрушения почвенных комков с подготовкой пробы почвы. Проведены экспериментальные исследования по определению энергии разрушения почвенного пласта при взаимодействии с абсолютно твердым телом. Установлено, что при увеличении влажности почвы с 10 до 30% энергия разрушения комков возрастает в диапазоне 6249,18...10118,5 Дж/м<sup>3</sup>. При влажности почвы более 25% пропорционально повышается до 60,2 см максимальная высота разрушения почвенного комка. Установлена эмпирическая зависимость определения энергии разрушения частицы почвы при варьировании влажности. Результаты исследований позволяют на основе показателя влажности почвы подбирать оптимальную частоту колебаний пруткового элеватора и обеспечивать высокое качество сепарации.

**Ключевые слова:** почвенные комки, влажность, энергия разрушения почвенных комков, сепарирующий орган, компонент, сепарация клубней картофеля

**Финансирование.** Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда конкурса 2022 г. «Проведение исследований научными коллективами под руководством молодых ученых» Президентской программы научных проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодых ученых, № 22-76-10002.

**Для цитирования:** Дорохов А.С., Ерохин М.Н., Сибирёв А.В., Мосяков М.А. Энергия разрушения почвенных комков сепарирующим рабочим органом в зависимости от физико-механических свойств почвы // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 4. С. 4-12. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-4-12>

## ORIGINAL PAPER

## Energy of soil clod crushing with a separating working tool, depending on physical and mechanical properties of the soil

A.S. Dorokhov<sup>1</sup>, M.N. Erokhin<sup>2</sup>, A.V. Sibirev<sup>3</sup>✉, M.A. Mosyakov<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia

<sup>2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

<sup>1</sup> dorokhov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

<sup>2</sup> er.mihn@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

<sup>3</sup> sibirev2011@yandex.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

<sup>4</sup> maks.mosyakov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

**Abstract.** To reduce the content of soil impurities and minimize damage to potato tubers during harvesting, it is necessary to study the composition of the separated pile of market tubers and determine the energy of soil clod crushing. In order to identify the regularities of physical and mechanical properties of soil clods interacting with the separating working tool, the authors experimentally studied the crushing of soil clods. The crushing energy of leached chernozem soil clods with a density between 1300 and 1700 kg/m<sup>3</sup> was determined for samples of 5 cm in size at a soil moisture of 10 to 30%. The authors used a laboratory installation with a separating rod elevator to determine the influence of the apron (the shaking frequency of the separation intensifiers) on the amount of 5-cm soil fractions formed. It was experimentally found that the material balance for separating units of potato harvesters of primary and secondary cleaning is determined by the mass of tubers fed to the separating tool and the amount of mass removed from the separating tool. The amount of mass removed from the separating tool is a stationary function of the vibration frequency of the bar elevator and the amount of product on it. The authors have developed a research methodology to determine the energy of soil clod crushing using soil sample preparation. The authors have conducted experimental studies to determine soil clod crushing energy when interacting with an absolutely solid body. It has been found that an increase in soil moisture from 10 to 30% results in an increase in the energy of soil clod crushing of 6249.18 to 10118.5 J/m<sup>3</sup>. When the soil moisture exceeds 25%, the maximum height of soil clod crushing increases proportionally up to 60.2 cm. The empirical dependence of soil clod crushing energy on the varying moisture content has been established. The research results are useful for selecting the optimal vibration frequency of the bar elevator, based on the soil moisture index, and for achieving high quality of separation.

**Keywords:** soil clods, moisture, soil clod breaking energy, separating body, component, potato tuber separation

**Funding:** The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation of the 2022 contest “Conducting research by scientific groups led by young scientists” of the Presidential Program of research projects implemented by lead researchers, including young scientists No. 22-76-10002.

**For citation:** Dorokhov A.S., Erokhin M.N., Sibirev A.V., Mosyakov M.A. Energy of soil clod crushing with a separating working tool, depending on physical and mechanical properties of the soil. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(4):4-12. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-4-12>

### Введение

Целью высокоэффективного производства овощных культур и картофеля является достижение максимальных урожаев установленного качества при минимальных затратах. Предельные значения урожайности обусловлены генетическим потенциалом сорта, почвенно-климатическими условиями поля и качеством выполнения технологических операций возделывания сельскохозяйственных культур.

Качество выполнения процесса уборки картофеля достигло достаточно высоких значений, и его дальнейший рост приводит к значительному увеличению энергетических затрат, но при этом не дает

существенной прибавки урожайности. В связи с этим необходимо находить оптимальное сочетание качественных показателей операций, имеющих взаимозависимость на основе обоснованного критерия оценки технологии.

Научная проблема заключается в том, что повышенное содержание почвенных примесей в сходовом ворохе клубней картофеля является основным фактором увеличения повреждений (травмируемости) клубней при его уборке. Перспективным направлением снижения содержания почвенных примесей является совершенствование технологических процессов первичной и вторичной сепарации, а также

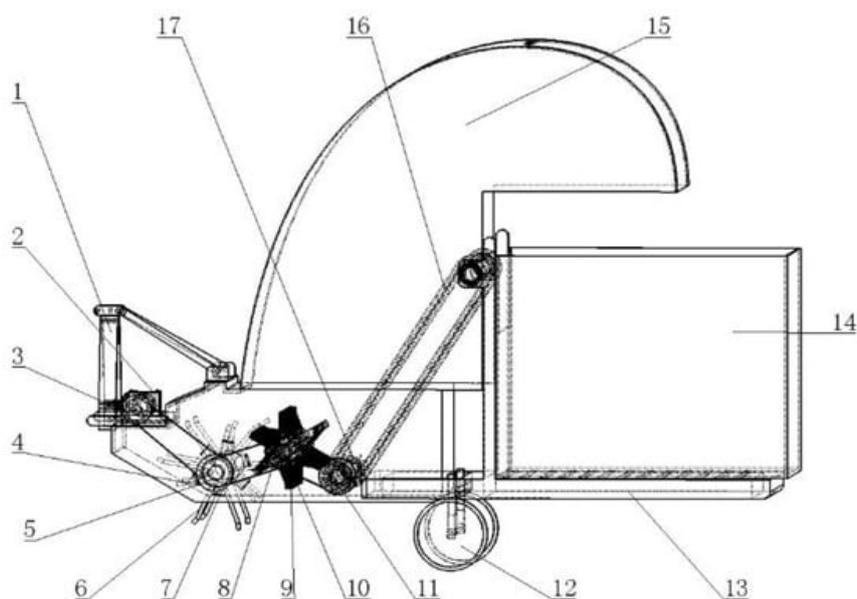
разработка технических средств с цифровой системой распознавания комков почвы и их очистки от клубней картофеля [1, 2].

Для повышения полноты разделения компонентов вороха и производительности устройств вторичной сепарации, а именно пальчатых горок, устанавливаются интенсификаторы сепарации, конструкции которых рассмотрены в работах А.С. Дорохова, М.Н. Ерохина, Н.В. Бышова, С.Г. Борычева, Г.К. Рембаловича, Н.П. Ларюшина и др. [3, 4]. Разработана конструкция картофелеуборочной машины с пружинными пальцами, которая решает проблему ручного сбора картофеля [5]. В комбайне с трактором мощностью 30 кВт используются для сбора картофеля сборочная лопата и конвейерная цепь с пружинными пальцами, а также устройства для подъема, сбора и отделения картофеля от почвы<sup>1</sup>. Однако уровень загрязнения и повреждения картофеля не соответствует национальными отраслевым стандартам. Для комбинированного сбора

картофеля, сортировки и сбора фракций картофеля разработан комбайн, использующий устройство вторичной сортировки картофеля роликового типа. Однако данная конструкция не отвечает требованиям сортировки и характеризуется низкой эффективностью сбора<sup>2</sup> [6]. Разработанное сепарирующее устройство двухвального комбайна для сбора батата (рис. 1) [7] не обеспечивает сепарацию товарной продукции клубней в полной мере, поскольку в методологии разработки устройства не учитывается взаимодействие поврежденными столонами батата на конвейерной ленте транспортера (рис. 2).

Для устранения перечисленных недостатков при разработке<sup>3</sup> сепарирующих устройств [8, 9] необходимо учитывать состав разделяемой смеси клубеносного вороха товарной продукции.

**Цель исследований:** определение закономерностей физико-механических свойств комков почвы при взаимодействии с сепарирующим рабочим органом.



**Рис. 1. Конструкция двухвального комбайна:**

- 1 – подвесная рама; 2 – трансмиссия; 3 – ведущий шкив; 4 – роликовый шкив для сбора батата; 5 – ролик для сбора батата; 6 – сборщик батата; 7 – резак аэродинамического профиля; 8, 9, 10 – роликовый шкив, каток и нож для уничтожения ботвы; 11 – шкив привода руля высоты; 12 – колесо ограничения глубины; 13, 14 – рама и ящик для сбора батата; 15 – щит; 16 – ленточный конвейер стержневой; 17 – шестерня конвейерной ленты

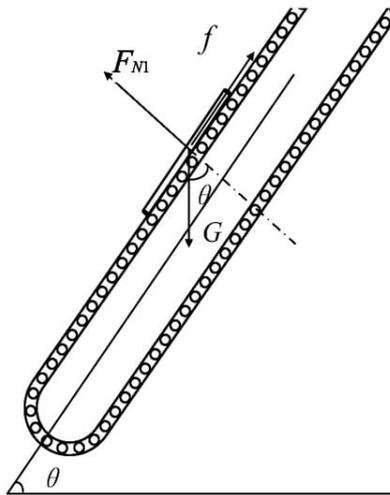
**Fig. 1. Design of a two-roller combine:**

- 1 – hanging frame; 2 – transmission; 3 – drive pulley; 4 – roller pulley for collecting sweet potatoes; 5 – roller for collecting sweet potatoes; 6 – sweet potato picker; 7 – airfoil cutter; 8, 9, 10 – roller pulley, roller, and knife for removing tops; 11 – elevator drive pulley; 12 – depth limit wheel; 13, 14 – frame and box for collecting sweet potatoes; 15 – shield; 16 – rod belt conveyor; 17 – conveyor belt gear

<sup>1</sup> Xiao W., Gao Y., Chen H., Zhang Y. Design and experiment of small potato picking and grading machine // Journal of Food Process Engineering. 2019. № 12. Pp. 130-134.

<sup>2</sup> Liu J., Wei M., Kang H., Wang Y., Zhou J. Design and experiment of potato harvester based on roller separation // INMATEH Agricultural Engineering. 2021. № 5. Pp. 96-103. <https://doi.org/10.35633/inmateh-64-14>.

<sup>3</sup> Калинин А.Б., Ружьев В.А., Теплинский И.З. Мировые тенденции и современные технические системы для возделывания картофеля: Учебное пособие. СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2016. 160 с.



**Рис. 2. Анализ сил на конвейерной ленте:**

$F_{N1}$  – опорная сила конвейерных лент;  
 $f$  – сила трения конвейерных лент;  
 $G$  – вес поврежденных столонов картофеля;  
 $\theta$  – горизонтальный угол между конвейерными лентами и землей

**Fig. 2. Analysis of forces acting on a conveyor belt:**

$F_{N1}$  – support force of conveyor belts;  
 $f$  – friction force of conveyor belts;  
 $G$  – weight of broken sweet potato stolons;  
 $\theta$  – horizontal angle between conveyor belts and the ground

### Материалы и методы

Для определения энергии разрушения почвенных комков выщелоченного чернозема плотностью  $1652 \text{ кг/м}^3$  подготавливались образцы длиной, высотой и толщиной не более 5 см различной влажности.

Частота вращения интенсификаторов сепарации варьировалась в диапазоне от 10 до 12  $\text{мин}^{-1}$ .

Влажность исследуемых почвенных образцов изменяли методом поверхностного увлажнения с 10 до 30% с интервалом варьирования в сторону увеличения на 1% и определяли термостатно-весовым способом.

Энергия разрушения почвенных комков определялась при однократном статистическом сжатии накопником твердомера исходя из условия разрушения не менее 90% почвенных комков.

Масса комка почвы определялась с точностью до 0,1 г на электронных весах M-ER122ACFJR-300.01 LCD.

Сепарация клубней картофеля от механических примесей при сопоставлении с сыпучими материалами отличается непрерывным образованием мелких частиц почвы, появляющихся в результате соударений комков почвы о рабочую поверхность очистительного устройства. Следовательно, исходный фракционный состав является непостоянным и меняется в зависимости от параметров и режимов работы функционирующих элементов [10-12].

Для определения параметров сепарирующего органа как элемента системы автоматического регулирования необходимо иметь информацию об особенностях протекания технологического процесса сепарации, физико-механических свойствах клубненосного вороха, размерно-массовых характеристиках материала, возникающих при изменении толщины слоя на выходе из очистительного устройства под влиянием управляющего воздействия.

### Результаты и их обсуждение

На изготовленной лабораторной установке (рис. 3) производилась сепарация клубней картофеля и исследовалось влияние воздействия полотна элеватора на количество образуемой исследуемой почвенной фракции (не более 5 см, что обусловлено средним размером клубней картофеля).

Методика проведения исследований предусматривала массовый замер длины, ширины или толщины почвенных фракций. По полученным значениям строили вариационные кривые (рис. 4) и определяли степень делимости данного состава. Площадь 1 (между кривой и осью абсцисс) соответствует основному компоненту, а площадь 2 соответствует примеси.

Для последовательного изучения двух признаков X и Y разделения двухкомпонентной смеси использовали корреляционные таблицы. При наличии трех признаков X, Y и Z можно использовать пространственные корреляционные решетки.

Чем однороднее полученные фракции по данному признаку, тем точнее может быть осуществлена сепарация и тем выше эффект разделения.

Степень извлечения товарной продукции из сепарируемого вороха определяется по формуле:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2}, \quad (1)$$

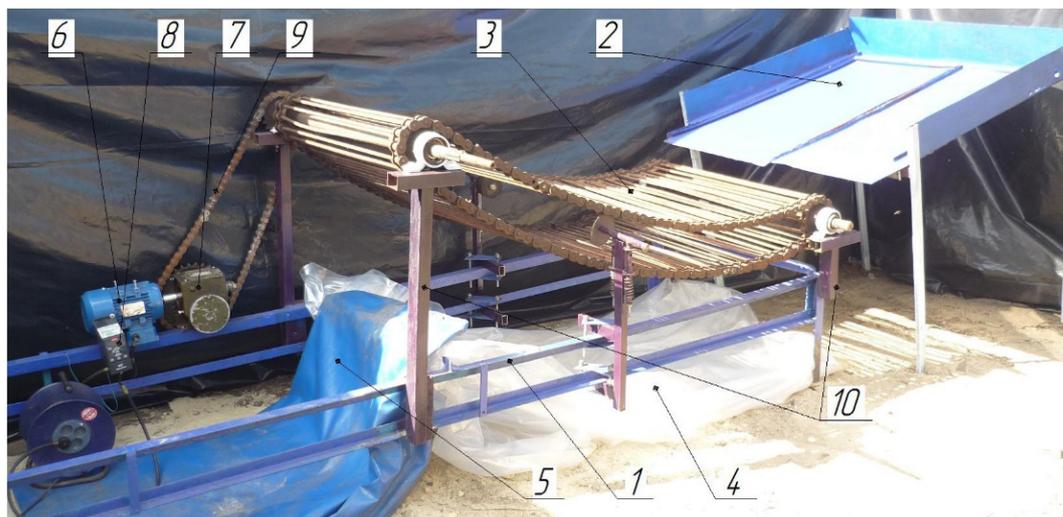
где  $Q_1$  – количество компонента после сепарации, %;  $Q_2$  – количество компонента в исходной фракции, %.

Эффект сепарации, зависящий от режимов работы устройства и параметров его работы, определяется подачей вороха, временем обработки, физическими свойствами и делимостью исходного продукта.

Величина подачи ( $Q_B$ , кг/с) определяется выражением:

$$Q_B = \frac{f \alpha \gamma}{t_B}, \quad (2)$$

где  $f$  – сечение потока сыпучей массы,  $\text{м}^2$ ;  $\alpha$  – длина сепарирующей поверхности, м;  $\gamma$  – объемный вес разделяемого материала,  $\text{кг/м}^3$ ;  $t_B$  – время обработки, кг/с.

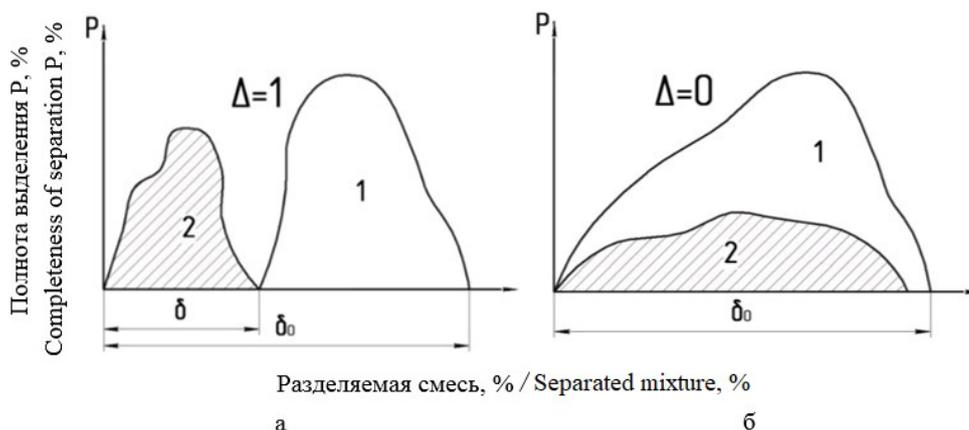


**Рис. 3. Общий вид лабораторной установки для исследования интенсивности сепарации почвенных примесей:**

1 – рама; 2 – емкость для предварительного размещения вороха; 3 – сепарирующий прутковый элеватор; 4 – брезент для сбора примесей; 5 – брезент для сепарированной продукции; 6 – электродвигатель; 7 – редуктор одноступенчатый; 8 – преобразователь частотный; 9 – передача цепная; 10 – стойки опорные

**Fig. 3. General view of the laboratory installation for studying the separation intensity of soil impurities:**

1 – frame; 2 – container for preliminary placement of a heap; 3 – separating rod elevator; 4 – tarpaulin for collecting impurities; 5 – tarpaulin of separated products; 6 – electric motor; 7 – single-stage gearbox; 8 – frequency converter; 9 – chain transmission; 10 – support posts



**Рис. 4. Вариационные кривые процесса сепарации separable (а) и inseparable (б) смеси:**

1 – основной компонент; 2 – примесь

**Fig. 4. Variation curves of the separation process for a separable mixture (a) and an inseparable mixture (b):**

1 – main component; 2 – impurity

Удельная начальная подача определяется как

$$Q_v = \frac{Q_B}{B_{\Pi}}, \tag{3}$$

где  $B_{\Pi}$  – ширина разделяемого потока, м.

Почвенный комок имеет разнообразную форму. Следовательно, примем за центр координат центр тяжести комка и рассмотрим возможные случаи нагружения его в почвенной массе.

Для существующих картофелеуборочных машин возмущающим воздействием является отклонение подачи клубненосной массы. Получим необходимые соотношения для описания динамических свойств

картофелеуборочного комбайна как объекта регулирования по управляющему воздействию.

Уравнение материального баланса для сепарирующих устройств картофелеуборочного комбайна первичной и вторичной очистки имеет вид:

$$\frac{dC_1}{dt} = Q_1 - C_{CX} - C_{PP}, \tag{4}$$

где  $Q_1$  – подача клубненосной массы на сепарирующий орган,  $м^3/с$ ;  $C_1$  – количество продукта, находящегося на сепарирующей поверхности,  $м^3$ ;  $C_{CX}$  – количество продукта, сходящего с сепарирующей поверхности,  $м^3/с$ ;  $C_{PP}$  – количество просеивающегося продукта,  $м^3/с$ .

В установившемся режиме количество почвы, выделяемое на сепарирующем органе  $C_{\text{ПР}}^0$ , является постоянным, тогда

$$Q_1^0 = C_{\text{ПР}}^0 + C_{\text{СХ}}^0, \tag{5}$$

где  $Q_1^0$  – количество массы, поступающей на сепарирующий орган, кг;  $C_{\text{СХ}}^0$  – количество массы, сходящей с сепарирующего органа, кг.

Учитывая равенство (5), а также то, что подача массы на сепарирующий орган является постоянной, то есть  $\bar{Q}_1 = \bar{Q}_1^0 = \text{const}$ , уравнение (5) можно записать следующим образом:

$$\frac{dC_1}{dt} = \Delta C_{\text{УД}}; \tag{6}$$

$$\Delta C_{\text{УД}} = \Delta C_{\text{Х}} + \Delta C_{\text{ПР}}; \tag{7}$$

$$\Delta C_1 = \frac{B_{\text{EL}} L_{\text{EL}}}{2} \Delta \bar{h}_L, \tag{8}$$

где  $\Delta \bar{h}_L$  – разница толщины слоя почвы на входе и выходе с участка сепарации, м.

Количество удаляемой с сепарирующего органа массы  $C_{\text{УД}}$  представляет стационарную функцию частоты колебаний пруткового элеватора и количества находящегося на нем продукта:

$$C_{\text{УД}} = C_{\text{УД}}(C_1, \omega_1), \tag{9}$$

где  $\omega_1$  – частота колебаний пруткового элеватора,  $\text{с}^{-1}$ .

При повсеместном внедрении в конструкцию энергетических средств и самоходных уборочных машин с гидростатической трансмиссией появится возможность варьирования подачи продукта на сепарирующие органы за счет соответствующего изменения скорости движения агрегата. Поэтому дальнейшие исследования влияния отклонений подачи на толщину слоя клубненосной массы представляют собой перспективное направление научно-исследовательских работ по совершенствованию функционирующих элементов и технологических схем уборочных машин, а также их агрегатированию.

Наиболее важным параметром разделения комков почвы от клубней картофеля является размер комков (рис. 5).

Перемещение на очистительных устройствах уборочной машины почвенных примесей в пределах одного текущего слоя свидетельствует о невозможности их полнейшего разрушения ввиду недостаточной высоты перепада между сепарирующими рабочими органами (предельно допустимая высота падения клубней на металлическую поверхность составляет не более 0,3 м). В этом случае можно говорить о недостаточной удельной потенциальной энергии разрушения почвенных комков.

При проведении исследований энергии разрушения почвенных комков изучались образцы влажностью, характерной при уборке картофеля и соответствующей формированию монолитного почвенного пласта.

Результаты проведенных исследований энергии разрушения почвенных частиц выщелоченного чернозема плотностью  $1652 \text{ кг/м}^3$  при коэффициенте вариации экспериментальных данных 0,28 (совокупность можно считать однородной) представлены в таблице и на рисунке 6.

Эмпирическая зависимость высоты падения и энергии разрушения почвенных частиц от их влажности представлена системой выражений:

$$\begin{cases} H(W) = -18,21 + 49,12 \lg W \\ \Theta(W) = -2684,87 + 7755,31 \lg W. \end{cases} \tag{10}$$

При неизменной плотности почвы и росте ее влажности от 10 до 30% прочность комков почвы увеличивается с  $6249,18$  до  $10118,5 \text{ Дж/м}^3$ . При влажности почвы свыше 25% пропорционально увеличивается максимальная высота разрушения почвенного комка: в среднем от 21,8 до 62,5 см, что объясняется набуханием частиц почвы, уменьшением расстояния между коллоидными частицами и созданием демпфера.

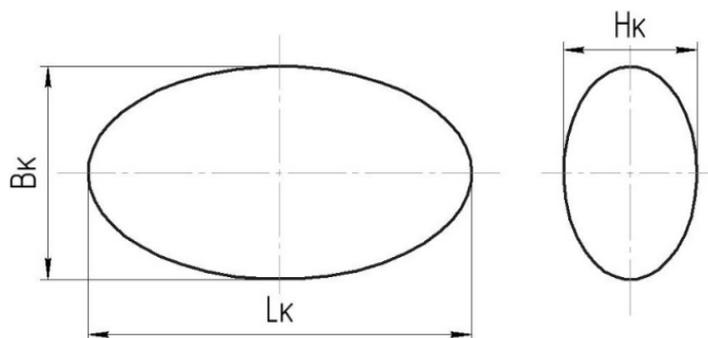


Рис. 5. Размерные характеристики комка почвы/клубня картофеля:

Lк – длина, мм; Вк – высота, мм; Нк – толщина, мм

Fig. 5. Dimensional characteristics of a soil clod/potato tuber

Lк – length, mm; Вк – height, mm; Нк – thickness, mm

Таблица

Энергия разрушения почвенных комков при варьировании их влажности и высоты падения

Table

## Results of studies of the energy required for crushing the soil layer

Абсолютная влажность выщелоченного чернозема, % <i>Absolute humidity of leached chernozem, %</i>	Высота падения почвенных частиц, см <i>Drop height of soil particles, cm</i>				Удельная потенциальная энергия разрушения почвенных комков, Дж/м <sup>3</sup> <i>Specific potential energy required for crushing soil clods, J/m</i>
	№ 1	№ 2	№ 3	среднее значение <i>average value</i>	
10	36,5	36,3	37,6	36,8	6249,18
11	36,8	36,8	37,4	37,0	5990,15
12	36,4	37,3	37,3	37,0	5990,15
13	36,9	38,1	37,2	37,4	6054,91
14	37,0	36,5	37,5	37,0	5990,15
15	37,3	37,0	37,6	37,3	6038,72
16	38,2	39,1	37,9	38,4	6216,81
17	38,4	37,7	40,0	38,7	6265,37
18	39,1	38,6	39,9	39,2	6346,32
19	40,8	41,0	39,7	40,5	6556,78
20	41,3	43,4	40,7	41,8	6767,25
21	41,4	42,2	43,3	42,3	6848,21
22	44,5	43,6	46,0	44,7	7236,75
23	47,4	47,6	48,4	47,8	7738,62
24	50,9	50,4	50,5	50,6	8191,93
25	51,7	52,4	51,6	51,8	8386,21
26	52,9	51,3	50,2	52,7	8531,91
27	50,3	54,4	48,7	53,2	8612,86
28	53,4	53,6	53,2	53,4	8645,24
29	57,0	56,2	56,9	56,7	9179,51
30	62,3	61,4	63,8	62,5	10118,5

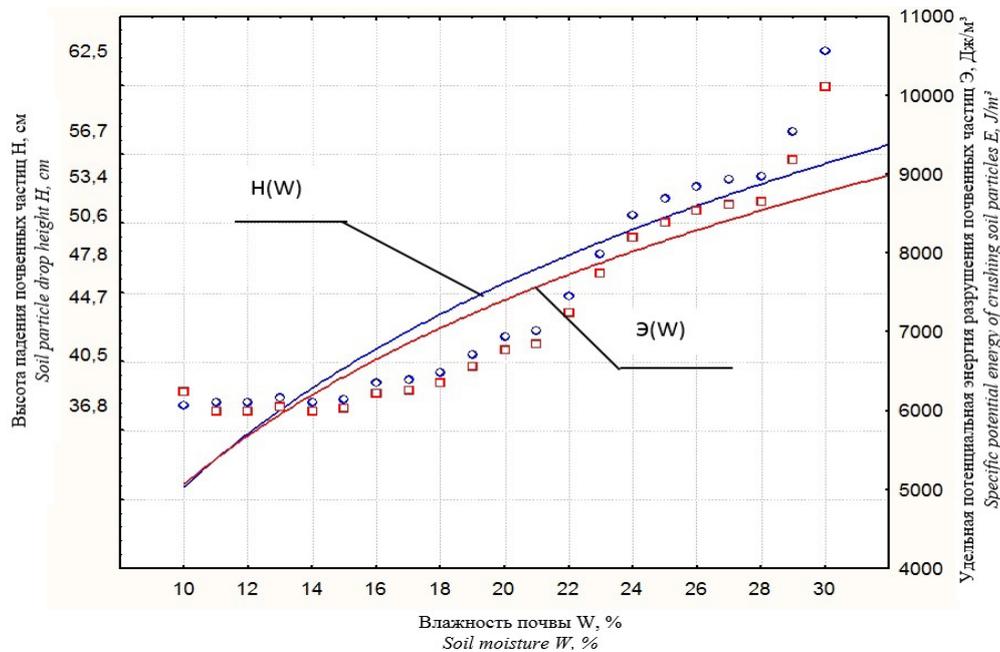


Рис. 6. Удельная потенциальная энергия разрушения почвенных частиц плотностью 1652 кг/м<sup>3</sup> в зависимости от влажности и высоты падения

Fig. 6. Specific potential energy of crushing soil particles with a density of 1652 kg/m<sup>3</sup> as a function of moisture and drop height

### Выводы

1. Материальный баланс для сепарирующих устройств картофелеуборочного комбайна первичной и вторичной очистки определяется массовой подачей клубненосной массы на сепарирующий орган и количеством массы, сходящей с сепарирующего органа. Количество удаляемой с сепарирующего органа массы является стационарной функцией частоты колебаний пруткового элеватора и количества находящегося на нем продукта.

2. Выявленные закономерности физико-механических свойств комков почвы при взаимодействии

с сепарирующим рабочим органом позволили определить энергию разрушения почвенных комков плотном элеватора.

При увеличении влажности почвы с 10 до 30% энергия разрушения комков возрастает в диапазоне 6249,18...10118,5 Дж/м<sup>3</sup>. При влажности почвы более 25% пропорционально повышается максимальная высота разрушения почвенного комка — до 60,2 см.

3. Высокое качество сепарации может достигаться выбором оптимальной частоты колебаний пруткового элеватора в зависимости от влажности почвы.

### Список источников

1. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. The results of field tests of an onion set harvesting machine equipped with a shaker arrangement asymmetrical bar elevato. *Engineering Technologies and Systems*. 2020;30(1):133-148. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202001.133-148>
2. Khura T., Mani I., Srivastava A. Design and development of tractor-drawn onion (*Allium cepa*) harvester. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2011;81(6):528-532.
3. Indrajа D., Ajkhilesh J., Vishal P., Amarsingh P., Ashutosh D. A review paper based on design and development of an onion harvesting machine. *Journal of Information and Computational Science*. 2019;9(12):333-337.
4. Бышов Н.В., Якутин Н.Н., Ковешников Р.Ю., Родионов В.В., Сержантов Н.В., Смирнов П.С. Модернизация копателя КСТ-1,4 // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2016. № 2. С. 75-78. EDN: WYJNSX
5. Dai F., Guo X.H., Zhao W., Xin S., Liu X., Wu Z. Design and experiment of canvas belt combined operation machine for po-

### References

1. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. The results of field tests of an onion set harvesting machine equipped with a shaker arrangement asymmetrical bar elevator. *Engineering Technologies and Systems*. 2020;30(1):133-148. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202001.133-148>
2. Khura T., Mani I., Srivastava A. Design and development of tractor-drawn onion (*Allium cepa*) harvester. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2011;81(6):528-532.
3. Indrajа D., Ajkhilesh J., Vishal P., Amarsingh P., Ashutosh D. A review paper based on design and development of an onion harvesting machine. *Journal of Information and Computational Science*. 2019;9(12):333-337.
4. Byshov N.V., Yakutin N.N., Koveshnikov R.Yu., Rodionov V.V., Serzhantov N.V., Smirnov P.S. Modernization of digging machine KST-1.4. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2016;2:75-78.
5. Dai F., Guo X.H., Zhao W., Xin S., Liu X., Wu Z. Design and experiment of canvas belt combined operation machine for potato digging and plastic film collecting.

tato digging and plastic film collecting. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2018;49(3):104-113. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2018.03.012>

6. Mu G., Wang W., Zhang T., Hu L., Zheng W., Zhang W. Design and experiment with a double-roller sweet potato vine harvester. *Agriculture*. 2022;12(10):1559. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101559>

7. Lu K., Xie S., Gai X., Ji X. Design and Experiment of Toggle Lever-Type Potato Picker. *Agriculture*. 2024;14:826. <https://doi.org/10.3390/agriculture14060826>

8. Cao T., Wang Y., Chen J. Analysis and simulation of potato combine harvesting machine. *Communications, Signal Processing, and Systems. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2022. Pp. 1154-1161. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0390-8\\_145](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0390-8_145)

9. Калинин А.Б., Теплинский И.З., Кудрявцев П.П. Почвенное состояние в интенсивной технологии // Картофель и овощи. 2016. № 2. С. 35-36.

10. Калинин А.Б., Устроев А.А. Теоретические предпосылки и практические приемы рациональной системы обработки почвы в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 90. С. 70-78. EDN: XELKLF

11. Jia B., Sun W., Zhao Z., Wang H., Zhang H., Liu X., Li H. Design and field test of a remotely controlled self-propelled potato harvester with manual sorting platform. *American Journal of Potato Research*. 2023;100:193-209. <https://doi.org/10.1007/s12230-023-09909-3>

12. Wang L., Liu F., Wang Q., Zhou J., Fan X., Li J., Zhao X., Xie S. Design of a spring-finger potato picker and an experimental study of its picking performance. *Agriculture*. 2023;13(5):945. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050945>

*Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2018;49(3):104-113. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2018.03.012>

6. Mu G., Wang W., Zhang T., Hu L., Zheng W., Zhang W. Design and experiment with a double-roller sweet potato vine harvester. *Agriculture*. 2022;12(10):1559. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101559>

7. Lu K., Xie S., Gai X., Ji X. Design and Experiment of Toggle Lever-Type Potato Picker. *Agriculture*. 2024;14:826. <https://doi.org/10.3390/agriculture14060826>

8. Cao T., Wang Y., Chen J. Analysis and simulation of potato combine harvesting machine. *Communications, Signal Processing, and Systems. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2022. Pp. 1154-1161. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0390-8\\_145](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0390-8_145)

9. Kalinin A.B., Teplinsky I.Z., Kudryavtsev P.P. Soil condition in the intensive technology. *Potatoes and Vegetables*. 2016;2:35-36. (In Russ.)

10. Kalinin A.B., Ustroev A.A. Theoretical premises and practices of rational soil tillage system as a part of farm crops cultivation technologies. *AgroEcoEngineering = Tekhnologii i Tekhnicheskiye Sredstva Mekhanizirovannogo Proizvodstva Produktsii Rasteniyevodstva i Zhivotnovodstva*. 2016;90:70-78. (In Russ.)

11. Jia B., Sun W., Zhao Z., Wang H., Zhang H., Liu X., Li H. Design and field test of a remotely controlled self-propelled potato harvester with manual sorting platform. *American Journal of Potato Research*. 2023;100:193-209. <https://doi.org/10.1007/s12230-023-09909-3>

12. Wang L., Liu F., Wang Q., Zhou J., Fan X., Li J., Zhao X., Xie S. Design of a spring-finger potato picker and an experimental study of its picking performance. *Agriculture*. 2023;13(5):945. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050945>

### Информация об авторах

**Алексей Семёнович Дорохов**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, академик РАН; [dorokhov@rgau-msha.ru](mailto:dorokhov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

**Михаил Никитич Ерохин**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, профессор, академик РАН; [er.mihn@mail.ru](mailto:er.mihn@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

**Алексей Викторович Сибирёв**<sup>3</sup>, д-р техн. наук, главный научный сотрудник; [sibirev2011@yandex.ru](mailto:sibirev2011@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

**Максим Александрович Мосяков**<sup>4</sup>, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; [maks.mosyakov@yandex.ru](mailto:maks.mosyakov@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

<sup>1,3,4</sup> Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

### Вклад авторов

А.С. Дорохов – формулирование основной концепции исследования;

М.Н. Ерохин – разработка методологии исследования;

А.В. Сибирёв – описание результатов и формирование выводов исследования, подготовка начального варианта текста; М.А. Мосяков – представление результатов, подготовка графических материалов.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 25.06.2024, после рецензирования и доработки 10.07.2024; принята к публикации 12.07.2024

### Author Information

**Aleksei S. Dorokhov**<sup>1</sup>, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor; [dorokhov@rgau-msha.ru](mailto:dorokhov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

**Mikhail N. Erokhin**<sup>2</sup>, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor; [er.mihn@mail.ru](mailto:er.mihn@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

**Aleksei V. Sibirev**<sup>3</sup>, DSc (Eng), Chief Research Engineer; [sibirev2011@yandex.ru](mailto:sibirev2011@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

**Maksim A. Mosyakov**<sup>4</sup>, CSc (Eng), [maks.mosyakov@yandex.ru](mailto:maks.mosyakov@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

<sup>1,3,4</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia

<sup>2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

### Author Contribution

A.S. Dorokhov – conceptualization;

M.N. Erokhin – research methodology;

A.V. Sibirev – description of the results (data curation) and presentation of conclusions, writing – original draft preparation;

M.A. Mosyakov – presentation of results, visualization.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism  
Received 25.06.2024, revised 10.07.2024; accepted 12.07.2024

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.51

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-13-18>

## Интенсивность воздействия газоструйного излучателя на поверхностный слой суглинистой почвы: результаты исследований

*С.И. Старовойтов<sup>1</sup>✉, Н.П. Старовойтова<sup>2</sup>*<sup>1,2</sup>Брянский государственный аграрный университет; г. Брянск, Россия<sup>1</sup>[Starovoitov.si@mail.ru](mailto:Starovoitov.si@mail.ru)✉; <https://orcid.org/0000-0003-4429-7929><sup>2</sup>[Starovoitova.np@mail.ru](mailto:Starovoitova.np@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0001-8416-3493>

**Аннотация.** Разработка технологии поверхностного рыхления почвы сжатым воздухом за счет ультразвукового воздействия является актуальной задачей, поскольку это позволяет проводить объемное рыхление поверхностного слоя почвы без механического воздействия. Исследования проведены с целью определения степени интенсивности воздействия струи сжатого воздуха в режиме ультразвуковых колебаний на поверхностный слой суглинистой почвы. Для экспериментальных исследований изготовлен газоструйный излучатель, ось выходного отверстия которого перпендикулярна оси набегающего и отраженного потока. Газоструйный излучатель имеет следующие геометрические характеристики: диаметр входного отверстия сопла – 5,7 мм; диаметр критического отверстия сопла – 2,9 мм; расстояние между сечением входного и критического отверстия сопла – 5,9 мм; диаметр выходного отверстия сопла – 3,42 мм; расстояние между сечением критического и выходного отверстия – 2,4 мм; расстояние между соплом и резонатором – 3,75 мм; диаметр и глубина колодца резонатора – 3 мм; внутренний диаметр рабочей камеры – 12 мм; диаметр выпускного отверстия – 5 мм. Реакция среды на сброс давления ресивера в интервале 0,2...0,5 МПа оценивалась глубиной проникновения воздушной струи, возможностью выкрашивания поверхности, разрушения образца, наличия широких трещин. Исследовались почвенные образцы диаметром 0,1 и высотой 0,05 м. В результате исследований установлено, что при величине абсолютной влажности суглинистой почвы 17% и твердости 4,16 МПа глубина проникновения струи воздушного потока составила 3...5 см. Полное разрушение почвенного образца соответствовало давлению сброса ресивера 0,45 и 0,5 МПа. Выкрашивание поверхности образцов характерно для сброса давления ресивера в диапазоне 0,2...0,4 МПа. Сделан вывод о том, что для газоструйного излучателя с заявленными геометрическими характеристиками расстояние между соплом и резонатором должно составлять 3,75 мм, а давление сброса ресивера – 0,4 МПа.

**Ключевые слова:** газоструйный излучатель, интенсивность воздействия газоструйного излучателя, поверхностный слой суглинистой почвы, ультразвук, влажность почвы, выкрашивание поверхности

**Для цитирования:** Старовойтов С.И., Старовойтова Н.П. Интенсивность воздействия газоструйного излучателя на поверхностный слой суглинистой почвы: результаты исследований // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 4. С. 13-18. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-13-18>

## ORIGINAL ARTICLE

## Intensity of the impact made by a gas-jet emitter on the surface layer of the loamy soil: research results

*S.I. Starovoitov<sup>1</sup>✉, N.P. Starovoitova<sup>2</sup>*<sup>1,2</sup>Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia<sup>1</sup>[Starovoitov.si@mail.ru](mailto:Starovoitov.si@mail.ru)✉; <https://orcid.org/0000-0003-4429-7929><sup>2</sup>[Starovoitova.np@mail.ru](mailto:Starovoitova.np@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0001-8416-3493>

**Abstract.** It is an urgent task to develop the technology of surface soil loosening by compressed air based on an ultrasonic impact, because it provides volumetric loosening of the surface soil layer without a mechanical impact. The research was carried out to determine the degree of intensity of the compressed air jet impact in the ultrasonic oscillation mode on the surface layer of the loamy soil. For experimental studies, the authors made a gas-jet emitter with the axis of the outlet hole perpendicular to the axis of the impinging and reflected flow. The gas-jet emitter has the following geometrical characteristics: nozzle inlet diameter – 5.7 mm; nozzle critical orifice

diameter – 2.9 mm; distance between the cross-section of the nozzle inlet and critical orifice – 5.9 mm; nozzle outlet diameter – 3.42 mm; distance between the cross-section of the critical and outlet orifices – 2.4 mm; distance between the nozzle and the resonator – 3.75 mm; diameter and depth of the resonator well – 3 mm; inner diameter of the working chamber – 12 mm; diameter of the outlet orifice – 5 mm. The reaction of the medium to the receiver pressure release in the range of 0.2 to 0.5 MPa was estimated by the depth of air jet penetration, a possibility of surface pitting, sample destruction, and the emergence of wide cracks. The authors studied soil samples with a diameter of 0.1 and a height of 0.05 m. As a result of the study, they established that at an absolute moisture value of the loamy soil of 17% and a hardness of 4.16 MPa, the depth of penetration of an air stream jet was 3 to 5 cm. The complete destruction of the soil sample corresponded to a receiver discharge pressure of 0.45 and 0.5 MPa. Surface pitting of the samples is characteristic for a receiver pressure drop in the range of 0.2 to 0.4 MPa. The articles concludes that for a gas-jet emitter with the claimed geometrical characteristics the distance between the nozzle and the resonator should be 3.75 mm, and the receiver discharge pressure should equal 0.4 MPa.

**Keywords:** gas-jet emitter, surface layer, loamy soil, compressed air, ultrasound, soil moisture, surface painting

**For citation:** Starovoitov S.I., Starovoitova N.P. Intensity of the impact made by a gas-jet emitter on the surface layer of the loamy soil: research results. Application of digital marking of spare parts. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(4):13-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-13-18>

### Введение

Обработка почвы является одной из важнейших и энергоемких технологических операций при производстве сельскохозяйственной продукции [1-3]. С целью создания оптимального водного, воздушного, теплового режимов и снижения энергоемкости взаимодействия деформатора и среды учеными исследуются перспективные виды воздействия на почву<sup>1,2</sup> [4]. Одним из них является рыхление почвы импульсами сжатого воздуха в режиме ультразвуковых колебаний, способных вызвать акустический кавитационный процесс. При прохождении звуковой волны через среду происходит образование и схлопывание воздушных полостей. Использование пульсирующей воздушной струи газоструйного излучателя, размещенного внутри рабочего органа, позволит осуществлять объемное рыхление поверхностного слоя почвы без механического воздействия, что является особенно актуальным при реализации полосовой обработки.

При ультразвуковом воздействии сжатого воздуха на поверхностный слой почвы важно знать реакцию среды при ее различной степени влажности. Интенсивность воздействия сжатого воздуха в режиме ультразвуковых колебаний предлагается оценивать с помощью глубины проникновения воздушной струи, возможностью выкрашивания поверхности, разрушения образца, наличия широких трещин.

<sup>1</sup> Бурченко П.Н. Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения: Монография. М.: ВИМ, 2002. 212 с.

<sup>2</sup> Ториков В.Е., Мельникова О.В. Научные основы агрономии: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2020. 348 с.

Если исключить режим ультразвуковых колебаний и предположить наличие только выброса сжатого воздуха, то с увеличением давления до определенного предела увеличивается скорость движения и, соответственно, глубина проникновения воздушного потока. Область, подвергшаяся воздействию струи воздушного потока, приобретает цилиндрическую (колоннообразную) форму с постоянной по глубине обработки шириной сечения.

При подаче сжатого воздуха в почву в режиме ультразвуковых колебаний агрессивность потока будет проявляться уже в момент входа воздушного потока в поверхностный слой. Форма тела разрушения будет соответствовать усеченному конусу, повернутому большим основанием к дневной поверхности. Можно предположить, что для данного режима работы в большей мере будет проявляться показатель выкрашивания поверхности. Наиболее эффективным будет режим с давлением ресивера, при котором будет наблюдаться максимальная глубина проникновения струи и выкрашивание поверхности.

**Цель исследований:** оценить интенсивность воздействия газоструйного облучателя в режиме ультразвуковых колебаний на поверхностный слой суглинистой почвы с абсолютной влажностью, сопоставимой с нижним пределом физической спелости среды.

### Материалы и методы

Для оценки интенсивности воздействия сжатого воздуха в режиме ультразвуковых колебаний на поверхностный слой суглинистой почвы ранее авторами изготовлен газоструйный излучатель (рис. 1), способный создавать частоту звуковой волны 20000 Гц,

и экспериментально доказана возможность рыхления поверхностного слоя почвы [5, 6]. У излучателя продольная ось выходного отверстия рабочей камеры перпендикулярна оси набегающего и отраженного воздушного потока, что позволяет фокусировать энергию воздушного потока рабочей камеры. К важнейшим регулировочным параметрам газоструйного излучателя относятся расстояние между соплом 2 и резонатором 3, давление сброса ресивера. Сверхзвуковое истечение сжатого воздуха из сопла камеры достигается применением сопла Лавалья. Газоструйный излучатель соединен с компрессором Wert (рис. 2).

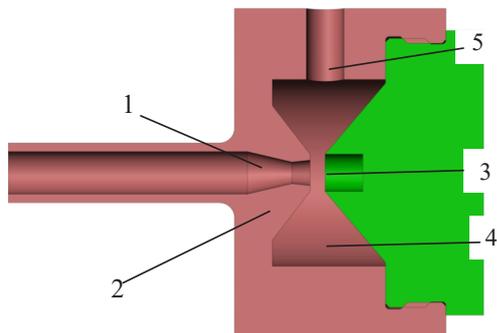


Рис. 1. Разработанный газоструйный излучатель:

- 1 – корпус газоструйного излучателя;
- 2 – сопло; 3 – резонатор; 4 – рабочая камера;
- 5 – выходное отверстие рабочей камеры

Fig. 1. Gas-jet emitter:

- 1 – gas-jet emitter body, 2 – nozzle, 3 – resonator,
- 4 – working chamber, 5 – working chamber outlet

Установлено, что работе указанного газоструйного излучателя при расстоянии между соплом и резонатором 3,75 мм, давлении сброса ресивера 0,4 МПа соответствует узкополосный спектр, указывающий на возможность работы устройства в режиме ультразвуковых колебаний (рис. 3).

Газоструйный излучатель имеет следующие геометрические характеристики:

- диаметр входного отверстия сопла  $d_{вк} = 5,7$  мм;
- диаметр критического отверстия сопла  $d_{крит} = 2,9$  мм;
- расстояние между сечением входного и критического отверстия сопла  $l_{вк} = 5,9$  мм;



Рис. 2. Газоструйный излучатель, соединенный с компрессором Wert

Fig. 2. Gas-jet emitter

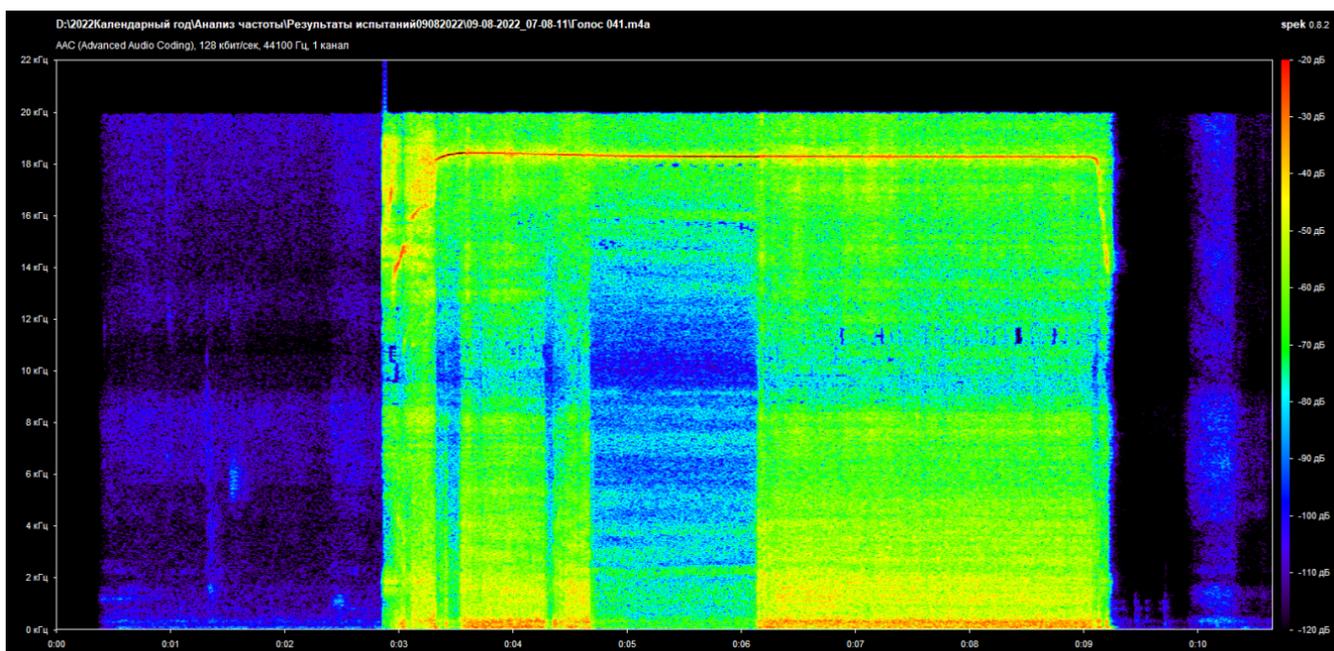


Рис. 3. Спектрограмма при расстоянии между соплом и резонатором газоструйного излучателя 3,75 мм и давлении сброса ресивера 4 МПа

Fig. 3. Spectrogram at a distance between the nozzle and the resonator of the gas-jet emitter of 3.75 mm and the discharge pressure of the receiver of 4 MPa

- диаметр выходного отверстия сопла  $d_c = 3,42$  мм;
- расстояние между сечением критического и выходного отверстия  $l_{кв} = 2,4$  мм;
- расстояние между соплом и резонатором  $t_{cp} = 3,75$  мм;
- диаметр колодца резонатора  $d_p = 3$  мм;
- глубина колодца резонатора  $h_p = 3$  мм;
- внутренний диаметр рабочей камеры  $d_{врк} = 12$  мм;
- диаметр выпускного отверстия рабочей камеры  $d_{вн} = 5$  мм.

В интервале сброса давления ресивера 0,2...0,5 МПа с шагом 0,05 МПа объемный расход, м<sup>3</sup>/с, принимал значения: 0,0075; 0,00828; 0,00858; 0,00876; 0,00888; 0,00896; 0,00903. Расстояние между соплом и резонатором устанавливалось за счет вращения резонатора.

Были подготовлены почвенные образцы диаметром 0,1 м и высотой 0,05 м (рис. 4). После воздействия струи сжатого воздуха глубина проникновения струи (ГО) определялась с помощью измерительной рулетки. Выкрашивание поверхности (ВП), наличие широких трещин (ШТ) и возможность полного разрушения (ПР) оценивались визуально.

Абсолютная влажность почвы определялась с помощью термостатно-весового метода в сушильном шкафу СЭШ-3М и весов Pocket Scale МН-200 с ценой деления 0,01 г. Твердость почвы определялась с помощью твердомера Wile soil.



Рис. 4. Серия почвенных образцов  
Fig. 4. Soil sample series

### Результаты и их обсуждение

При проведении экспериментальных исследований абсолютная влажность суглинистой почвы составила 17%, твердость – 4,16 МПа. Деформация почвенных образцов отражена на рисунке 5. Анализ результатов интенсивности воздействия воздушного потока: глубина проникновения струи на 3 и 5 см (ГОЗ, ГО5),

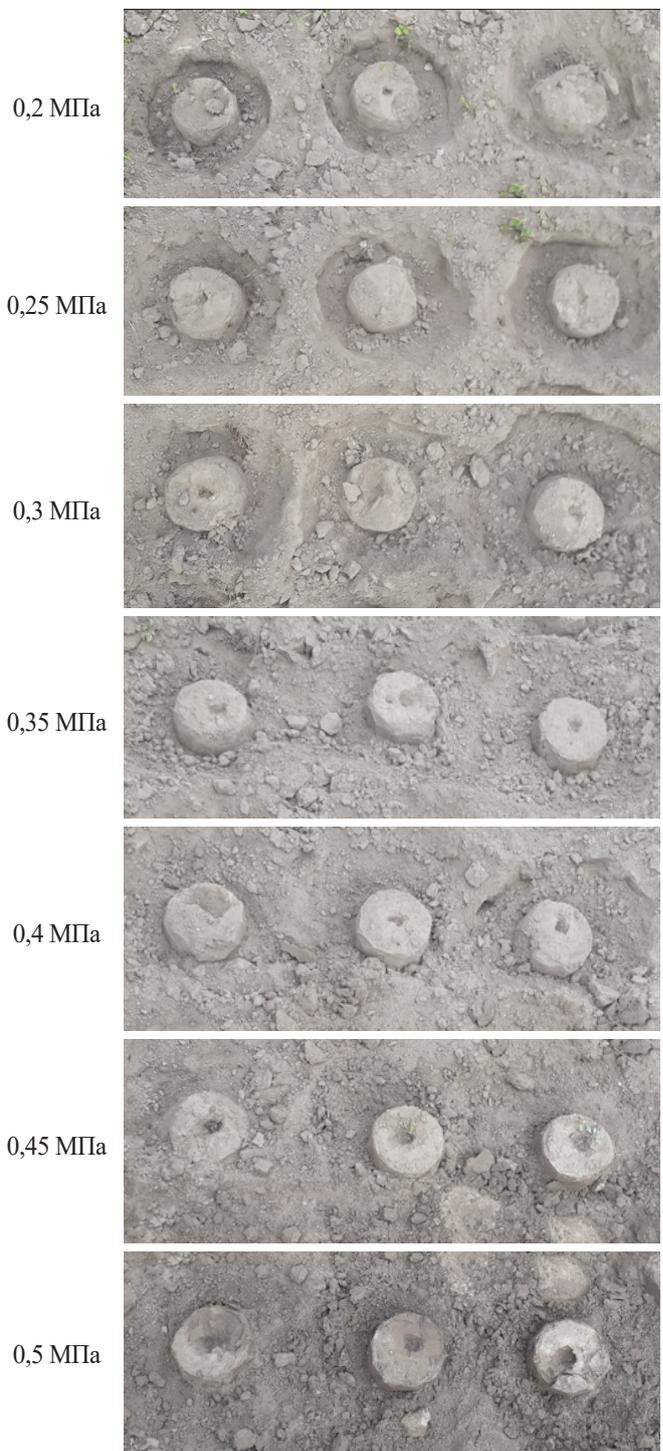


Рис. 5. Деформация почвенных образцов при сбросе давления ресивера  
Fig. 5. Deformation of soil samples when the receiver pressure is released

выкрашивание поверхности (ВП), наличие широких трещин (ШТ) и возможность полного разрушения (ПР) – представлен в таблице 1.

При работе газоструйного излучателя в интервале сброса давления ресивера 0,2...0,3 МПа глубина обработки составила 0,03 м. Наблюдалось выкрашивание поверхности. Широкие трещины отсутствовали. Полное разрушение почвенных образцов не наблюдалось.

В интервале сброса давления ресивера 0,35...0,4 МПа глубина проникновения струи находилась в пределах 0,03...0,05 м, наблюдалось также выкрашивание поверхности. Увеличение глубины проникновения струи можно объяснить двояко: во-первых, большая глубина проникновения связана с возросшей кинетической энергией струи; во-вторых, большая глубина проникновения связана с реализацией генератором Гартмана узкополосого спектра (рис. 2) с частотой звуковой волны 18000 Гц. Разграничить эти гипотезы можно лишь косвенно.

При сбросе давления ресивера 0,45...0,5 МПа глубина проникновения составила также 3...5 см с преобладанием величины 5 см. Наблюдались также выкрашивание поверхности, полное разрушение образца, наличие широкой трещины.

При воздействии сжатого воздуха в режиме ультразвуковых колебаний на почву с абсолютной влажностью, близкой к нижнему пределу физической спелости почвы, процесс сопровождался ее пылевидным выбросом. Воздействие на почву с абсолютной влажностью, близкой к верхнему пределу физической спелости, сопровождалось фрагментацией почвенных агрегатов при исключении пылевидного выброса.

В результате исследований установлено, что при абсолютной влажности суглинистой почвы 17% и твердости 4,16 МПа глубина проникновения струи воздушного потока составила 3...5 см. Полное разрушение почвенного образца соответствовало давлению сброса ресивера 0,45 и 0,5 МПа. Выкрашивание поверхности характерно для сброса давления ресивера в диапазоне 0,2...0,4 МПа.

Результаты анализа интенсивности воздействия воздушного потока

Таблица 1

Results of the air flow intensity analysis

Table 1

Давление сброса ресивера, МПа <i>Receiver release pressure, MPa</i>	1 повтор <i>Retry 1</i>	2 повтор <i>Retry 2</i>	3 повтор <i>Retry 3</i>
0,20	ГОЗ	ГОЗ, ВП	ГОЗ, ВП
0,25	ГОЗ	ГОЗ	ГОЗ, ВП
0,30	ГОЗ	ГОЗ, ВП	ГОЗ, ВП
0,35	ГОЗ	ГОЗ	ГОЗ
0,40	ГО5, ВП	ГО5	ГО5
0,45	ГО5, ПР	ГОЗ	ГО5
0,50	ГО5, ПР	ГО5	ГО5, ШТ

### Выводы

1. Интенсивность воздействия сжатого воздуха в режиме ультразвуковых колебаний предлагается оценивать глубиной проникновения воздушной струи, возможностью выкрашивания поверхности, наличия широких трещин и разрушения образца.

2. Для почвы с абсолютной влажностью, близкой к нижнему пределу физической спелости, возможность выкрашивания поверхности является априорным показателем, указывающим на оптимальное давление выброса сжатого воздуха.

3. Для газоструйного излучателя, у которого ось выходного отверстия перпендикулярна оси набегающего и отраженного потока, расстояние между соплом и резонатором должно составлять 3,75 мм, рекомендуемое давление сброса ресивера должно быть равным 4 МПа. При этом глубина проникновения струи воздушного потока составляет 3...5 см.

4. При разработке методики оценки степени разрушения необходимо предусмотреть возможность исключения потерь частиц почвы при возможном пылевидном выбросе.

## Список источников

1. Лобачевский Я.П., Сизов О.А., Ахалая Б.Х. Ресурсосберегающий и экологически эффективный способ сохранения плодородия почвы в ротации севооборота // Научно-инновационная деятельность в агропромышленном комплексе: Сборник научных статей 6-й Международной научно-практической конференции, Минск, 11-12 июня 2014 г. Минск: БГАТУ, 2014. С. 174-179. URL: <http://rep.bsatu.by/handle/doc/4170?ysclid=lrvi27pqbf441035337> (дата обращения: 27.01.2024).
2. Мазитов Н.К., Рахимов Р.С., Лобачевский Я.П., Сахапов Р.Л., Галаяудинов Н.Х., Шарафиев Л.З. Влажно- и энергосберегающая технология обработки и посева в острозасушливых условиях // Техника и оборудование для села. 2013. № 3. С. 2-6. EDN: PWVYJN
3. Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 3 (32). С. 94-100. EDN: YLWHAL
4. Старовойтов С.И., Гринь А.М., Ахалая Б.Х., Старовойтова Н.П., Беляева Н.И. Об интенсивности воздействия сжатого воздуха на поверхностный слой суглинистой почвы // Современные тенденции развития аграрной науки: Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, г. Брянск, 2023 г. Брянск, 2023. С. 14-20. EDN: VKHOKT
5. Старовойтов С.И., Ахалая Б.Х. Об ультразвуковом рыхлении поверхностного слоя почвы // Агрофизический институт: 90 лет на службе земледелия и растениеводства: Материалы Международной научной конференции, г. Санкт-Петербург, 2022 г. СПб., 2022. С. 608-615. EDN: THUPIV
6. Старовойтов С.И., Ахалая Б.Х., Коротченя В.М., Беляева Н.И. К определению частоты звуковой волны газоструйного излучателя // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет, 2022. С. 408-411. EDN: JSLGON

## Информация об авторах

**Сергей Иванович Старовойтов<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве; [starovoitov.si@mail.ru](mailto:starovoitov.si@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4429-7929>; SPIN: 3535-6905.

**Наталья Петровна Старовойтова<sup>2</sup>**, канд. биол. наук, доцент кафедры агрохимии, почвоведения и экологии; [starovoitova.np@mail.ru](mailto:starovoitova.np@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0001-8416-3493>; SPIN:3535-6905

<sup>1,2</sup>Брянский государственный аграрный университет; 243365, Российская Федерация, Брянская область, Выгоничский р-он, с. Кокино, ул. Советская, 2а.

## Вклад авторов

С.И. Старовойтов – концептуализация, экспертная оценка, создание окончательной версии рукописи;  
Н.П. Старовойтова – концептуализация, визуализация, создание черновика рукописи.

Статья поступила 17.02.2024, после рецензирования и доработки – 16.05.2024; принята к публикации 17.05.2024

## References

1. Lobachevsky Y.P., Sizov O.A., Akhalaya B.Kh. Resource-saving and environmentally effective way to preserve soil fertility in a crop rotation cycle. *Scientific and innovative activity in the agro-industrial sector. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference*: June 11-12, 2014; Minsk. URL: <http://rep.bsatu.by/handle/doc/4170?ysclid=lrvi27pqbf441035337>. (In Belarusian)
2. Mazitov N.K., Rakhimov R.S., Lobachevsky Ya.P., Sakhapov R.L., Galyautdinov N.Kh., Sharafiev L.Z. Moisture and energy-saving technology of soil cultivation and sowing in strongly arid conditions. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2013;3:2-6. (In Russ.)
3. Mazitov N.K., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Agricultural machinery: solutions and prospects. *Vestnik VIESKh*. 2018;3:94-100. (In Russ.)
4. Starovoitov S.I., Grin AM, Akhalaya B.H., Starovoitova N.P., Belyaeva N.I. On the intensity of the compressed air influence on the surface layer of loamy soil. *Modern Trends in the Development of Agrarian Science. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference*. Bryansk. 2023;14-20. (In Russ.)
5. Starovoitov S.I., Akhalaya B.H. On ultrasonic loosening of the soil surface layer. *Agrophysical Institute: 90 Years' Service for Agriculture and Plant Growing. Proceedings of the International Scientific Conference*. St. Petersburg. 2022:608-615. (In Russ.)
6. Starovoitov S.I., Akhalaya B.Kh., Korotchenya V.M., Belyaeva N.I. On determining the frequency of the sound wave of the gas jet emitter. *Technical support of innovative technologies in the Agricultural Sector. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Belarusian State Agrarian Technical University. 2022;408-411. (In Russ.)

## Author Information

**Sergei I. Starovoitov<sup>1</sup>**, DSc (Eng), Associate Professor, the Department of Technical Systems in Agribusiness, Environmental Management and Road Construction"; [starovoitov.si@mail.ru](mailto:starovoitov.si@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4429-7929>; SPIN: 3535-6905.

**Natalia P. Starovoitova<sup>2</sup>**, CSc (Bio), Associate Professor, the Department of Agrochemistry, Soil Science, and Ecology; [starovoitova.np@mail.ru](mailto:starovoitova.np@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0001-8416-3493>; SPIN:3535-6905

<sup>1,2</sup>Bryansk State Agrarian University, 243365 Russian Federation, Bryansk Region, Vygonichi district, Kokino, Sovetskaya Str., 2a.

## Author Contribution

S.I. Starovoitov – conceptualization, expert assessment, finalizing (revising and editing) of the manuscript;  
N.P. Starovoitova – conceptualization, visualization, writing – original draft preparation

Received 17.02.2024; Revised 16.05.2024; Accepted 17.05.2024

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.363.285

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-19-26>

## Условия эксплуатации шнеков экструдеров в кормопроизводстве для животноводства

*Д.М. Скороходов<sup>1</sup>, А.Н. Скороходова<sup>2</sup>, С.С. Басов<sup>3</sup>*<sup>1,2,3</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия<sup>1</sup> [d.skorokhodov@rgau-msha.ru](mailto:d.skorokhodov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6315-4184><sup>2</sup> [red-green216@mail.ru](mailto:red-green216@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5451-810X><sup>3</sup> [basovserega@mail.ru](mailto:basovserega@mail.ru)

**Аннотация.** Качество корма влияет на продуктивность сельскохозяйственных животных. Оптимизировать его приготовление можно с помощью экструдеров. Шнеки экструдеров подвергаются абразивному и коррозионному изнашиванию. Износ шнека экструдера является важным критерием при оценке работоспособности машины. Анализ производства кормовых экструдеров показал, что большинство экструдеров для кормопроизводства и запасных частей к ним являются импортными. С целью необходимости замены дорогостоящих импортных рабочих органов отечественными, обладающими высокой износостойкостью и работоспособностью, рассмотрены условия эксплуатации кормовых экструдеров и выявлены наиболее значимые причины износа шнеков. Проведен анализ научных публикаций по оценке различных показателей (структура сталей, содержание сторонних примесей в составе сталей, плотность сталей, температура, нагрев и др.), влияющих на износостойкость и коррозионную стойкость шнеков кормовых экструдеров. Рассмотрены процессы, протекающие в молекулярной структуре перерабатываемого сырья. В результате установлено, что износ шнеков обусловлен несоответствием их геометрических и физико-механических параметров, повышенной кислотностью перерабатываемой смеси и особенностями режима работы (повышенные значения температуры 100...180°C, влажность кормовых смесей 10...30%, давление прессования 3,0...5,0 МПа). В зависимости от типа получаемого корма его химический состав варьируется: содержание белков – от 20 до 40%, углеводов – 50...80%, жиров – 10...35%. Повысить прочность рабочих органов экструдеров можно за счет получения износостойких и стойких к коррозии покрытий на рабочих кромках рабочих органов экструдеров. Необходимо разрабатывать отечественные технологии и роботизированные средства в целях упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин для животноводства. Для решения этой задачи необходимы новые материалы и технологии.

**Ключевые слова:** животноводство, комбикорм, экструдер, рабочий орган, шнек, зерновое сырье, технологический процесс, износ

**Финансирование.** Работа выполнена за счет средств Программы «Научная стажировка» в рамках развития университета «Агропрорыв-2030» программы академического стратегического лидерства «Приоритет-2030» (приказ от 1 ноября 2022 г. № 1082, тема «Исследование конструкционных материалов и нано-структурированных функциональных покрытий для сельскохозяйственной техники и оборудования»).

**Для цитирования:** Скороходов Д.М., Скороходова А.Н., Басов С.С. Условия эксплуатации шнеков экструдеров в кормопроизводстве для животноводства // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 4. С. 19-26. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-19-26>

## ORIGINAL PAPER

## Operating conditions of extruder screws in livestock feed production

*D.M. Skorokhodov<sup>1</sup>, A.N. Skorokhodova<sup>2</sup>, S.S. Basov<sup>3</sup>*<sup>1,2,3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia<sup>1</sup> [d.skorokhodov@rgau-msha.ru](mailto:d.skorokhodov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6315-4184><sup>2</sup> [red-green216@mail.ru](mailto:red-green216@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5451-810X><sup>3</sup> [basovserega@mail.ru](mailto:basovserega@mail.ru)

**Abstract.** The quality of the forage affects the productivity of farm animals. Its preparation can be optimized with the use of extruders. Extruder screws are subject to abrasive and corrosive wear. Extruder screw wear is an important criterion in assessing the performance of the machine. The analysis of feed extruder production has shown

that the majority of extruders and their spare parts are imported. To provide for domestic substitutes for expensive imported working tools having high wear resistance and serviceability, the authors considered the operating conditions of feed extruders and revealed the most significant causes of screw wear. They analyzed scientific publications on estimation of various parameters (structure of steels, content of foreign impurities in steel composition, steel density, temperature, heating, etc.) influencing wear resistance and corrosion resistance of feed extruder screws; particular attention was paid to the molecular structure changes of processed raw materials. As a result it is established that wear of screws is caused by the discrepancy of their geometrical and physical-mechanical parameters, increased acidity of processed mixture and peculiarities of the operation mode (increased values of the temperature of 100 to 180°C, the moisture content of fodder mixtures of 10 to 30%, and the extrusion pressure of 3 to 5 MPa). Depending on the type of fodder obtained, its chemical composition varies: protein content – from 20 to 40%, carbohydrates – from 50 to 80%, fats – from 10 to 35%. It is possible to increase the durability of extruder working tools by depositing wear-resistant and corrosion-resistant coatings on their working edges. It is necessary to develop domestic technologies and robotic means for strengthening of working tools of agricultural machines for livestock breeding. New materials and technologies are needed to solve this problem.

**Keywords:** livestock farming, compound feed, extruder, working tool, screw, grain raw materials, technological process, wear

**Funding.** The work was funded by the “Scientific Internship” Programme within the framework of the University development “Agroproryv-2030” project of the academic strategic leadership program “Priority-2030” (order of November 1, 2022 No. 1082, topic “Research of structural materials and nano-structured functional coatings for agricultural machinery and equipment”).

**For citation:** Skorokhodov D.M., Skorokhodova A.N., Basov S.S. Operating conditions of extruder screws in livestock feed production. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(4):19-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-19-26>

## Введение

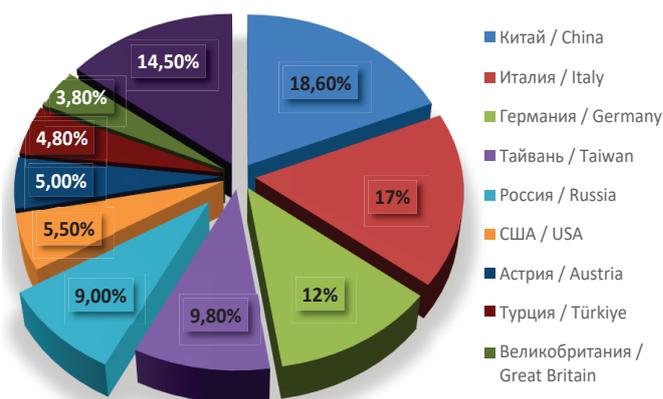
Полнорационное и сбалансированное кормление животных способствует росту их продуктивности и получению высококачественных продуктов питания. В структуре себестоимости продукции животноводства 50...70% всех затрат приходится на корма [1].

Концентрированные корма в отличие от комбикорма не в полной мере удовлетворяют потребности животных в необходимых питательных веществах по причине неполноценного минерального состава и протеина невысокой питательной ценности. Введение комбикормов в рацион коров повышает их удои на 10...20%, затраты корма на образование молока при этом снижаются на 7...15%, что в свою очередь снижает себестоимость продукции. Белково-витаминно-минеральные добавки и премиксы в рационе свиней повышают их продуктивность на 15...20%.

В животноводческих хозяйствах наблюдается значительный дефицит комбикормов [2]. Оптимизировать технологический процесс приготовления высокопитательных, готовых к употреблению кормов позволяют экструдеры. Отметим, что все рабочие органы кормоприготовительного оборудования, представленные на выставках «Золотая осень-2022» и «Agrosexpro-2023», – зарубежного производства (Турция, Германия, Франция и др.) [3]. Первое место по производству экструдеров для пищевой промышленности занимает Китай (18,6%), второе место – Италия (17%), Германия

находится на третьем месте (12%), а на долю России приходится 9% (рис. 1)<sup>1</sup>.

Главным рабочим органом экструдеров является шнек. Экструдеры подразделяются на одношнековые и многошнековые. Шнеки бывают однозаходными, многозаходными, с прерывными и непрерывными лопастями, с переменным диаметром, с переменным



**Рис. 1. Производство экструдеров для пищевой промышленности**

**Fig. 1. Production of extruders for the food industry**

<sup>1</sup> Мартынова Д.В., Попов В.П., Ханин В.П., Зиннохин Г.Б., Антимонов С.В., Сидоренко Г.А. Повышение эффективности процесса производства экструдированных кормовых продуктов за счет изменения конструктивных параметров шнека пресс-экструдера: Монография. Оренбург: ИПК Университет, 2018. 208 с.

шагом, с постоянной и переменной площадью сечения и др. Чаще используют одношнековые экструдеры, имеющие меньшую энерго- и металлоемкость. Для тщательного перемешивания больших объемов предназначены многошнековые пресс-экструдеры, но они характеризуются сложной конструкцией и высокой стоимостью обслуживания.

Равномерность смешивания различных компонентов комбикормов напрямую зависит от конструктивных особенностей смесителей и режимов их работы [4]. Высокие температурные режимы работы шнеков и неправильная эксплуатация экструдеров приводят к их интенсивному износу или поломке. При этом снижается качество конечной продукции. Для обеспечения долгосрочной и эффективной работы, а также для повышения износостойкости шнеков экструдеров необходимо учитывать условия их эксплуатации.

**Цель исследований:** рассмотреть условия эксплуатации кормовых экструдеров и выявить наиболее значимые причины износа шнеков с целью дальнейшего их упрочнения и замены дорогостоящих импортных рабочих органов отечественными, обладающими высокой износостойкостью и работоспособностью.

### Материалы и методы

Проанализированы научные публикации по оценке различных показателей, влияющих на износостойкость и коррозионную стойкость шнеков кормовых экструдеров. Изучены результаты исследований отечественных компаний, занимающихся решением вопросов экструдирования корма, рассмотрены процессы, протекающие в молекулярной структуре перерабатываемого сырья.

### Результаты и их обсуждение

При производстве комбикормов экструдирование является одним из наиболее простых и эффективных способов повышения качества зернового материала [5, 6].

С целью улучшения пищевых и функциональных свойств комбикорма при его производстве используют различные по составу и структуре сырьевые продукты: крахмалосодержащее сырье (зерно, крупы, мука); источники белка (бобовые культуры, жмыхи, шроты); сахар; ароматизаторы; эмульгаторы; картофелепродукты; сухое молоко; молочные консервы; сырные и творожные порошки; отруби; вторичное сырье мясной, молочной и рыбной промышленности; биологически активные добавки и микроэлементы<sup>2</sup>.

В процессе экструдирования используют различное зерновое сырье<sup>3</sup> (рис. 2).

Производство корма для животноводства обеспечивается методом горячей (варочной) экструзии. Процесс протекает при высоких скоростях, давлении и температуре более 100°C. Влажность обрабатываемого сырья составляет 10...20%, влажность полученных кормов – 10...30%. Преимуществом горячей экструзии является готовый к употреблению продукт. Дополнительных затрат на досушивание не требуется. В процессе экструзии продукт теряет до 50% первоначальной влажности, что дает возможность включать в состав комбикорма зеленые кормовые травы без их предварительной сушки. Кормовые экструдаты влажностью 9,8...15,1% состоят из зерновых компонентов (70...90%) и растительной массы бобовых и злаковых трав, измельченной до размера не более 10 мм (10...30%). В 1 кг такого корма в пересчете на сухое вещество содержится 140...148 г сырого протеина; 40,0...41,0 г сырой клетчатки; 20...32 мг каротина, что соответствует 10,42...10,46 МДж обменной энергии.

Изучение влияния влажности и высоты фильеры на процесс экструдирования комбикормов отражено в работе [7].

Процессы, происходящие с кормовыми компонентами при экструзии, наглядно продемонстрировала компания Агро-Инжиниринг, занимающаяся разработкой и производством экструдеров для кормов в России<sup>4</sup>. Технологический процесс экструзии перерабатываемого сырья происходит при температуре до 180°C. Сырье загружается в загрузочный бункер, где происходит процесс его смешивания, и далее масса транспортируется с помощью шнека. Смешанное сырье перетирается в местах сужения между компрессионными кольцами корпуса и шнеком, при этом давление прессования достигает 3,0...5,0 МПа (рис. 3). В таких условиях перерабатываемое сырье плавится, то есть происходит диссипация (преобразование механической энергии в тепловую). Происходят изменения в молекулярной структуре перерабатываемого сырья (рис. 4), а именно: разрушаются клеточные стенки зерна, происходит клейстеризация крахмала (крахмал гидролизует и превращается в простые моносахариды и декстрины), денатурация белка (высвобождение составных частей протеина – аминокислот), разрушение витаминов, ферментов, антипитательных веществ (ингибиторы ферментов и гормонов) и ряд других биохимических изменений.

<sup>2</sup> Ваншин В.В. Экструзионная обработка растительного сырья: Учебное пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. 108 с.

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> Агро-Инжиниринг. URL: <https://agro-i.ru> (дата обращения: 20.01.2024).

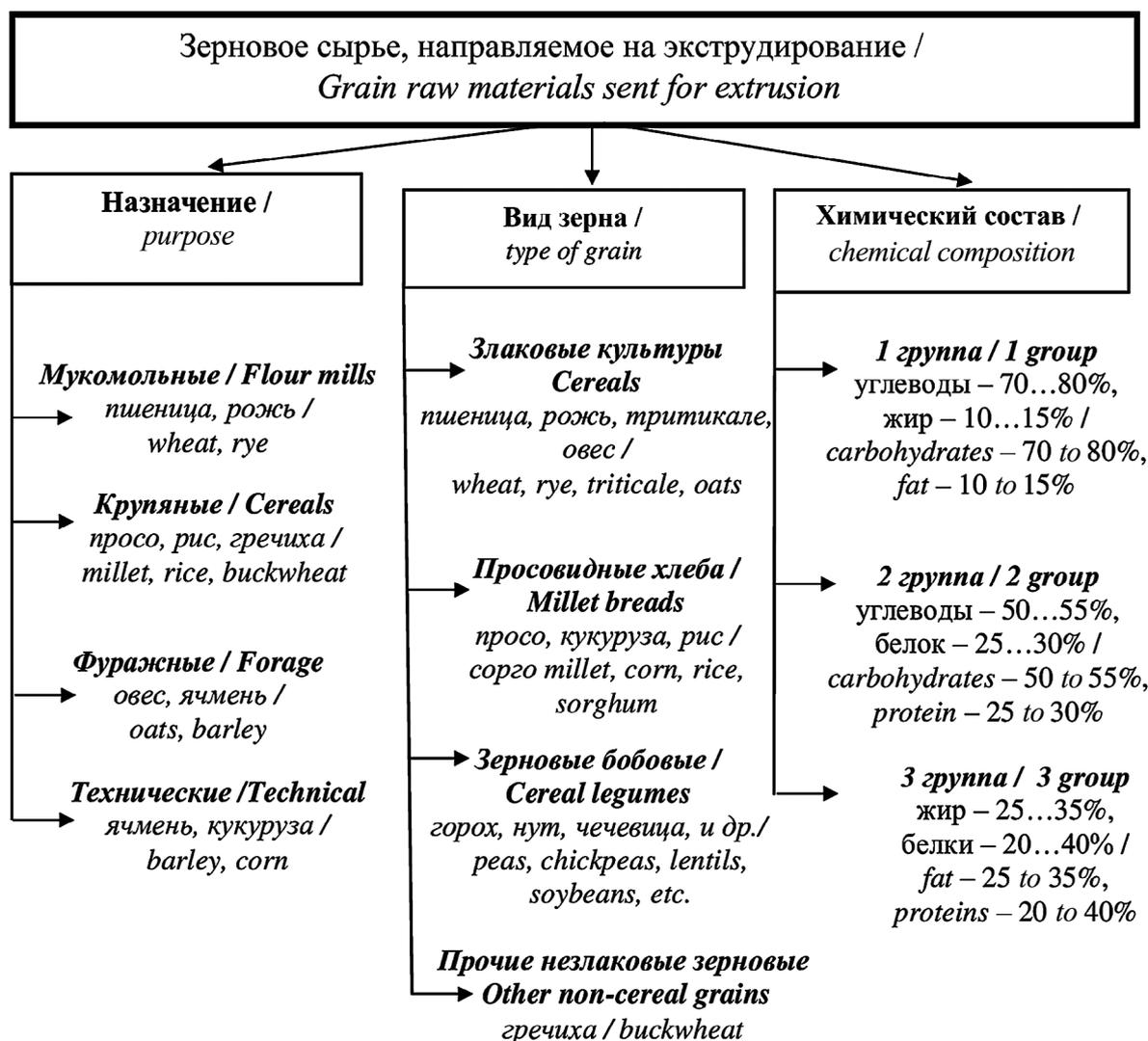


Рис. 2. Классификация зернового сырья, применяемого при экструдировании

Fig. 2. Classification of grain raw materials used for extrusion

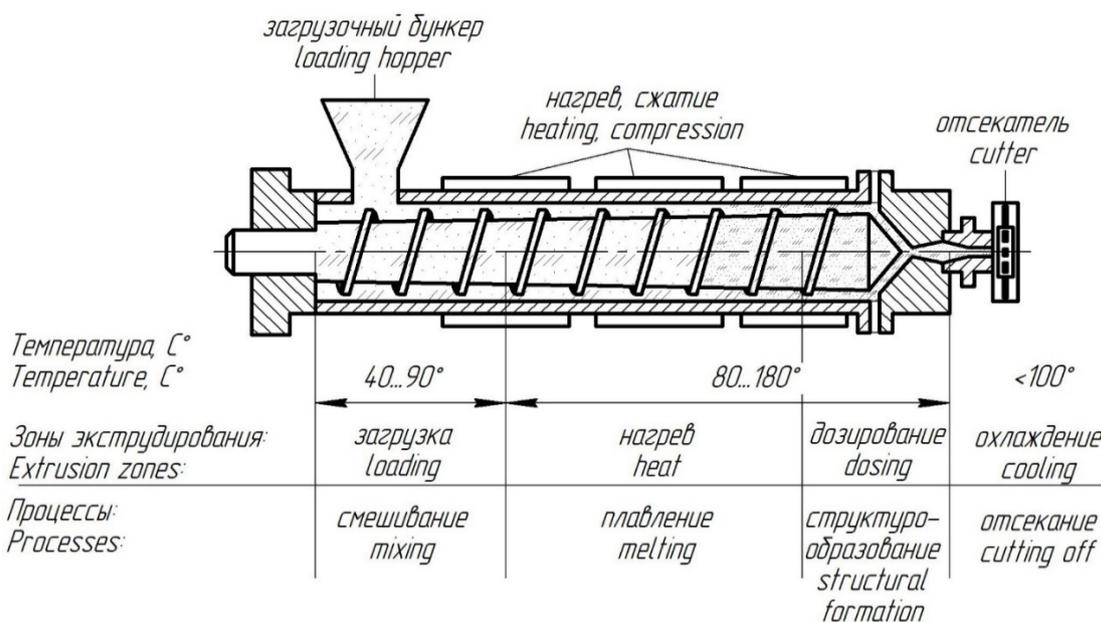
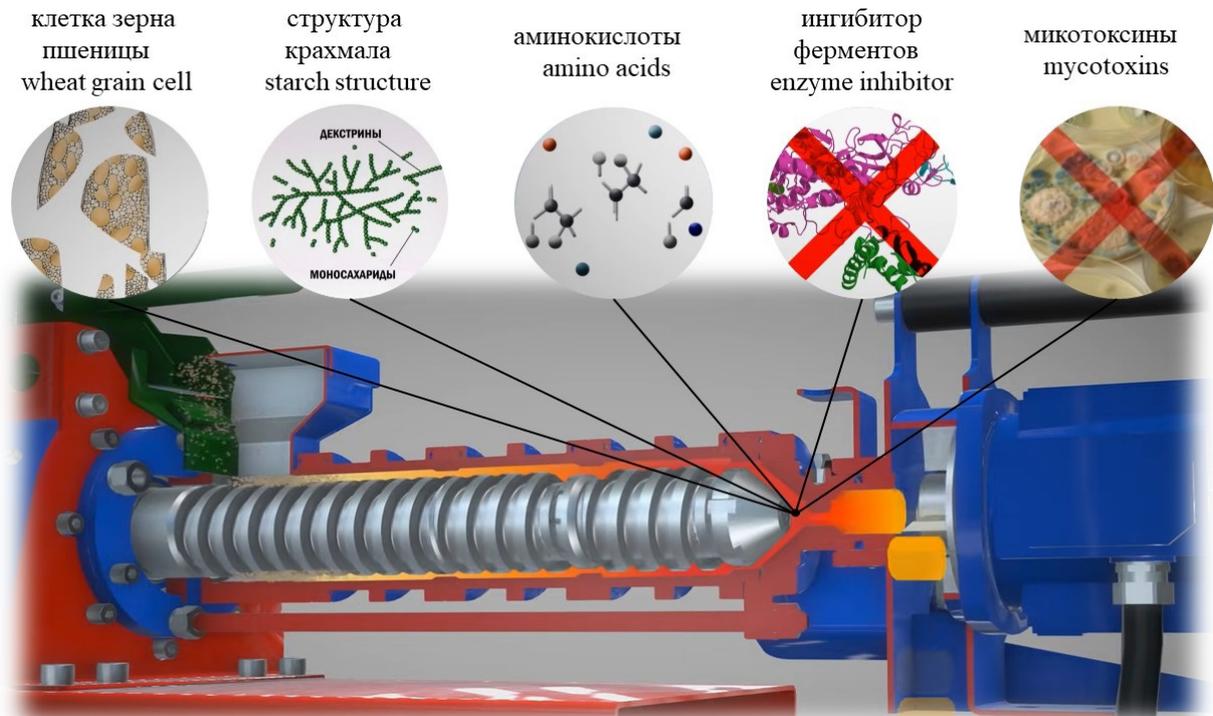


Рис. 3. Технологический процесс экструзии

Fig. 3. Technological process of extrusion



**Рис. 4. Изменения молекулярной структуры перерабатываемого сырья в результате экструзии<sup>5</sup>**  
**Fig. 4. Changes in the molecular structure of raw materials processed by extrusion**

После стремительного выхода пара из фильеры температура сырья понижается, химические реакции быстро замедляются и останавливаются. Из экструдера выходит продукт в виде жгута (стренг) диаметром 20...30 мм с объемной массой 100...120 г/дм<sup>3</sup> и влажностью 7...9%. Его разделение на мелкие частицы происходит ножами, установленными в отсекателе, закрепленном на выходе экструдированного продукта.

Особенности условий эксплуатации экструдера и интенсивные механические нагрузки приводят к значительному износу или поломке его главного рабочего органа – шнека (рис. 5). Износ шнека экструдера является важным критерием при оценке работоспособности машины.

Различают три вида износа шнеков экструдеров: адгезионный; абразивный; коррозионный [8]. Анализ принципа работы пресс-экструдера показывает, что одной из ключевых проблем является неравномерный износ витков шнека в зоне нагрева и дозирования по причине нагнетаемой перерабатывающей массой давления. При изнашивании витков зазор между шнеком и корпусом экструдера увеличивается, происходит проскальзывание материала, что приводит к снижению давления и температуры в зоне дозирования и напрямую сказывается на энергозатратах.

В результате проведенного анализа выявлены основные причины износа шнека кормового

экструдера: холодный запуск шнека; неравномерный нагрев (шнека, цилиндра); высокое давление; повышенные температурные режимы работы; неправильная центровка шнека (цилиндра); несоответствие геометрических параметров шнека; несоответствие физико-механических параметров шнека; наличие посторонних предметов; абразивная среда эксплуатации; повышенная кислотность.

Своевременный контроль качества геометрических и физико-механических параметров деталей с использованием автоматизированных, измерительных, бесконтактных средств измерения позволит исключить использование бракованного шнека [9].

Анализ производства кормовых экструдеров показал, что большинство экструдеров и запасных частей к ним являются импортными. Некоторые применяемые материалы являются неустойчивыми к коррозии, быстро подвергаются износу. Для повышения работоспособности шнека экструдера применяют методы упрочнения, повышающие коррозионную и абразивную стойкость: закалку, наплавку и различные методы химико-термической обработки.

Материалы, применяемые для изготовления шнеков экструдеров, и их твердость до химико-термической обработки и после нее приведены на рисунке 6.

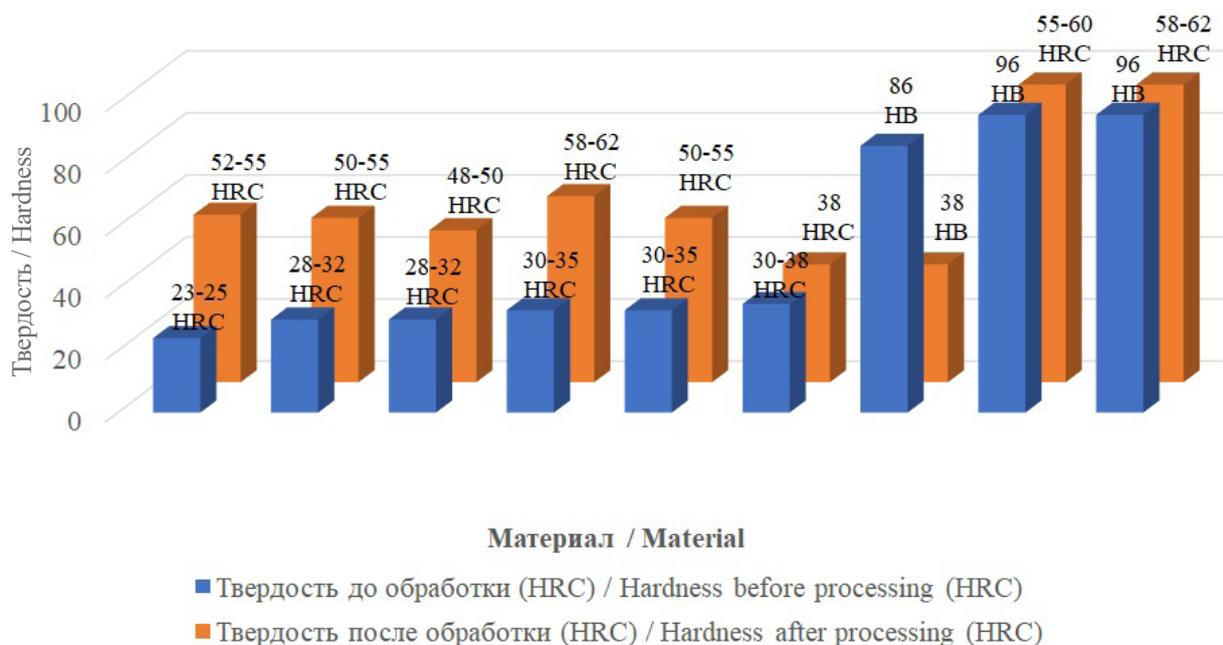
Исходя из данных рисунка 6, можно утверждать, что сталь марки Hastelloy C-276 лучше остальных

<sup>5</sup> Экструдеры, маслопрессы и комбикормовые заводы. Экструдирование кормов. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=-Uwrb2C7Ls> (дата обращения: 20.01.2024).



**Рис. 5. Износ и поломка шнеков экструдеров:**  
*a* – коррозионный износ; *b, c* – износ витка шнека по толщине и диаметру; *d* – поломка шнека

**Fig. 5. Wear and breakage of extruder screws:**  
*a* – corrosive wear; *b, c* – wear of the screw turn in terms of thickness and diameter; *d* – screw failure



**Рис. 6. Материалы и их твердость, применяемые для изготовления шнеков экструдеров**  
**Fig. 6. Materials used to manufacture extruder screws and their hardness**

сталей подходит для химико-термической обработки: имея изначальную твердость до обработки 38 НВ, получаем упрочненный слой твердостью 86 НВ.

Износостойкость шнеков можно повысить, применяя плазменную, индукционную или нитрированную закалку. Повысить коррозионную стойкость и износостойкость может наплавка специальными наплавочными электродами, позволяющими наносить поверхностный упрочненный слой на рабочую поверхность шнека. Методом химико-термической обработки получают тонкие износостойкие и коррозионностойкие покрытия [10] с повышенной твердостью и низким коэффициентом трения (хромовое, нитрид титана, карбид бора, карбид вольфрама и др.).

Одним из эффективных методов упрочнения шнеков экструдеров является диффузионное борирование<sup>6</sup> [11, 12] в обмазках нагревом токами высокой частоты. Данным способом можно регулировать толщину закаленного слоя и полностью роботизировать процесс.

<sup>6</sup>Ерохин М.Н., Казанцев С.П. Диффузионные покрытия в ремонтном производстве: монография / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина». М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2006. 124 с. EDN: QKYHRF

#### Список источников

1. Babajanyan A., Pakhomov V., Rudoy D., Braginets S., Maltseva T. The results of the study of the amino acid composition of compound feeds during the extrusion of wheat grain with the addition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.). *E3S Web of Conferences: International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2022)*. 2023;371:01074. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101074>
2. Тимофеева Д.В., Коротков В.Г., Попов В.П., Антимонов С.В., Соловых С.Ю. Обоснование оптимальных параметров экструдирования различных видов сырья в канале одношнекового пресс-экструдера // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2014. С. 1298-1305. EDN: SLHHVP
3. Ерохин М.Н., Гайдар С.М., Скороходов Д.М., Ветрова С.М., Барчукова А.С. Износостойкость низколегированных сталей в абразивной среде // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 3. С. 72-78. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-72-78>
4. Овечкина Л.Ю., Бузоверов С.Ю., Лобанов В.И. Повышение эффективности процесса смешивания комбикормов путем модернизации рабочего органа смесителя // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2021. № 4-1 (55). С. 75-78. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2021-4-1-75-78>
5. Бузоверов С.Ю. Использование процесса экструдирования для повышения качества зерновых продуктов // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019. № 8-2. С. 9-12. <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11479>

Сравнительный анализ существующих методов упрочнения не позволяет выявить наиболее универсальный метод упрочнения рабочих органов экструдера. Для выявления эффективного метода упрочнения шнековых рабочих органов экструдера необходимо разрабатывать современные отечественные устройства и технологии, проводить исследования на износостойкость и коррозионную стойкость получаемых покрытий.

#### Выводы

1. Экструзия позволяет получить высококачественные корма, содержащие 20...40% белка, 50...80% углеводов, 10...35% жиров.
2. Условия эксплуатации рабочих органов экструдеров обуславливают их абразивное и коррозионное изнашивание. Основными причинами износа шнеков экструдера являются абразивная среда, несоответствие их геометрических и физико-механических параметров, повышенная кислотность кормов и особенности режима работы (повышенная температура – 100...180°C, влажность кормосмесей – 10...30%, давление прессования – 3,0...5,0 МПа).
3. Для замены дорогостоящих импортных рабочих органов отечественными, обладающими высокой износостойкостью и работоспособностью, необходимо совершенствовать существующие и разрабатывать новые отечественные методы их упрочнения.

#### References

1. Babajanyan A., Pakhomov V., Rudoy D., Braginets S., Maltseva T. The results of the study of the amino acid composition of compound feeds during the extrusion of wheat grain with the addition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.). *E3S Web of Conferences: International Scientific Conference "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East" (AFE-2022)*. 2023;371:01074. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101074>
2. Timofeeva D.V., Korotkov V.G., Popov V.P., Antimonov S.V., Solovykh S.Yu. Justification of optimal parameters for extruding various types of raw materials in the channel of a single-screw extruder. *University complex as a regional center of education, science and culture: Materials of the All-Russian scientific and methodological conference*, Orenburg: LLC IPK "University", 2014. P. 1298-1305. (In Russ.)
3. Erokhin M.N., Gaidar S.M., Skorokhodov D.M., Vetrova S.M., Barchukova A.S. Wear resistance of low-alloy steels in the abrasive environment. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(3):72-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-72-78>
4. Ovechkina L.Yu., Buzoverov S.Yu., Lobanov V.I. Improving the efficiency of the feed mixing process by upgrading the mixer working body. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021;4-1:75-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2021-4-1-75-78>
5. Buzoverov S.Yu. Using the extruding process to increase the quality of grain products. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019;8-2:9-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11479>

6. Offiah V., Kontogiorgos V., Falade K.O. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019;59(18):2979-2998. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1480007>

7. Коротков В.Г., Полищук В.Ю., Мусиенко Д.А. Влияние влажности и высоты фильеры на процесс экструдирования комбикормов // Вестник Оренбургского государственного университета. 2000. № 2. С. 117-119. EDN: HVZAXN

8. Басов С.С. Анализ видов износа и методов упрочнения шнеков кормовых экструдеров // Современные проблемы и направления развития металлургии и термической обработки металлов и сплавов: Сборник научных статей 4-й Международной научно-практической конференции, посвященной памяти академика А.А. Байкова. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2023. С. 42-46. EDN: BTMCLQ

9. Дорохов А.С., Катаев Ю.В., Краснящих К.А., Скороходов Д.М. Контроль качества запасных частей сельскохозяйственной техники автоматизированным измерительным устройством // Наука без границ. 2018. № 2 (19). С. 44-50. EDN: YSWRRS

10. Скороходов Д.М., Басов С.С., Денисов В.А., Свиридов А.С. Исследование микротвердости боридных покрытий, полученных на стали 65Г из различных составов борированных смесей // Технический сервис машин. 2021. № 2 (143). С. 144-150. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2021-59-2-144-150>

11. Казанцев С.П. Новая технология получения комбинированных диффузионных покрытий // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2003. № 7. С. 30-32. EDN: ZFDIGH

12. Казанцев С.П. Совершенствование технологии восстановления и упрочнения деталей машин железоборидными покрытиями // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2005. № 1. С. 30-31. EDN: HVBPTB

6. Offiah V., Kontogiorgos V., Falade K.O. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019;59(18):2979-2998. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1480007>

7. Korotkov V.G., Polishchuk V.Yu., Musienko D.A. Effect of humidity and die height on the process of extruding compound feeds. *Vestnik Orenburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta = Bulletin of Orenburg State University*. 2000;2:117-119. (In Russ.)

8. Basov S.S. Analysis of types of wear and methods of strengthening augers of feed extruders. *Modern problems and development trends of metallurgy and heat treatment of metals and alloys: Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of Academician A.A. Baykov*, Kursk: Southwestern State University, 2023. P. 42-46. (In Russ.)

9. Dorokhov A.S., Kataev Yu.V., Krasnyaschikh K.A., Skorokhodov D.M. Control of quality of spare parts of agricultural machinery automated measuring device. *Nauka Bez Granits*. 2018;2(19):44-50. (In Russ.)

10. Skorokhodov D.M., Basov S.S., Denisov V.A., Sviridov A.S. Microhardness of boride coatings obtained on 65g steel from different compositions of borating mixtures. *Machinery Technical Service*. 2021;2:144-150. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2021-59-2-144-150>

11. Kazantsev S.P. New technology for producing combined diffusion coatings. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2003;7:30-32. (In Russ.)

12. Kazantsev S.P. Improving the technology of restoration and hardening of machine parts with iron-boride coatings. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2005;1:30-31. (In Russ.)

### Информация об авторах

**Дмитрий Михайлович Скороходов<sup>1</sup>**, 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

**Анастасия Николаевна Скороходова<sup>2</sup>**, канд. биол. наук, старший преподаватель; red-green216@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5451-810X>; Scopus Author ID: 57221046299; Researcher ID: AFO-7021-2022

**Сергей Сергеевич Басов<sup>3</sup>**, аспирант; basovserega@mail.ru

<sup>1,2,3</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

### Вклад авторов

Д.М. Скороходов – актуальность проблемы, формулирование основной концепции исследования;

А.Н. Скороходова – информационные ресурсы и аналитика; С.С. Басов – визуализация, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 26.02.2024, после рецензирования и доработки – 24.05.2024; принята к публикации 24.05.2024

### Author Information

**Dmitry M. Skorokhodov<sup>1</sup>**, CSc (Eng), Associate Professor; d.skorokhodov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6315-4184>; Scopus Author ID: 57223623999

**Anastasia N. Skorokhodova<sup>2</sup>**, CSc (Bio), Senior Lecturer; red-green216@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5451-810X>; Scopus Author ID: 57221046299; Researcher ID: AFO-7021-2022

**Sergey S. Basov<sup>3</sup>**, postgraduate student

<sup>1,2,3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow 127434, Russian Federation

### Author Contribution

D.M. Skorokhodov – problem statement, conceptualization;

A.N. Skorokhodova – information resources and analytics;

S.S. Basov – visualization, finalizing (revising and editing) of the manuscript.

### Conflict of interests

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

Received 26.02.2024; Revised 24.05.2024; Accepted 24.05.2024

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.559.2:631.3

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-27-34>

## Установка для предпосевного увлажнения семян: обоснование угла поворота форсунки и времени распыления жидкости

*А.В. Алешкин<sup>1</sup>, Ф.А. Киприянов<sup>2</sup>, П.А. Савиных<sup>3</sup>*<sup>1</sup> Вятский государственный университет, г. Киров, Россия<sup>2</sup> Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, г. Вологда, с. Молочное, Россия<sup>3</sup> ФАНЦ Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, г. Киров, Россия<sup>1</sup> [usr00008@vyatsu.ru](mailto:usr00008@vyatsu.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6949-1480><sup>2</sup> [kipriyanovfa@bk.ru](mailto:kipriyanovfa@bk.ru); <https://orcid.org/0000-0001-5974-4934><sup>3</sup> [peter.savinyh@mail.ru](mailto:peter.savinyh@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0524-9721>

**Аннотация.** Предпосевное увлажнение семян – один из способов воздействия на всходы сельскохозяйственных культур и повышения их урожайности. В большинстве установок для предпосевного увлажнения семян циклического действия реализован принцип погружного увлажнения, установки же непрерывного увлажнения не подходят по причине недостаточной длительности процесса. Наиболее целесообразной является разработка установки циклического действия с обеспечением дыхательного режима путем распыления увлажняющей жидкости на поверхность семян в сочетании с процессом перемешивания. Предложена установка для предпосевного увлажнения семян барабанного типа. При реализации концепции установки на этапе проектировочно-технологических расчетов важную роль играет определение угла поворота форсунки, осуществляющей распыление увлажняющей жидкости, и времени распыления, необходимого для нанесения жидкости на поверхность семян. С целью решения поставленных задач выполнены математические расчеты, согласно которым для прототипа установки предпосевного увлажнения семян с барабаном диаметром 480 мм и глубиной 250 мм, при угловой скорости барабана 1,256 рад/с и высоте слоя семян, соответствующей углу 0,42 рад, расчетный угол поворота форсунки составил 0,39 рад. Время распыления жидкости при вероятности взаимодействия капли с зерновкой  $P = 0,95$  составило 126,9 с. Для автоматизации и упрощения расчетов при проектировании технологических линий предпосевного увлажнения семян на языке Visual C# разработана программа, позволяющая на основании характеристик зернового материала и геометрических параметров барабана рассчитать угол поворота форсунки и время распыления жидкости. Результаты расчетов по полученным моделям в дальнейшем планируется проверить экспериментальными исследованиями.

**Ключевые слова:** установка для предпосевного увлажнения семян, предпосевное увлажнение, угол поворота форсунки, угловая скорость барабана, время распыления жидкости, расчет времени распыления жидкости

**Для цитирования:** Алешкин А.В., Киприянов Ф.А., Савиных П.А. Установка для предпосевного увлажнения семян: обоснование угла поворота форсунки и времени распыления жидкости // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 4. С. 27-34. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-27-34>

## ORIGINAL ARTICLE

## Unit for pre-sowing seed moistening: a rationale for the nozzle rotation angle and liquid spraying time

*A.V. Aleshkin<sup>1</sup>, F.A. Kipriyanov<sup>2</sup>, P.A. Savinykh<sup>3</sup>*<sup>1</sup> Vyatka State University, Kirov, Russia<sup>2</sup> Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, Vologda, Russia<sup>3</sup> Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitskiy, Kirov, Russia<sup>1</sup> [usr00008@vyatsu.ru](mailto:usr00008@vyatsu.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6949-1480><sup>2</sup> [kipriyanovfa@bk.ru](mailto:kipriyanovfa@bk.ru); <https://orcid.org/0000-0001-5974-4934><sup>3</sup> [peter.savinyh@mail.ru](mailto:peter.savinyh@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0524-9721>

**Abstract.** Pre-sowing moistening of seeds is one of the ways to control the seedlings of agricultural crops and increase the yield. Most units of cyclical operation for pre-sowing moistening of seeds use the principle of immersed moistening. However, the units of continuous operation do not fit because of the insufficient duration of the process. The most appropriate way is to develop a unit of cyclical operation with the provision of a respiratory mode by spraying the moisturizing liquid on the surface of seeds combined with the mixing process. The authors suggest

a design of a drum-type unit for pre-sowing moistening of seeds. During the concept implementation at the stage of planning-technological calculations, it is very important to determine the angle of rotation of the spray nozzle, which sprays the moisturizing liquid, and the spraying time necessary for liquid application on the surface of seeds. To solve the assigned tasks, the authors carried out mathematical calculations, according to which the angle of spray nozzle rotation makes 0.39 rad for a pilot model of pre-sowing moistening with the drum diameter of 480 mm, the depth of 250 mm, the angular speed of 1.256 rad/s, and the height of seed layer corresponds to the angle of 0.42 rad. The spraying time by the interaction probability of a drop with a seed  $P = 0.95$  makes 126.9 s. To automate and simplify calculations by the projecting of technological lines of pre-sowing moistening of seeds, the authors used the Visual C# language to make a program for calculating the angle of spray nozzle rotation and time of spraying the moisturizing liquid in accordance with the characteristics of grain material and geometrical parameters of a drum.

**Keywords:** unit for pre-sowing seed moistening, pre-sowing moistening, nozzle rotation angle, drum angular speed, liquid spraying time, calculation of liquid spraying time

**For citation:** Aleshkin A.V., Kipriyanov F.A., Savinykh P.A. Unit for pre-sowing seed moistening: a rationale for the nozzle rotation angle and liquid spraying time. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(4):27-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-27-34>

### Введение

Увлажнение семян перед посевом – довольно известный способ влияния на всходы и урожайность сельскохозяйственных культур [1, 2]. Изменение климатических условий – в частности, аридизация климата в южных регионах нашей страны, требует поиска решений, способствующих активизации жизненных процессов в семенах [3-5]. Актуальным является поиск решений по повышению урожайности и более северных регионах России. На северо-западе Российской Федерации расширяются площади посевов кукурузы как источника сочного питательного силоса, необходимого для формирования кормового рациона крупного рогатого скота. Так, Вологодская область является одним из лидеров по уборке кукурузы на зеленый корм<sup>1</sup>. Кукуруза, обладая массивной зеленой массой, чувствительна к появлению возвратных заморозков, характерных для северо-запада России и способных погубить посевы. По мнению ряда ученых, предпосевное увлажнение способно компенсировать более поздний посев в уже прогретую почву с минимизацией риска потери урожая [3-5, 6-8].

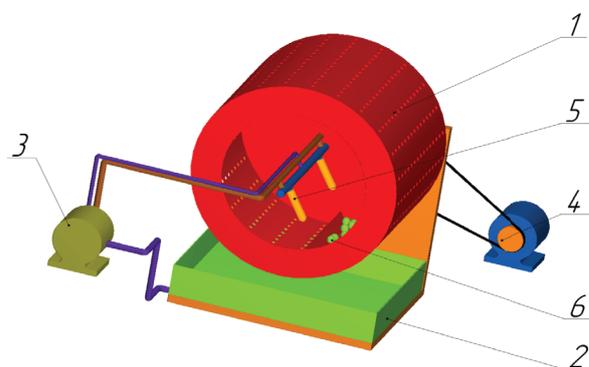
В результате экспериментально-поисковых исследований нами установлено, что предпосевное увлажнение позволяет увеличить урожайность зеленой массы кукурузы при уборке ее на силос до 15% [9]. В то же время в процессе предпосевного увлажнения важным является режим дыхания семян, обеспечение которого – один из необходимых условий при разработке установки для предпосевного увлажнения [10].

Установки для увлажнения зерна разработаны в основном для мукомольной промышленности и не могут применяться в технологических

<sup>1</sup> Урожайность кукурузы на корм – всего (вес зеленой массы) в 2016 году, ц/га // Агровестник: Росстат. URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/forage/urozhajnost-kukuruzu-na-korm-vsego-ves-zelenoj-massy-v-2016-godu-ts-ga.html> (дата обращения: 14.01.2024).

процессах предпосевного увлажнения. Отличие процессов влагонасыщения при предпосевном увлажнении заключается в большей длительности и в том, что влага ввиду начала процессов жизнедеятельности начинает усваиваться семенами. Большинство же конструктивных решений для увлажнения зерна относится к установкам конвейерного типа и не может обеспечить необходимую продолжительность увлажнения [11]. В наибольшей степени для задач предпосевного увлажнения зерна подходит машина марки ЗЗМ-2, в конструктивно-технологическом решении которой реализовано погружное насыщение семян влагой. Однако погружное увлажнение семян может привести к угнетению процессов жизнедеятельности, снизив тем самым урожайность [9, 10, 12].

Распыление жидкости с обеспечением равномерного распределения по поверхности семян реализовано в установке для предпосевного увлажнения семян (патент RU2815106) (рис. 1).



**Рис. 1. Установка для предпосевного увлажнения семян:**  
1 – барабан; 2 – бак с увлажняющей жидкостью;  
3 – насос для подачи увлажняющей жидкости;  
4 – привод барабана; 5 – форсунки; 6 – семена

**Fig. 1. Unit for pre-sowing seed moistening:**  
1 – drum; 2 – tank with a moisturizing liquid;  
3 – pump for the moisturizing liquid supply;  
4 – drum drive; 5 – nozzles; 6 – seeds

Работает установка следующим образом. Бак 2 заполняется увлажняющей жидкостью, которая насосом 3 подается в форсунки 5 на семена 6, загруженные в барабан 1, который приводится во вращение посредством привода 4. Отверстия в поверхности барабана 1 способствуют удалению избыточной жидкости.

**Цель исследований:** выполнить расчеты по определению угла установки форсунки и времени распыления жидкости в установке для предпосевного увлажнения семян барабанного типа.

**Материалы и методы**

Исследования проводились в ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА при научно-консультационной поддержке ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока и ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» в период с 2020 по 2023 гг. При определении угла установки форсунки и обосновании времени распыления жидкости применялись методы классической механики и дифференциального исчисления. При разработке программы для автоматизированных расчетов применялся язык программирования Visual C#. Расчеты выполнялись для барабана диаметром 480 мм и глубиной 250 мм.

*Определение угла поворота форсунок.* Ось факела форсунки необходимо направить перпендикулярно поверхности, образованной зернами во вращающемся барабане. Рассмотрим движение совокупности зерен во вращающемся барабане, которая в вертикальном сечении представляет собой сегмент круга (рис. 2).

Объем всех зерен составит:

$$V = S \cdot d,$$

где  $S = \frac{R^2}{2}(\alpha - \sin(\alpha))$  – площадь сегмента,  $m^2$  (рис. 2);  $d$  – глубина барабана, м.

Масса порции обрабатываемого материала составляет:

$$M = V \cdot \rho,$$

где  $\rho$  – насыпная плотность сухого зерна,  $kg/m^3$ .

Рассмотрим два варианта движения зерна в барабане: при относительном покое сегмента (основная масса зерна вращается вместе с барабаном) и относительном движении сегмента (малая часть зерен скользит по наклонной плоскости с верхней части сегмента).

Вдоль наружной границы сегмента разобьем всю совокупность зерен на слои. Будем полагать, что на наклонную плоскость попадает только самый наружный слой, а также зерна, захваченные лопатками из некоторых внутренних слоев. Тогда в первом варианте (относительный покой) участвуют все зерна, кроме тех, что находятся на наклонной поверхности. В случае скольжения зерен по наклонной поверхности происходит их взаимодействие с каплями потока жидкости из форсунки. Для определения угла

расположения наклонной поверхности составим уравнение относительного покоя сегмента:

$$M\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{TR} + \vec{\Phi}_e = 0.$$

Предполагаем, что по мере вращения барабана сегмент осыпается, сохраняя свою форму в абсолютной системе отсчета, на которую спроецируем данное векторное равенство:

$$\begin{cases} -Mg \sin(\varphi) + F_{TR} = 0; \\ -Mg \cos(\varphi) - \Phi_e + N = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь не учитываем кориолисовы силы инерции пересыпающихся зерен, полагая их массу существенно меньшей остальной массы, находящейся в относительном покое.

Примем допущение, что сила трения  $\vec{F}_{TR}$  направлена перпендикулярно радиусу центра тяжести сегмента, и ее предельное значение определяется по закону Кулона для сухого трения с коэффициентом  $f$ :

$$F_{TR} = N \cdot f, \quad (2)$$

где  $N$  – сила нормальной реакции барабана, Н.

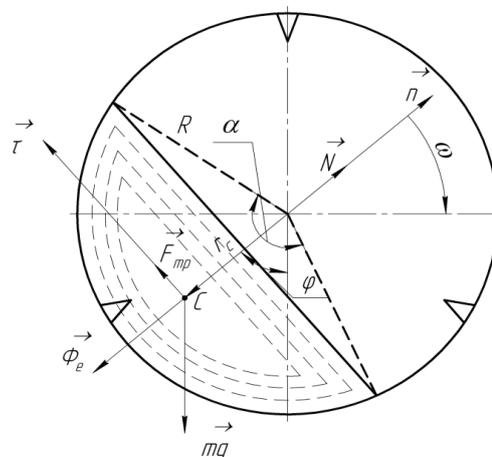
Для упрощения полагаем, что  $\vec{N}$  – вектор, направленный в центр барабана и проходящий через центр тяжести сегмента  $C$  (при этом вносимая погрешность обусловлена неравномерностью распределения нормальной реакции по окружности барабана).

Переносная центробежная сила инерции  $\Phi_e$  определяется по формуле:

$$\Phi_e = Mr_c \omega^2, \quad (3)$$

где  $r_c$  – радиус центра масс сегмента от оси вращения, м,  $\omega$  – угловая скорость барабана, рад/с.

$$r_c = \frac{2}{3} R \frac{\sin^3\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\frac{\alpha}{2} - \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}. \quad (4)$$



**Рис. 2. Относительное равновесие совокупности всех зерен в камере**

**Fig. 2. Relative balance of the total amount of all grains in a chamber**

Из второго уравнения системы (1) выразим нормальную реакцию  $N$  и на основании выражения (2) найдем силу трения:

$$\begin{aligned} F_{TR} &= (Mg \cos(\varphi) + \Phi_e) \cdot f; \\ F_{TR} &= (Mg \cos(\varphi) + Mr_c \omega^2) \cdot f. \end{aligned} \quad (5)$$

Подставим силу трения в первое уравнение (1) и получим

$$-Mg \sin(\varphi) + (Mg \cos(\varphi) + Mr_c \omega^2) \cdot f = 0.$$

Откуда

$$\varphi = \arcsin \left( \frac{a + \sqrt{a^2 - 4g^2 b (r_c^2 \omega^4 \cdot f^2 - g^2 f^2)}}{2g^2 b} \right). \quad (6)$$

где  $a = 2gr_c \omega^2 \cdot f$ ,  $b = (1 + f^2)$ .

Уравнение (6) можно использовать для определения угла установки форсунки к вертикали, чтобы ось факела была перпендикулярной наклонной поверхности материала для обеспечения равномерного распределения капель по скользящим в верхнем слое частицам.

*Расчет времени распыления жидкости при циркуляции материала в камере орошения.* Поскольку при вращении барабана и повороте слоя зерновок на угол  $\varphi$  присутствует сила трения покоя, то не выполняется необходимое условие для вязкого трения, следовательно, оно отсутствует. К тому же через отверстия в барабане происходит удаление избыточной жидкости, в связи с чем полагаем, что насыщение влагой не достигло перехода в вязкое трение, и при определении силы трения скольжения принимаем трение по закону Кулона как для сухого трения. Для апробации математической модели в дальнейших расчетах зададимся коэффициентом трения  $f = 0,4$ , отражающим смешанное скольжение и перекатывание как сухих, так и увлажненных зерновок.

Зерна, прилегающие к барабану, при достижении верхней точки начинают скользить по наклонной плоскости в относительном движении. Составим дифференциальное уравнение относительного движения, рассматривая зерновку как материальную точку под действием сил тяжести, нормальной реакции и трения, а также переносной  $\vec{\Phi}_e$  и кориолисовой  $\vec{\Phi}_c$  сил инерции (рис. 3):

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F} + \vec{\Phi}_e + \vec{\Phi}_c, \quad (7)$$

где  $m$  – масса зерновки, кг;  $\vec{r}$  – радиус вектор зерновки, отсчитываемый от оси вращения, м;  $\vec{N}$  – нормальная реакция плоскости, Н;  $\vec{F}$  – сила трения скольжения, которую определяем по закону Кулона, считая трение сухим, Н.

В момент распыления жидкости форсункой полагаем смачивание зерновки недостаточным для образования смазывающей пленки, ее формирование

происходит при дальнейшем перемешивании слоев во вращающемся барабане. В то же время смачивание каждой частицы, перемещаемой в наружном слое, способствует более равномерному распределению раствора между частицами. Дальнейшее перемешивание слоев, происходящее при циркуляции в барабане, сопровождается впитыванием раствора. Чем более равномерно форсункой распределяется раствор, тем более равномерным является поглощение зернами.

Сила трения скольжения:

$$F = N \cdot f.$$

Переносная центробежная сила инерции:

$$\vec{\Phi}_e = m\omega^2 \vec{r}.$$

Сила инерции Кориолиса равна массе, умноженной на кориолисово ускорение, но противоположно направлена:

$$\vec{\Phi}_c = -2m\vec{\omega} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt}.$$

Спроецируем уравнение (1) на вращающиеся оси координат с учетом того, что  $\Phi_{cx} = 0$ ;  $N_x = 0$ :

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mg \sin(\omega t + \varphi) - F + \Phi_{ex}; \\ 0 = -mg \cos(\omega t + \varphi) + N + \Phi_{ey} + \Phi_{cy}. \end{cases} \quad (8)$$

Проекция переносной силы инерции на оси координат –

$$\begin{cases} \Phi_{ex} = m\omega^2 x; \\ \Phi_{ey} = -m\omega^2 h, \end{cases} \quad (9)$$

где  $h = R \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  – расстояние от плоскости движения до оси вращения, м. Проекция кориолисовой силы на ось  $y$  –

$$\Phi_{cy} = 2m\omega \dot{x}. \quad (10)$$

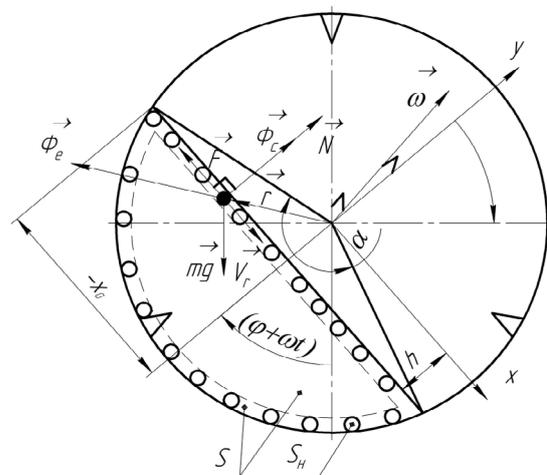


Рис. 3. Движение зерновки (как материальной точки М) по верхнему слою сегмента  
Fig. 3. Grain mass motion (as the material point M) on the upper layer of a segment

Подставим проекции сил инерции в уравнение (8):

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mg\sin(\omega t + \varphi) - Nf + m\omega^2 x; \\ 0 = -mg\cos(\omega t + \varphi) + N - m\omega^2 h + 2m\omega\dot{x}. \end{cases} \quad (11)$$

Из второго уравнения системы (11) выразим величину нормальной реакции  $N$ :

$$N = mg\cos(\omega t + \varphi) + m\omega^2 h - 2m\omega\dot{x}$$

и подставим ее в первое уравнение системы (11), разделив на массу  $m$  все слагаемые. Запишем:

$$\ddot{x} = g\sin(\omega t + \varphi) - gf\cos(\omega t + \varphi) - f\omega^2 h + 2f\omega\dot{x} + \omega^2 x. \quad (12)$$

Приведем уравнение (12) к стандартному виду:

$$\ddot{x} - 2f\omega\dot{x} - \omega^2 x = g\sin(\omega t + \varphi) - gf\cos(\omega t + \varphi) - f\omega^2 h. \quad (13)$$

Решение дифференциального уравнения (13) складывается из общего решения однородного уравнения  $\tilde{x}$  и частного решения исходного неоднородного  $\tilde{x}$ :

$$x = \bar{x} + \tilde{x}. \quad (14)$$

Однородное уравнение имеет вид:

$$\ddot{x} - 2f\omega\dot{x} - \omega^2 x = 0.$$

Его характеристическое уравнение с корнями  $k$  запишем как

$$k^2 - 2f\omega k - \omega^2 = 0.$$

Два действительных корня характеристического уравнения

$$k_1 = f\omega + \omega\sqrt{(1+f^2)} \text{ и } k_2 = f\omega - \omega\sqrt{(1+f^2)}$$

дают общее решение однородного уравнения  $\bar{x}$ :

$$\bar{x} = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t}, \quad (15)$$

где  $C_1, C_2$  – произвольные постоянные интегрирования.

Частное решение исходного неоднородного  $\tilde{x}$  найдем в виде функции в правой части уравнения (13):

$$\tilde{x} = A\sin(\omega t + \varphi) + B\cos(\omega t + \varphi) + H, \quad (16)$$

где  $A, B, H$  – постоянные коэффициенты, подлежащие определению.

Подставим  $\tilde{x}$  в уравнение (13), для чего найдем его производные и получим алгебраическое уравнение:

$$\begin{aligned} & -\omega^2 A\sin(\omega t + \varphi) - \omega^2 B\cos(\omega t + \varphi) - \\ & -2f\omega^2 (A\cos(\omega t + \varphi) - B\sin(\omega t + \varphi)) - \\ & -\omega^2 (A\sin(\omega t + \varphi) + B\cos(\omega t + \varphi) + H) = \\ & = g\sin(\omega t + \varphi) - gf\cos(\omega t + \varphi) - f\omega^2 h. \end{aligned} \quad (17)$$

Приравниваем коэффициенты в левой и правой частях уравнения (17) при одинаковых функциях времени относительно

$$A = \frac{gf^2}{\omega^2(1+f^2)} - \frac{g}{2\omega^2}; \quad (18)$$

$$B = \frac{gf}{\omega^2(1+f^2)}; \quad (19)$$

$$H = fh. \quad (20)$$

Полученные математические модели являются феноменологическими, адекватность которых обусловлена законами классической механики. Результаты расчетов по полученным моделям будут проверены на следующем этапе – при проведении экспериментальных исследований.

### Результаты и их обсуждение

Выполним расчет угла установки форсунки к вертикали согласно уравнению (6).

При условиях  $R = 0,24$  м,  $d = 0,25$  м,  $\omega = 1,256 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ,  $\alpha = 2,44$  рад ( $140^\circ$ ),  $f = 0,4$  значения равны:

$$r_c = 0,167 \text{ м}, S = 0,052 \text{ м}^2; V = 0,013 \text{ м}^3, M = 9,71 \text{ кг}.$$

Коэффициенты в квадратном уравнении равны

$$a = 111,406; b = -2,067; c = -15,355.$$

Угол  $\varphi = 0,39$  рад ( $22,4^\circ$ ).

При увеличении угловой скорости в 2 раза до  $\omega = 2,512 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$  угол  $\varphi = 0,42$  рад ( $24,1^\circ$ ).

Для сравнения угол трения  $\arctg(f) = 0,381$  рад ( $21,8^\circ$ ) будет соответствовать расчетам, если считать, что наружный слой зерна скользит по поверхности барабана (например, при отсутствии лопаток).

Определение времени распыления жидкости будет сводиться к итоговому решению дифференциального уравнения относительного движения (7). При этом общее решение уравнения (13) имеет вид:

$$x = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t} + A\sin(\omega t + \varphi) + B\cos(\omega t + \varphi) + H. \quad (21)$$

Определим начальные условия (движение из верхней точки сегмента из относительного покоя):

$$t = 0; \quad x(0) = -R\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right); \quad \dot{x}(0) = 0; \quad (22)$$

$$C_2 = \frac{-k_1 R\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - k_1 A\sin(\varphi) - k_1 B\cos(\varphi)}{(k_1 - k_2)} - \frac{k_1 H + \omega A\cos(\varphi) - B\omega\sin(\varphi)}{(k_1 - k_2)}; \quad (23)$$

$$C_1 = -R\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - A\sin(\varphi) - B\cos(\varphi) - H - \frac{-k_1 R\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - k_1 A\sin(\varphi) - k_1 B\cos(\varphi)}{(k_1 - k_2)} - \frac{k_1 H + \omega A\cos(\varphi) - B\omega\sin(\varphi)}{(k_1 - k_2)}. \quad (24)$$

В выражении (21) определены постоянные (23), (24), определяющие частное решение дифференциального уравнения (13), соответствующего начальным условиям (22).

График, построенный по выражению (21) в среде «Mathcad» для исходных данных  $\alpha = 140^\circ$ ;  $f = 0,4$ , показывает время движения  $t_K = 0,6$  с. При этом скорость зерновки в относительном движении достигает  $v_K = 2,65 \frac{M}{C}$ . Скорость возрастает экспоненциально с задержкой в начале движения (рис. 4, 5).

Из наружного слоя в верхнюю точку сегмента наклонной поверхности попадают зерна, примыкающие к барабану. Время их подъема из крайнего правого положения в эту точку определяется выражением:

$$t_n = \frac{\alpha}{\omega}$$

Тогда время полного оборота зерновки в наружном слое составляет:

$$t_D = t_K + t_n = 1,94 + 0,6 = 2,54 \text{ с.}$$

Зерновки, прошедшие вниз по наклонной поверхности слоя, могут попасть в наружный слой с вероятностью  $P_H$  (средней относительной частотой). Предположим, что вероятность попадания в каждый слой пропорциональна его площади в вертикальном сечении:

$$P_H = \frac{S_H}{S},$$

где  $S_H$  – площадь сечения наружного слоя, м.

Определим  $S_H$  как периметр сегмента, умноженный на приведенный диаметр зерновки ( $q = 0,005$  м):

$$S_H = \left( \alpha R + 2R \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) q;$$

$$P_H = \frac{S_H}{S} = \frac{0,0052}{0,052} = 0,1.$$

Зерновка попадает под факел форсунки за время  $t_D$  с вероятностью  $P_H$ . Вероятность того, что в сечении факела форсунки на уровне слоя зерна окажутся капли

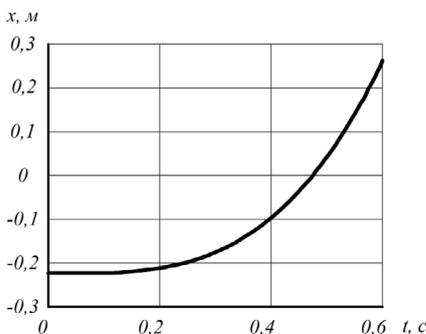


Рис. 4. Изменение координаты  $x(t)$  в пределах  $x \in [-0,225; 0,225]$  в зависимости от времени  
 Fig. 4. Change of coordinate  $x(t)$  within the limits  $x \in [-0.225; 0.225]$  depending on time

необходимого объема ( $P_F$ ), зависит от соотношения площади следа капель к общей площади сечения факела при распылении над слоем зерна за время  $t_K$ . Отношение этих площадей зависит от характеристики форсунки, подачи раствора и определяется экспериментально (например,  $P_F = 0,6$ ). Тогда вероятность  $P$  взаимодействия зерновки с раствором при распылении форсункой за время  $t_D$  равна произведению двух вероятностей:

$$P = P_H \cdot P_F = 0,1 \cdot 0,6 = 0,06.$$

Среднее число событий за 1 с –

$$\lambda = \frac{P}{t_D} = \frac{0,06}{2,54} = 0,024.$$

Вероятность неоявления одного события взаимодействия по Пуассоновскому закону за время  $t$  (рис. 6):

$$P_0 = e^{-\lambda t}.$$

Вероятность появления одного события за это же время  $t$ :

$$P_1 = 1 - e^{-\lambda t}.$$

Тогда

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{1}{1 - P_1}\right). \tag{25}$$

Определим время распыления жидкости при обработке зерен. Зададимся вероятностью взаимодействия капли с зерновкой  $P_1 = 0,95$  и найдем время  $t_1$ , за которое вероятность достигнет этого значения:

$$t_1 = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{1}{1 - P_1}\right) = \frac{1}{0,024} \ln\left(\frac{1}{1 - 0,95}\right) = 126,9 \text{ с.}$$

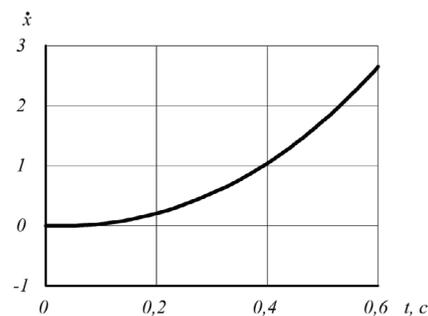


Рис. 5. Изменение во времени скорости  $\dot{x}(t)$ , когда координата  $x$  изменяется в пределах  $x \in [-0,225; 0,225]$

Fig. 5. Change of speed in time  $\dot{x}(t)$ , when coordinate  $x$  changes within the limits of  $x \in [-0.225; 0.225]$

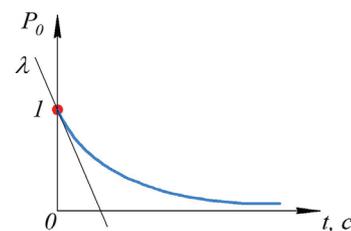


Рис. 6. Графическая иллюстрация потока Пуассона  
 Fig. 6. Graphic illustration of Poisson input

Дальнейшее перемешивание можно производить без добавления раствора с целью выравнивания насыщения его поглощения зерновками.

Для автоматизации расчетов и практической реализации полученных математических зависимостей на языке программирования Visual C# разработана программа «Моделирование траектории движения центра масс слоя частиц по цилиндрической вращающейся поверхности», позволяющая выполнять проективно-технологические расчеты по определению угла поворота форсунки и времени распыления

увлажняющей жидкости. Окно программы содержит несколько расчетных блоков (рис. 7).

Пользователь вводит исходные данные в таблицу (поз. 1). После активации кнопки «Решение» (поз. 5) пользователь получает значения искомых величин. На монитор выводятся промежуточные (поз. 3) и конечные результаты расчетов (поз. 4), определяющие положение центра масс зернового слоя в заданный момент. График (поз. 2) отражает изменение положения частицы на наклонной плоскости во времени.

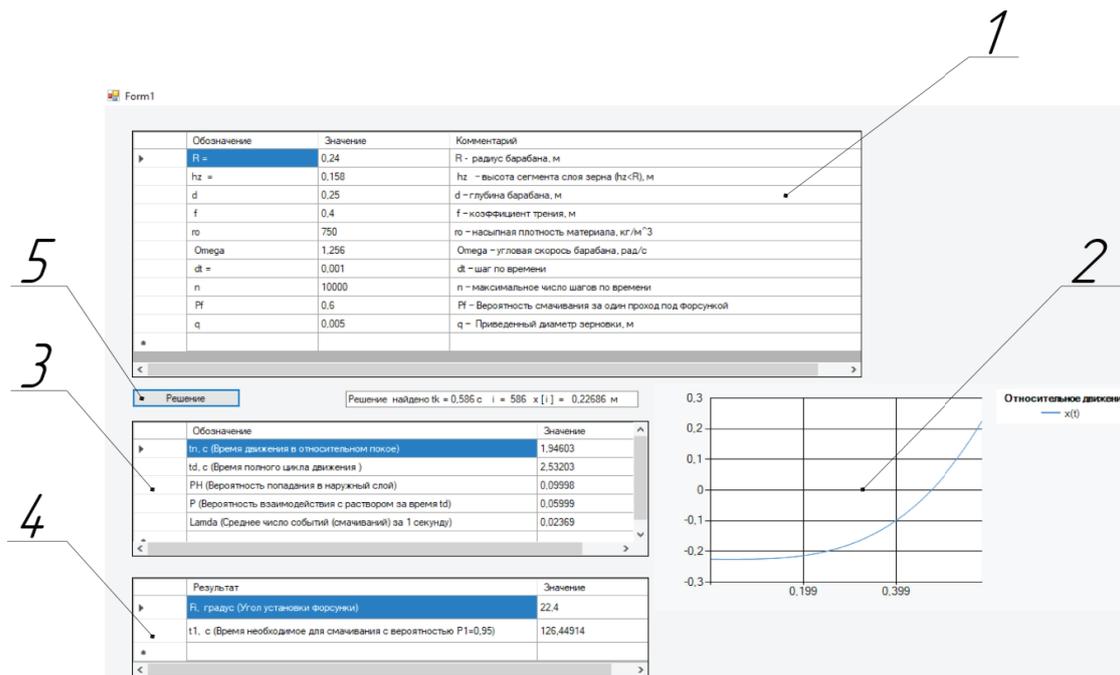


Рис. 7. Окно программы:

1 – таблица исходных данных; 2 – график; 3, 4 – промежуточные и конечные расчеты; 5 – решение

Fig. 7. Program window:

1 – table of initial data; 2 – graph; 3, 4 – intermediate and final calculations; 5 – solution

## Выводы

Выполненные расчеты и разработанная программа позволяют определить угол установки форсунок при распылении жидкости во время предпосевного увлажнения, что сможет повысить эффективность

обработки за счет обеспечения дыхательного режима семян. Для условий проведения расчетов угол поворота форсунки составил 0,39 рад. При этом время распыления жидкости составит 126,9 с при вероятности взаимодействия капли с зерновкой  $P = 0,95$ .

## Список источников

1. Волхонков М.С., Мамаева И.А., Беляков М.М. Классификация и определение эффективности известных способов предпосевной обработки семян // Вестник НГИЭИ. 2022. № 8 (135). С. 7-19. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-8-7-19>
2. Нечепуренко С.Б., Дорогина О.В. Воздействие различных факторов на прорастание семян *Hedysarum theinum* Krasnob (*Fabaceae*) // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. № 10 (72). С. 46-49. EDN: MVDSNR
3. Касьяненко А.В., Краснов И.Н., Кравченко И.А., Толстоухова Т.Н. О совершенствовании технологии подготовки семян зерновых перед посевом в условиях аридизации климата // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия «Естественные науки». 2017. № 4-1 (196-1). С. 70-74. EDN: YKUNZA

## References

1. Volkhonov M.S., Mamaeva I.A., Belyakov M.M. Classification and determination of the efficiency of known methods of seed pre-sowing treatment. *Vestnik NGIEI*. 2022;8:7-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-8-7-19>
2. Nechepurenko S.B., Dorogina O.V. Effect of different factors on *Hedysarum theinum* Krasnob (*Fabaceae*) seed germination. *Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2010;10(72):46-49. (In Russ.)
3. Kasyanenko A.V, Krasnov I.N., Kravchenko I.A., Tolstoukhova T.N. On improving the technology of preparation of grain seeds before sowing in conditions of climate aridization. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Sciences*. 2017;4-1:70-74. (In Russ.)

4. Краснов И.Н., Перекрест Ф.О. Интенсификация насыщения зерна влагой // Вестник аграрной науки Дона. 2012. № 1 (17). С. 4. EDN: REUYZT
5. Краснов И.Н., Кравченко И.А., Касьяненко А.В., Хроноук В.Б., Гапеева Т.В., Ставицкая О.Н. Результаты предпосевной подготовки и посева семян пшеницы в иссушенную почву // Вестник аграрной науки Дона. 2018. № 54. С. 22-28. EDN: FQYLKW
6. Imran M., Mahmood A., Römheld V., Neumann G. Nutrient seed priming improves seedling development of maize exposed to low root zone temperatures during early growth. *European Journal of Agronomy*. 2013;49:141-148. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.04.001>
7. Blunk S., de Heer M.I., Malik A.H., Fredlund K., Ekblad T., Sturrock C.J., Mooney S.J. Seed priming enhances early growth and improves area of soil exploration by roots. *Environmental and Experimental Botany*. 2019;158:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.11.003>
8. Paparella S., Araújo S.S., Rossi G., Wijayasinghe M., Carbonera D., Balestrazzi A. Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports*. 2015;34(8):1281-1293. <https://doi.org/10.1007/s00299-015-1784-y>
9. Киприянов Ф.А., Савиных П.А. Выявление особенностей предпосевного увлажнения семян кукурузы // Вестник АПК Верхневолжья. 2022. № 4 (60). С. 61-67. <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.60.4.007>
10. Киприянов Ф.А., Савиных П.А., Устюжанин И.А. Влияние прайминга семян на всходы сельскохозяйственных культур // Вестник АПК Верхневолжья. 2022. № 1 (57). С. 5-10. <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.57.1.001>
11. Касьяненко А.В., Краснов И.Н. Совершенствование технологии подготовки семян зерновых к озимому посеву в условиях аридизации климата // Вестник аграрной науки Дона. 2017. № 3 (39). С. 42-47. EDN: ZVHYOD
12. Киприянов Ф.А. Инженерно-технические решения для повышения эффективности предпосевного увлажнения семян // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 12 (230). С. 88-95. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-230-12-88-95>

### Информация об авторах

- Алексей Владимирович Алешкин**, д-р техн. наук, профессор, Вятский государственный университет; 610000, Российская Федерация, г. Киров, ул. Московская, 36; [usr00008@vyatsu.ru](mailto:usr00008@vyatsu.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6949-1480>
- Федор Александрович Киприянов**, канд. техн. наук, доцент, Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина; 160555, Российская Федерация, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2; [kipriyanovfa@bk.ru](mailto:kipriyanovfa@bk.ru); <https://orcid.org/0000-0001-5974-4934>
- Петр Алексеевич Савиных**, д-р техн. наук, профессор, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а; [peter.savinyh@mail.ru](mailto:peter.savinyh@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0524-9721>

### Вклад авторов

- А.В. Алешкин – создание математической модели, программирование;  
 Ф.А. Киприянов – концептуализация, создание черновика рукописи, обзор источников литературы, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование;  
 П.А. Савиных – методология, научное руководство.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 27.02.2024, после рецензирования и доработки 06.06.2024; принята к публикации 06.06.2024

4. Krasnov I.N., Perekrest F.O. Intensification of grain moisture saturation. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2012;1(17):4. (In Russ.)
5. Krasnov I.N., Kravchenko I.A., Kasyanenko A.V., Khronyuk V.B., Gapeeva T.V., Stavitskaya O.N. Results of pre-sowing preparation and sowing of wheat seeds in dried soil. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2018; S4:22-28. (In Russ.)
6. Imran M., Mahmood A., Römheld V., Neumann G. Nutrient seed priming improves seedling development of maize exposed to low root zone temperatures during early growth. *European Journal of Agronomy*. 2013;49:141-148. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.04.001>
7. Blunk S., de Heer M.I., Malik A.H., Fredlund K., Ekblad T., Sturrock C.J., Mooney S.J. Seed priming enhances early growth and improves area of soil exploration by roots. *Environmental and Experimental Botany*. 2019;158:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.11.003>
8. Paparella S., Araújo S.S., Rossi G., Wijayasinghe M., Carbonera D., Balestrazzi A. Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports*. 2015;34(8):1281-1293. <https://doi.org/10.1007/s00299-015-1784-y>
9. Kipriyanov F.A., Savinykh P.A. Identification of features of pre-sowing moistening of corn seeds. *Vestnik APK Verhnevolyzha*. 2022;4(60):61-67. (In Russ.) <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.60.4.007>
10. Kipriyanov F.A., Savinykh P.A., Ustyuzhanin I.A. Influence of seed priming on seedlings of crops. *Vestnik APK Verhnevolyzha*. 2022;1:5-10. (In Russ.) <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.57.1.001>
11. Kasyanenko A.V., Krasnov I.N. Improving the technology of preparing grain seeds for winter sowing in arid climate conditions. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2017;3(39):42-47. (In Russ.)
12. Kipriyanov F.A. Engineering and technical solutions to improve effectiveness of pre-sowing moistening of seeds. *Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2023;12(230):88-95. (In Russ.) <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-230-12-88-95>

### Authors Information

- Aleksey V. Aleshkin**, DSc (Eng), Professor; Vyatka State University; Moskovskaya Str. 36, Kirov, 610000, Russia; [usr00008@vyatsu.ru](mailto:usr00008@vyatsu.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6949-1480>
- Fedor A. Kipriyanov**, CSc (Eng), Associate Professor; Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin; Shmidta Str., 2, Molochnoe, Vologda, 160555, Russia; [kipriyanovfa@bk.ru](mailto:kipriyanovfa@bk.ru); <https://orcid.org/0000-0001-5974-4934>
- Petr A. Savinykh**, DSc (Eng), Professor; Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitskiy; Lenina Str., 166a, Kirov, 610007, Russia; [peter.savinyh@mail.ru](mailto:peter.savinyh@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0524-9721>

### Author Contribution

- A.V. Aleshkin – designing a mathematical model, programming;  
 F.A. Kipriyanov – conceptualization, writing – original draft preparation, literature review, finalizing (revising and editing) of the manuscript;  
 P.A. Savinykh – methodology, research supervision.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism  
 Received 27.02.2024; Revised 06.06.2024; Accepted 06.06.2024

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 378.663:001:631.372(092)

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-35-43>**Вклад профессора П.М. Белянчикова в тракторостроение СССР***В.В. Шаров*

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

sharov\_vv56@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7659-9978>

**Аннотация.** Павел Михайлович Белянчиков был одним из авторитетнейших ученых, активно участвующих в становлении тракторостроительной отрасли в нашей стране, но практически неизвестный современному поколению. С целью оценки вклада профессора П.М. Белянчикова в науку о тракторе и в становление отечественного тракторостроения проведен анализ архивных материалов, хранящихся в Музее земледельческой механики имени В.П. Горячкина, научной-технической литературы и периодических изданий. Отметим, что Павел Михайлович Белянчиков был одним из первых в нашей стране, кто разработал методики, программы и написал учебники по обучению студентов устройству и эксплуатации тракторов. Используя результаты испытаний тракторной техники, он подготовил к публикации аналитические материалы, ставшие основой для зарождения отечественной науки по конструированию тракторов. Его научно-технические материалы использовал Е.Д. Львов при написании первой в нашей стране книги по теории трактора «Тракторы их конструкция и расчеты». В 1927 г. П.М. Белянчиков возглавил жюри Всероссийского комитета испытания тракторов, которое выбрало лучшие тракторные образцы для освоения поточно-массового производства в СССР. Научная и педагогическая деятельность П.М. Белянчикова была прервана в связи репрессиями в 1930 г. С течением времени его имя перестало упоминаться в публикациях и постепенно забылось. Вспоминая и оценивая заслуги П.М. Белянчикова, необходимо отметить, что они были весомыми как в теоретическом, так и в практическом плане. Он заложил основу для создания дисциплины «Тракторы и автомобили», определил вектор развития отечественного тракторостроения и разработки новых тракторных конструкций.

**Ключевые слова:** П.М. Белянчиков, В.П. Горячкин, Е.Д. Львов, МИС, учебник, трактор, конструкция, тракторостроение, испытания тракторов, репрессии

**Для цитирования:** Шаров В.В. Вклад профессора П.М. Белянчикова в тракторостроение СССР // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 4. С. 35-43. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-35-43>

## ORIGINAL PAPER

**Contribution of Professor P.M. Belyanchikov  
to the tractor industry development in the USSR***V.V. Sharov*

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

sharov\_vv56@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7659-9978>

**Abstract.** Pavel Mikhailovich Belyanchikov was one of the most prominent scientists who actively participated in the development of the domestic tractor industry, but remained practically unknown to the modern generation. In order to assess the contribution of Professor Belyanchikov to the science of tractors and the development of the domestic tractor industry, the author analyzed the archival materials kept in the Museum of Agricultural Mechanics named after V.P. Goryachkin, as well as scientific and technical literature and periodicals. It should be noted that Pavel Belyanchikov was one of the first in our country to develop methods, programmes and write textbooks for teaching students the construction and operation of tractors. Using the results of tractor equipment tests, he prepared for publication analytical materials that initiated the birth of the domestic science of tractor designing. His scientific and technical materials were used by E.D. Lvov when he wrote the first book in our country on tractor theory “Tractors: Design and Calculation of Parameters”. In 1927, Pavel Belyanchikov headed the jury of the All-Russian Tractor Testing Committee, which selected the best tractor models suitable for mass production in the USSR. Pavel Belyanchikov’s scientific and pedagogical activity was interrupted by repressions in 1930. As time went by, his name was no longer mentioned in publications and he gradually fell into oblivion. Remembering and evaluating the scientific outcomes of P.M. Belyanchikov’s research activity, we should note their

theoretical and practical value. He laid the foundation for the “Tractors and Automobiles” discipline, determined the development trends of the domestic tractor industry and offered new tractor designs.

**Keywords:** P.M. Belyanchikov, V.P. Goryachkin, E.D. Lvov, textbook, science, tractor, construction, tractor engineering, tests, repressions

**For citation:** Sharov V.V. Contribution of Professor P.M. Belyanchikov to the tractor industry development in the USSR. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(4):35-43. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-35-43>

### Введение

Научная и педагогическая жизнь профессора Павла Михайловича Белянчикова (1886-1940 гг.) практически неизвестна современному поколению участников тракторного дела в нашей стране. Его имя ушло в забвение в конце 30-х гг. XX в., когда политическим репрессиям подверглись многие ученые и специалисты.

В свое время П.М. Белянчиков был одним из авторитетнейших ученых, активно участвующих в становлении тракторостроительной отрасли в нашей стране. В период 1918-1930 гг. отрасль развивалась по нескольким направлениям. Одним из них была целевая закупка техники за рубежом и использование ее в народном хозяйстве. Другим направлением являлось развитие самобытного тракторостроения, когда производились тракторы простейших конструкций на отечественных предприятиях в Коломне и Брянске («Коломенец-1, 2»), в Токмаке («Запорожец»), во Владивостоке («Трехколесный трактор»), в Маркштадте («Карлик»). Третьим направлением было освоение серийного производства зарубежной тракторной техники на заводах страны (в Ленинграде – «Фордзон-Путиловец» и «Холт-75», в Харькове – «Коммунар», в Москве – автопflug «Фаулер»).

Все перечисленные направления курировались и поддерживались правительственными органами, которые в свою очередь при выработке решений опирались на мнения и рекомендации профессиональных специалистов. Одним из таких специалистов был П.М. Белянчиков, имя которого незаслуженно забыто сегодня. В свое время он был известным ученым, ближайшим сподвижником В.П. Горячкина по работе на МИС [1] и практически всю свою недолгую жизнь (54 года) посвятил становлению тракторостроения в нашей стране.

**Цель исследований:** оценка вклада П.М. Белянчикова в науку о тракторе и в становление отечественного тракторостроения на основании изучения его опубликованных трудов и трудов других ученых – теоретического и практического наследия начального периода тракторизации страны.

### Материалы и методы

При проведении исследований использовались написанные профессором Белянчиковым труды, его книги по конструкции и теории трактора,

научно-техническая литература и периодические издания, материалы сети «Интернет», отражающие становление отечественного тракторостроения, архивные материалы, хранящиеся в Музее земледельческой механики имени В.П. Горячкина. Исследования проводились в соответствии с принятыми в истории науки и техники принципами историзма, научной объективности и достоверности.

### Результаты и их обсуждение

Интересующая нас деятельность П.М. Белянчикова началась во время Первой мировой войны (1914-1918 гг.), когда для воюющей армии приобретались зарубежные тракторы для транспортировки артиллерийских орудий. В 1916 г. П.М. Белянчиков был заведующим технической и учебной частью в Тракторном отделе при Военной автомобильной школе (ВАШ) в г. Новая Вичуга Костромской губернии, где прапорщиком он проходил военную службу.

В распоряжении школы, где происходило обучение солдат правилам эксплуатации самоходных машин, находились все марки иностранных тракторов, используемых на тот момент в армии. На 1 октября 1916 г. разномарочность техники производства США и Великобритании доходила до 10 наименований: Мортон (Morton), Могул (Mogul), Титан (Titan), Холт (Holt), Румели (Rumely), Кейс (Case), Маршалл (Marshall), Даймлер (Daimler), Фоулер (Fowler) и Виккерс (Vickers). Среди них были колесные и полугусеничные модели тракторов как с паровыми двигателями, так и с двигателями внутреннего сгорания<sup>1</sup>.

Инженер-механик П.М. Белянчиков детально изучал конструкции импортных тракторов с подробным описанием, разрабатывал учебные пособия и инструкции по их использованию. В целях обучения курсантов школы правильному применению тракторной техники, ее ремонту и хранению им разрабатывались соответствующие методики и программы преподавания. Такая работа в нашей стране была осуществлена впервые. Впоследствии П.М. Белянчиков перенес этот опыт и в практику Петровской сельскохозяйственной академии.

<sup>1</sup>Канинский Г., Кирилец С. Тракторы в русской императорской армии. URL: [https://ser-sarajkin.narod2.ru/ALL\\_OUT/TiVOut10/RuArTrak/RuArTrak001.htm](https://ser-sarajkin.narod2.ru/ALL_OUT/TiVOut10/RuArTrak/RuArTrak001.htm) (дата обращения: 08.01.2024)

Интересный факт отражен в «Земледельческой газете» от 21 октября 1917 г., где в заметке «Военные тракторные отряды на вспашке полей» опубликована информация о направлении 50 единиц колесной тракторной техники по решению Ставки Верховного Главнокомандующего в южные регионы России для проведения сельскохозяйственных работ.

Подготовка тракторной техники и обслуживающего персонала проводилась под руководством П.М. Белянчикова. С этой целью были осуществлены испытания колесных тракторов «Мортон», «Могул», «Титан» и «Маршал» на пахоте, показавших хорошие результаты, что определило выбор для их отправки в помощь сельхозпроизводителям. Уже в мае 1917 г. вся техника была отгружена в распоряжение продовольственных комитетов юга России.

Анализ использования тракторной техники в боевых условиях Первой мировой войны и проведение испытаний на сельскохозяйственных работах формировали банк данных о тяговой технике. На этой основе специалисты вырабатывали решения о необходимых типах и количествах тяговых машин, подлежащих закупке. Составлялись также рекомендации для производителей по совершенствованию конструкций, и всю эту работу в те годы возглавлял в Тракторном отделе ВАШ П.М. Белянчиков.

Приобретенные знания по устройству иностранной тракторной техники и условиям ее эксплуатации П.М. Белянчиков активно отражал в публикациях статей и изданиях книг в течение 1917-1919 гг. В них он подробно описывал конструкции иностранных тракторов, выдвигал предложения по использованию тракторной техники для нужд сельского хозяйства, а также обосновывал необходимость организации школ для подготовки механиков по сельскохозяйственным самоходным машинам и орудиям [2].

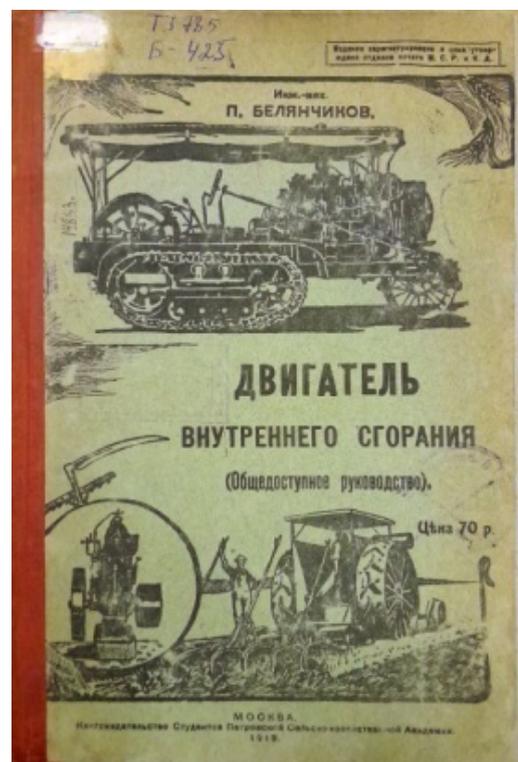
Содержательные публикации по конструкциям тракторов стали основой для зарождающейся отечественной науки по конструированию тракторной техники. Эти труды служили своеобразным пособием для отечественных создателей нового вида тяговых машин, а впоследствии стали одним из исходных материалов, на которые опирался Е.Д. Львов при написании первой в нашей стране книги по теории трактора, вышедшей в 1927 г. [3]. В разделе «Указатель литературы» он перечислил 6 печатных трудов П.М. Белянчикова. На его труды ссылается и профессор В.Ю. Гиттис – автор второй, вышедшей в 1928 г. в нашей стране книги по теории трактора [4].

После расформирования ВАШ в 1918 г. П.М. Белянчиков возвратился в Москву и стал преподавать в ПСХА. Вполне вероятно, что он прослушал курс по земледельческой механике у В.П. Горячкина, – это

была общепринятая практика для сотрудников академии, работающих с основоположником данной науки.

В 1919 г. в Издательстве студентов ПСХА была выпущена книга П.М. Белянчикова «Двигатель внутреннего сгорания. Общедоступное руководство». Учебное пособие на 228 страницах подробно описывало принципы работы и устройство тракторных двигателей, их регулировку и эксплуатацию [5]. Эта книга явилась одной из первых в ряду учебников для студентов высших учебных заведений, в которой П.М. Белянчиков обобщил все свои наработки по созданию учебных пособий, приобретенные еще в Тракторном отделе ВАШ, и изложил новые понятия и термины нарождающейся тракторной техники на доступном для освоения студентами языке.

Отметим, что в 1919 г. была издана эпохальная работа В.П. Горячкина «Земледельческая механика. Основы теории земледельческих машин и орудий. 1917-1918 года», где приводятся, в том числе, теоретические выкладки по конструкции трактора [6]. Важно отметить, что двое ученых, работая в одном учебном заведении, с разных сторон одновременно вносили каждый свой вклад в зарождающуюся науку о тракторе. В.П. Горячкин использовал чисто теоретический путь, предлагая схемы и формулы, а П.М. Белянчиков двигался инженерным путем, анализируя и описывая работу передовых конструкций тракторов и определяя их рациональное применение.



На снимке. Обложка книги П.М. Белянчикова. 1919 г.

Cover of the study manual written by P.M. Belyanchikov. 1919

В продолжение работы над учебными пособиями по тракторной тематике в 1921 г. была издана книга П.М. Белянчикова «Тракторы. Общеизвестное руководство» объемом в 141 с. [7], которая логично дополняла ранее изданную книгу о двигателях внутреннего сгорания и стала учебным пособием для студентов. В 1930 г. она была переиздана с объемом 484 с. [8].

Неудивительно, что В.П. Горячкин, учитывая знания, опыт, профессионализм и авторитет П.М. Белянчикова, привлек его к работе на МИС в качестве помощника (заместителя). Скорее всего это произошло в конце 1920 – начале 1921 гг., когда с этой должности Владислав Александрович Желиговский перешел на другую работу [9, с. 90].

В 1922 г. в Петровской сельскохозяйственной академии был сформирован инженерный факультет, на котором П.М. Белянчиков одним из первых в нашей стране стал читать самостоятельный курс по тракторам «Мотокультура» [10]. Студенты наряду с лекционными занятиями по устройству тракторов практиковались и на действующем стенде для тракторных двигателей, расположенном на МИС. Одновременно с занятиями в академии П.М. Белянчиков преподавал эту же дисциплину и студентам Московского механико-электротехнического института им. М.В. Ломоносова, одним из преподавателей которого с 1922 г. был Евгений Дмитриевич Львов, возглавивший в 1924 г. там кафедру «Тракторы» [11]. С 1926 г. сотрудником кафедры стал Дмитрий Константинович Карельских, а с 1929 – Василий Николаевич Болтинский. Нет никаких сомнений в том, что все они сотрудничали в деле обучения студентов и обменивались мнениями по развитию тракторного дела в стране.

Занимаясь педагогической деятельностью в двух вузах, П.М. Белянчиков в 1922 г. написал обзорную

работу по тракторной промышленности Германии [12] и аналитическую статью о работе тракторов в русских условиях [13], которые были опубликованы в трудах Госплана.

В конце 1922 г. П.М. Белянчиков как один из самых опытных инженеров-механиков страны, владеющий иностранными языками, был командирован за границу вместе с известным отечественным тракторостроителем Я.В. Маминым для закупки станочного оборудования с целью налаживания серийного производства колесного трактора «Карлик». Выданные правительством денежные средства были рационально использованы, а станочное оборудование в количестве 65 единиц впоследствии использовалось на заводе «Возрождение» в Марксштадте при производстве тракторов конструкции Я.В. Мамина [14].

Работая совместно с В.П. Горячкиным на МИС, П.М. Белянчиков организовал испытания разнообразной тракторной техники как отечественных заводов, так и техники, закупаемой за рубежом. В то время тяговая техника проходила испытания на незастроенных полях рядом со зданием станции.

В 1922 г. на МИС испытывался американский трактор «Фордзон» (Fordson) с целью определения целесообразности его производства в России [15]. В процессе испытаний были выявлены некоторые конструктивные недостатки, но в целом его оценили положительно. В 1924 г. тракторы данной модели под названием «Фордзон-Путиловец» стали выпускаться в Ленинграде на заводе «Красный путиловец». Первые его образцы № 1 и № 4 испытывались с июля по сентябрь на МИС ТСХА и сравнивались с американским трактором «Фордзон». Образец Фордзона-Путиловца № 3 совершил демонстрационный пробег Москва-Нижний Новгород, где открывалась ежегодная выставка-ярмарка.



**ПОЛЕ, НА КОТОРОМ  
ИСПЫТЫВАЛИСЬ ТРАКТОРЫ**

**ЗДАНИЕ  
МИС**

**МАШИННЫЙ  
САРАЙ**

*На снимке. Местоположение участка для испытаний тракторов. 1924 г.*

**Location of the tractor testing site. 1924**

Результаты испытаний обсуждались 19-20 сентября 1924 г. на заседании под председательством В.П. Горячкина [16]. В целом испытания тракторов производства завода «Красный путиловец» прошли успешно, была подтверждена их надежность и работоспособность, а также отпали сомнения в том, что русские заводы неспособны воспроизвести сложные американские машины. Уже 1 октября 1924 г. тракторы «Фордзон-Путиловец» были поставлены на серийное производство, которое, преодолевая сложности, постепенно наращивало выпуск необходимой для села продукции.

Особенно большой объем испытательных работ пришлось выполнить сотрудникам Тракторного отделения МИС во главе с П.М. Белянчиковым в 1923 г., когда сюда были направлена вся тракторная техника с Первой сельскохозяйственной выставки, проходившей в Москве. Это были гусеничные тракторы «Холт-75», «Большевик-40», «Большевик-20», «Коммунар» и колесные «Могул», «Фордзон-Путиловец», «Запорожец», «Коломенец-1», «Коломенец-2», «Гном», «Карлик», автоплуг «Фаулер» и др. [17]. Тракторы производились на отечественных предприятиях и отражали в основном уровень тракторостроения в стране (отметим, что он был

невысоким, – сказывались послевоенная разруха и революционные преобразования экономики в стране).

С 1923 по 1931 г. на МИС было испытано 25 разнообразных конструкций тракторной техники [9, с. 166]. Испытания проводил П.М. Белянчиков, он же докладывал их результаты на заключительных заседаниях, где всегда председательствовал В.П. Горячкин. Учитывая важность тракторостроительной отрасли, на этих заседаниях присутствовали представители Госплана, Народного комиссариата земледелия, Главного хозяйственного комитета ВСНХ<sup>2</sup>, Военно-технического управления РККА<sup>3</sup>, Сельскохозяйственного союза<sup>4</sup>, Главметалла ВСНХ, ЦУГАЗа<sup>5</sup>, ГОМЗа<sup>6</sup> Сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева, Ломоносовского института, МВТУ<sup>7</sup>, Московской тракторной школы, Московского тракторного общества, завода-изготовителя, редакций газет, журналов и др. [16].

Обучая студентов устройству трактора и проводя испытания действующих конструкций, П.М. Белянчиков глубоко понимал необходимость широкого внедрения тракторной техники в жизнь села. Он горячо поддерживал так называемое «русское направление» в тракторостроении, которое характеризовалось ярко



*На снимке. В.П. Горячкин и сотрудники МИС (П.М. Белянчиков сидит в первом ряду, второй справа). 1928 г.*

**V.P. Goryachkin and the staff of the Machine-Testing Station (P.M. Belyanchikov is sitting in the first row, second right). 1928**

<sup>2</sup> ВСНХ – Высший совет народного хозяйства.

<sup>3</sup> РККА – Рабоче-крестьянская Красная Армия.

<sup>4</sup> Сельскохозяйственный союз – Всероссийский союз сельскохозяйственной кооперации.

<sup>5</sup> ЦУГАЗ – Центральное управление государственных автомобильных заводов.

<sup>6</sup> ГОМЗ – Государственное объединение машиностроительных заводов.

<sup>7</sup> МВТУ – Московское высшее техническое училище.



**На снимке. В.П. Горячкин и сотрудники МИС (П.М. Белянчиков сидит первый слева). 1926 г.  
V.P. Goryachkin and the staff of the Machine-Testing Station (Belyanchikov P.M. is sitting first left). 1926**



**На снимке. В.П. Горячкин и сотрудники МИС  
(П.М. Белянчиков сидит в одном ряду с В.П. Горячкиным, второй слева). 1928 г.  
V.P. Goryachkin and the Machine Testing Station staff  
(Belyanchikov P.M. is sitting in the same row with Goryachkin V.P., second left). 1928**

выраженной конструкционной простотой трактора. В одном из своих трудов 1925 г. Павел Михайлович как истинный патриот писал: «...тракторы отечественного производства, как длительно не испытанные еще в действительных условиях работы, возможно, что обнаружат на первое время некоторые дефекты, но при наличии хорошего конструирования, организации ремонта и др. со стороны заводов быстро перенесут свои «детские болезни» и найдут себе широкое применение в сельском хозяйстве» [17]. Понимая важность применения тракторной техники в сельском хозяйстве, он был активным ее сторонником, исследователем и популяризатором. По количеству изданных его книг, учебников, опубликованных статей в газетах и журналах по тракторостроительной тематике он был несомненным лидером в своей

области знаний. Помимо публицистической деятельности, он также выступал в Политехническом музее с сообщениями о достижениях отечественных тракторостроителей [14, с. 122].

В 1926 г. с группой механиков Сельскохозяйственного союза П.М. Белянчиков был командирован в США для практического изучения тракторного дела на американских заводах. По возвращении из командировки он написал обзорно-аналитическую работу [18]. В книге были приведены данные по применению трактора в американском сельском хозяйстве, по количеству тракторных заводов и типов тракторов, по технологиям изготовления деталей и сборки тракторов.

Выдающийся ученый-тракторостроитель Василий Николаевич Болтинский с 1924 по 1927 гг. был

студентом инженерного факультета ТСХА, а в 1929 г. защитил дипломный проект по тракторной тематике. С 1927 г. он стал работать в МИС при ТСХА и заниматься испытанием тракторной техники, а в 1929-1930 гг. по совместительству – ассистентом на кафедре «Тракторы» у Е.Д. Львова в ММИ им. Ломоносова [19]. В те же годы там работал и П.М. Белянчиков, читая лекции и проводя практические занятия студенту В.Н. Болтинскому, затем он был его коллегой по работе на МИС и в Ломоносовском институте. Можно не сомневаться в том, что П.М. Белянчиков оказал большое влияние на формирование личности будущего ученого, сумевшего стать впоследствии одним из лидеров по развитию науки о тракторах.

В 1924 г. П.М. Белянчикову было присвоено звание профессора, активно публиковались его научные труды по тракторной тематике. С годами авторитет П.М. Белянчикова как специалиста по тракторам возрастал. Его включили в комиссию по вопросам развития отечественного тракторостроения при ВСНХ СССР. В 1927 г. он возглавил жюри Всероссийского комитета испытания тракторов (ВКИТ), в которое входил 81 человек: специалисты по машиностроению, агрономии, экономики и военному делу, которые должны были выбрать тип и марки тракторов, наилучшим образом отвечающих условиям эксплуатации и серийного производства в СССР [20]. В конкурсе участвовали 33 гусеничных и колесных трактора отечественного и иностранного производства. Испытания были проведены в период с 22 августа по 16 ноября в Персиановке. Итоги конкурса авторитетным жюри во главе с П.М. Белянчиковым были подведены 27 ноября 1927 г. По вычисленному коэффициенту соответствия требованиям (надежности, удобству обслуживания и пр.), предъявляемым к трактору, лучшими конструкциями были признаны колесный трактор «Mc-Cormik 15/30» и гусеничный «Caterpillar Sixty». Именно они стали выпускаться поточно-массовым производством на заводах-гигантах под марками СТЗ-15/30 в Сталинграде, СХТЗ-15/30 в Харькове и С-60 в Челябинске.

В 1930 г. из части факультета сельскохозяйственного машиностроения ТСХА имени К.А. Тимирязева и части факультета индустриального земледелия ММИ имени М.В. Ломоносова был образован Московский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (МИМЭСХ). В новый вуз из Тимирязевки перешла и кафедра «Тракторы», на которой трудился П.М. Белянчиков. Все его методические разработки и материалы по курсу «Устройство и применение трактора» использовались в учебном процессе, совершенствуясь, расширяясь и дополняясь с течением времени. В 1934 г. над методическими

документами по дисциплине «Тракторы и автомобили» работал коллектив кафедры МИМЭСХ, возглавляемый В.Н. Болтинским. С основой на приобретенном с 1919 г. опыте П.М. Белянчикова и вновь приобретенных познаниях были созданы типовые документы, распространенные затем по всем агроинженерным вузам страны.

До 1930 г. издавались книги П.М. Белянчикова, он участвовал во всех совещаниях, рассматривающих вопросы тракторостроения, консультировал по вопросам развития конструкции трактора и оценивал перспективность внедрения новинок в устройство тяговых машин и прицепных орудий. Все это прекратилось в связи с политическими событиями, связанными с борьбой органов советской власти с так называемой «Трудовой крестьянской партией». П.М. Белянчиков был арестован и подвергся репрессиям.

В газете «Тимирязевка» от 19 сентября 1930 г. была опубликована статья «Контрреволюционной кондратьевщине и доярковщине не место в высшей с.-х. школе», где говорилось: «*Точно также арестованный бывший профессор Тимирязевской академии П.М. Белянчиков показал, что он был связан с организацией, ставившей себе целью разрушить тракторизацию сельского хозяйства путем направления запасных частей одних тракторов в районы с преимущественным наличием в тракторных парках других марок тракторов и путем сознательной порчи тракторов в «ремонтных» мастерских*». В книге «Классовая борьба в высшей школе и задачи Комсомола» (1931 г.) было сказано: «*В Сельскохозяйственной академии им. Тимирязева свил себе гнездо известный вредитель, б. руководитель тракторного дела в Союзе, проф. Белянчиков*». Такой же сюжет содержится в книге В. Минаева «Подрывная работа иностранных разведок в СССР» (1940): «*Разоблаченный враг в лице профессора сельскохозяйственной Тимирязевской академии Белянчиков руководил вредительством в области тракторного дела. Как показал на следствии сподручный Белянчикова, бывший заведующий тракторным отделом Сельхозсоюза Нарушевич, кондратьевцы считали, что «путем недостаточного снабжения запасными частями можно сорвать эту отрасль советского хозяйства, поколебать доверие крестьянства к власти*».

П.М. Белянчиков оказался фигурантом крупного политического процесса. Видимо, через какое-то время он был оправдан и освобожден, так как в 1935-1937 гг. вновь появились его публикации, посвященные тракторной тематике. Одна из них (1935 г.), наиболее емкая (31 с.), содержала описание конструкций советских тракторов, а две другие в виде информационных листов посвящались

использованию газогенераторных установок на гусеничных тракторах С-60Г. Если судить по выходным данным этих публикаций, то П.М. Белянчиков стал работать в отрасли лесной промышленности – видимо, на прежнем месте оставаться было невозможно. Новое место работы было в Химках – в организованном в 1932 г. Центральном научно-исследовательском институте механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ).

Вновь развернувшиеся репрессии в 1937-1938 гг. не прошли мимо П.М. Белянчикова: его вновь арестовали, о чем сообщает автор исторического блога «Вичугское краеведение» И.В. Матершев<sup>8</sup>. Основывается он на том, что местом захоронения П.М. Белянчикова стало Донское кладбище, где обычно в те годы кремировали и хоронили репрессированных.

С 1940 г. в библиографическом перечне работ по тракторостроению больше не прослеживались публикации П.М. Белянчикова, что подтверждает информацию блогера. К сожалению, пропадают постепенно и ссылки на его работы в трудах ученых

<sup>8</sup> Вичугский преподаватель: взлет до руководителя тракторного дела в СССР и крах. Вичугское краеведение: исторический блог. URL: <https://dzen.ru/a/YkDOJ2PcN28cew> – (дата обращения: 05.01.2024).

#### Список источников

1. Шаров В.В. Академик В.П. Горячкин – активный участник становления отечественного тракторостроения: Сборник статей «Чтения академика В.Н. Болтинского (25-26 января 2023 г.) М.: ООО «Сам Полиграфист», 2023. С. 80-85 <http://elib.timacad.ru/dl/full/sb-23-boltinsky-08.pdf/info>
2. Белянчиков П. Записка по вопросу об использовании автомобильного имущества (тракторы, автомобили и прочее) после войны для нужд сельского хозяйства и об организации школ для подготовки тракторных монтеров и механиков по сельскохозяйственным машинам-орудиям. Кинешма: Тип. Кинешем. уезд. земства, 1918. 32 с.
3. Львов Е.Д. Тракторы их конструкция и расчёты. М.: Гозиздат, 1927. 498 с.
4. Гиттис В.Ю. Тракторы. Теория и конструкция. Л.: Брокгауз-Ефрон, 1928. 258 с.
5. Белянчиков П. Двигатель внутреннего сгорания (Общедоступное руководство). М.: Издательство Студентов Петровской Сельскохозяйственной Академии, 1919. 228 с.
6. Шаров В.В. Аспекты наследия академика В.П. Горячкина // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 3. С. 65-71. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-65-71>
7. Белянчиков П.М. Тракторы: (Рук. для поступающих[!] к изучению). М: Гос. изд., 1921. 141 с.
8. Белянчиков П.М. Тракторы. М: Кооп. изд-во студенчества Акад. крупного социалистического сельского хозяйства им. К.А. Тимирязева «Новый агроном», 1930. 484 с.
9. Ерохин М.Н., Зайцева Н.Л., Алдошин Н.В. Василий Прохорович Горячкин: Страницы жизни. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 280 с.
10. Кленин Н.И. Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина (1930-2005). М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 105 с.

и популяризаторов тракторной техники. В те времена ученый, попадающий в опалу, переставал публиковаться и упоминаться в письменных трудах других авторов.

#### Выводы

Павел Михайлович Белянчиков как ученый и педагог внес значительный вклад в создание тракторостроительной отрасли в СССР. Созданная им и опробованная методика преподавания курса «Устройство и эксплуатация трактора», изданные его учебники для студентов вузов заложили основу создания дисциплины «Тракторы и автомобили».

Труды П.М. Белянчикова по устройству различных типов тракторов и их применению использовались при создании новых тракторных конструкций и служили основой для зарождающейся науки о тракторе в нашей стране.

П.М. Белянчиков, участвуя в работе правительственных комиссий, возглавляя жюри Всероссийского комитета испытания тракторов (ВКИТ), формируя заключения по итогам испытаний по различным тракторным проектам, заложил вектор развития отечественного тракторостроения и оставил неизгладимый след в истории.

#### References

1. Sharov V.V. Academician V.P. Goryachkin is an active contributor to the development of the domestic tractor industry. Readings dedicated to Academician V.N. Boltinsky: Seminar proceedings (Moscow, January 25-26, 2023); edited by V.I. Trukhachev, O.N. Didmanidze. Moscow, Sam Poligrafist, 2023. 272 p. (In Russ.)
2. Belyanchikov P. Note on the use of automobile property (tractors, automobiles and others) after the war for the needs of agriculture and on the organization of schools for the training of tractor fitters and mechanics in agricultural machines-implements. Kineshma: Tip. Kineshem. Uezd. Zemstva, 1918. 32 p. (In Russ.)
3. Lvov E.D. Tractors: Design and Calculation of Parameters. Moscow, Gozizdat, 1927. 498 p. (In Russ.)
4. Gittis V.Y. Tractors. Theory and Construction. Leningrad: Brockhaus-Efron, 1928. 258 p. (In Russ.)
5. Belyanchikov P. Internal combustion engine (General manual). Moscow: Izdatelstvo studentov Petrovskoy selskokhozyaystvennoy akademii, 1919. 228 p. (In Russ.)
6. Sharov V.V. Aspects of the Heritage of Academician V.P. Goryachkina. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(3):65-71. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-65-71>
7. Belyanchikov P.M. Tractors: (Handbook for Applicants). Moscow, Gos. Izd., 1921. 141 p.
8. Belyanchikov P.M. Tractors. M: Koop. Izd-vo Studenchestva Akad. Krupnogo Sotsialisticheskogo Khozyaystva im. K.A. Timiryazeva, Noviy Agronom, 1930. 484 p. (In Russ.)
9. Erokhin M.N., Zaitseva N.L., Aldoshin N.V. Vasilij Prokhorovich Goryachkin: Pages of Life. Moscow, Rosinformagrotekh, 2020. 280 p. (In Russ.)
10. Klenin N.I. Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin (1930-2005). Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2005. 105 p. (In Russ.)

11. Долгих В.И. Становление отечественного тракторостроения в лицах: Львов Е.Д. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8-1.С. 34-37.EDN: UDUI5F
12. Белянчиков П.М. Типы сельскохозяйственных самоходов германской промышленности // Труды Госплана: в 5 кн. / Гос. общеплан. комис. Совета труда и обороны СССР. Москва. 1922-1925. С. 124.
13. Белянчиков П.М. Практические данные о работе тракторов в русском сельском хозяйстве // Труды Госплана: в 5 кн. / Гос. общеплан. комис. Совета труда и обороны СССР. Москва. 1922-1925. С. 246.
14. Шепелев А.Н., Деревянченко А.А. Яков Мамин: Очерк о жизни и творчестве изобретателя Я.В. Мамина. Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство. 1988. 224 с.
15. Белянчиков П.М. Трактор «Фордзон» и результаты его испытания. М.: Мотор, 1923. 28 с.
16. Испытания гусеничного трактора «Холт» завода «Большевик». Испытания трактора «Фордзон-Путиловец» завода «Красный Путиловец» // Материалы Музея имени В.П. Горячкина. Д. 13.
17. Белянчиков П.М. Русские тракторы: Краткое описание тракторов и результатов полевых испытаний. М.: Кооперативное изд-во, 1925. 41 с.
18. Белянчиков П.М. Трактор в Америке: Применение трактора и обзор тракторостроения. М.: Книгосоюз, 1927. 175 с.
19. Кутков Г.М., Ерохин М.Н., Дидманидзе О.Н., Алипичев А.Ю. Академик ВАСХНИЛ Василий Николаевич Болтинский // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. № 1(89). С. 66-72. EDN: YXZTVZ
20. Феликс М. Тракторы различных марок в их производственной эффективности // Социалистическое переустройство. Ростов н/Д: с.-х. институт социалистической реконструкции и КрайЗУ. 1930. № 5. С. 720-729.
11. Dolgikh V.I. Development of domestic tractor industry in persons: Lvov E.D. *Relevant Problems of Humanities and Natural Sciences*. 2015;8-1:34-37. (In Russ.)
12. Belyanchikov P.M. Types of agricultural self-propelled vehicles of the German industry. *Proceedings of Gosplan (State Planning Committee): in 5 books. State Planning Commission. USSR Council of Labour and Defence*. 1922-1925. P. 124.
13. Belyanchikov P.M. Practical data on the operation of tractors in Russian agriculture. *Proceedings of Gosplan (State Planning Committee): in 5 books. State Planning Commission. USSR Council of Labour and Defence*. 1922-1925. P. 246.
14. Shepelev A.N., Derevyanchenko A.A. Yakov Mamin: Essay on the Life and Work of the Inventor Ya.V. Mamin. Chelyabinsk. Yuzhno-Uralskoe Knizhnoe Izdatelstvo. 1988. 224 p.
15. Belyanchikov P.M. Fordson tractor and results of its testing. Moscow, Motor, 1923. 28 p.
16. Tests of the Holt caterpillar tractor of the Bolshevik plant. Tests of the tractor “Fordzon-Putilovets” of the plant “Krasny Putilovets”. Materials of the Museum named after V.P. Goryachkin. Test Protocol 13. (In Russ.)
17. Belyanchikov P.M. Russian tractors: a brief description of tractors and results of field trials. Moscow, Kooperativnoe izd-vo, 1925. 41 p. (In Russ.)
18. Belyanchikov P.M. Tractor in America: application of tractors and review of tractor designs. Moscow, Knigosoyuz, 1927. 175 p. (In Russ.)
19. Kutkov G.M., Erokhin M.N., Didmanidze O.N., Ali-pichev A.Yu. Vasiliy, N. Boltinskiy – Academician of VASKHNIL (the USSR Academy of Agricultural Sciences). *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019;1:66-72. (In Russ.)
20. Feliks M. Tractors of various brands in their production efficiency. Agricultural Edition. Institute of Socialist Reconstruction and KraiZU, Rostov-on-the Don. 1930;5:720-729. (In Russ.)

#### Информация об авторе

**Владимир Васильевич Шаров**, канд. техн. наук;  
Российский государственный аграрный университет –  
МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434,  
Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49;  
sharov\_vv56@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7659-9978>

Статья поступила в редакцию 27.01.2024; поступила  
после рецензирования и доработки 24.05.2024; принята  
к публикации 24.05.2024

#### Author Information

**Vladimir V. Sharov**, CSc (Eng), Russian State Agrarian University –  
Moscow Timiryazev Agricultural Academy;  
49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434,  
Russian Federation; sharov\_vv56@mail.ru;  
<https://orcid.org/0000-0001-7659-9978>

Received 27.01.2024; Revised 24.05.2024; Accepted 24.05.2024

# ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.3

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-44-50>



## Цифровая маркировка запасных частей

*П.В. Голиницкий<sup>1</sup>, У.Ю. Антонова<sup>2</sup>, Э.И. Черкасова<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

<sup>1</sup> [gpv@rgau-msha.ru](mailto:gpv@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7303-1658>

<sup>2</sup> [uantonova@rgau-msha.ru](mailto:uantonova@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>

<sup>3</sup> [e.cherkasova@rgau-msha.ru](mailto:e.cherkasova@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-2495-2028>

**Аннотация.** Цилиндропоршневая группа (ЦПГ), от работы которой зависят надежность и эффективность всей техники, наиболее часто подвергается ремонту в автотракторных двигателях. В ремонтном производстве используемая человеко-читаемая маркировка деталей, основанная на цветовых схемах, является недостаточно информативной, поэтому целесообразно переходить от человекочитаемой к машиночитаемой маркировке. С целью внедрения цифровой маркировки для запасных частей и цифровой трансформации ремонтных предприятий рассмотрены основные показатели качества запасных частей ЦПГ автотракторных двигателей и селективная сборка соединений «Поршень-гильза» двигателей ЗМЗ-402 по 10 группам. Для повышения точности базовых условий сборки при реализации метода межгрупповой взаимозаменяемости ЦПГ двигателей и автоматизации процесса комплектации предложено использовать машиночитаемую маркировку на основе QR-кода или радиочастотные метки. Преимуществами QR-кода являются невысокая стоимость его создания, быстрая считываемость информации, возможность создания избыточного QR-кода, высокая емкость, возможность считывания нескольких меток одновременно. Маркировка с помощью средств радиочастотных меток (RFID, NFC) позволяет кодировать и считывать информацию без непосредственного контакта. Она является более устойчивой к механическим воздействиям по сравнению с QR-кодом. Существенными недостатками радиочастотных меток являются сложность со считыванием при экранировании сигнала и высокая стоимость внедрения данной системы маркировки. Цифровая маркировка запасных частей поможет спрогнозировать спрос, позволит повысить автоматизацию, удобство работы со складскими базами данных и прозрачность проводимых операций, более точно прогнозировать сроки и стоимость ремонта. Использование QR-кода совместно с информационной средой (интернет-каталогом) предприятия позволит увеличить собираемость при селективной сборке и снизить вероятность возникновения ошибок персонала.

**Ключевые слова:** цифровая маркировка запасных частей, цифровая маркировка, QR-код, радиочастотные метки, цилиндропоршневая группа, контроль, дефект, селективная сборка

**Для цитирования:** Голиницкий П.В., Антонова У.Ю., Черкасова Э.И. Цифровая маркировка запасных частей // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 4. С. 44-50. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-44-50>

ORIGINAL PAPER

## Digital marking of spare parts

*P.V. Golinitkiy<sup>1</sup>, U.Yu. Antonova<sup>2</sup>, E.I. Cherkasova<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

<sup>1</sup> [gpv@rgau-msha.ru](mailto:gpv@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7303-1658>

<sup>2</sup> [uantonova@rgau-msha.ru](mailto:uantonova@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>

<sup>3</sup> [e.cherkasova@rgau-msha.ru](mailto:e.cherkasova@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-2495-2028>

**Abstract.** The main component that is most often subject to repair in auto-tractor engines is the cylinder-piston unit, the operation of which will determine the reliability and efficiency of all equipment. Currently, color marking is used for cylinder-piston groups, but this type of marking is not sufficiently informative. There is an urgent need to shift

from human-readable markings to machine-readable ones. To introduce digital marking for spare parts and ensure digital transformation of repair enterprises, the authors considered the main quality indicators of spare parts of automotive tractor engines and selective assembly of “piston – cylinder liner” conjugation of ZMZ-402 engines by ten units. When implementing the method of intergroup interchangeability of cylinder-piston units, it is rational to use machine-readable markings based on QR codes or radio frequency tags or to automate the assembly process and increase the accuracy of basic assembly conditions. The advantages of using a QR code as a machine-readable marking include low cost of equipment, fast readability of information, the ability to create a redundant QR code, high capacity, and the ability to read several tags simultaneously. Marking with radio-frequency tags (RFID, NFC) allows encoding and reading information without direct contact, it is more resistant to mechanical influences in comparison with QR code. Significant disadvantages of radio-frequency tags are difficulty in reading when the signal is shielded and high cost of implementation of this marking system. The use of digital marking will make it possible to predict demand, increase automation and ease of working with warehouse databases, increase the transparency of ongoing operations, more accurately predict the timing and cost of repairs. The use of QR codes in conjunction with the enterprise information environment (E-catalogue) will increase the collection rate during selective assembly and the probability of man-made errors.

**Keywords:** digital marking of spare parts, digital marking, QR code, radio frequency tags, cylinder-piston unit, control, defect, selective assembly

**For citation:** Golinitkiy P.V., Antonova U.Yu., Cherkasova E.I. Digital marking of spare parts. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(4):44-50. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-44-50>

### Введение

По данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации («О структуре парка сельскохозяйственной техники») за 2022 г., объем тракторов старше 10 лет, находящихся в эксплуатации, превышал 58%, для зерноуборочных комбайнов – более 45%, для кормоуборочных – свыше 43%. В сельскохозяйственной отрасли РФ наблюдается снижение объемов приобретаемой новой техники и количества списаний техники по износу основных узлов и агрегатов в связи с запретом поставок зарубежной техники.

Предприятия технического сервиса по ремонту сельскохозяйственной техники для сохранения конкурентоспособности в своем сегменте рынка улучшают качество выполняемых работ и услуг путем предотвращения несоответствий и совершенствования контрольных мероприятий [1-3]. Технологическое оборудование и качество выполнения производственных процессов анализируются с позиции наличия брака и иных дефектов [4, 5] для обеспечения требуемой точности деталей, образующих ответственные соединения [6, 7]. Качество процессов дефектации и контроля деталей гарантируется при строгом соблюдении условий выбора средств контроля в соответствии с требуемой точностью [8-10]. Уменьшить потери от внутреннего и внешнего брака [11, 12] за счет повышения точности измерений при контроле позволяют высокая степень автоматизации процесса, квалифицированный персонал и система менеджмента качества (СМК). Стоимость ремонта определяется объемом и видом работ, затратами на контроль.

Надежность и эффективность сельскохозяйственной техники зависят, в том числе, от работы цилиндропоршневой группы (ЦПГ) – наиболее часто ремонтируемого узла в автотракторных двигателях. Качество сборки ЦПГ обеспечивается методами групповой взаимозаменяемости (селективной сборкой).

Детали ЦПГ за время эксплуатации техники подвергаются многократной замене. Даже незначительные отступления от требований качества могут привести к потере мощности двигателя и его перегреву, повышению расхода масла, стукам и надирам ЦПГ.

Использование современного оборудования при производстве позволяет достигать необходимых норм точности, селективной сборки, снижения риска проявления человеческого фактора и низкого процента незавершенного производства [14-16]. Однако использование на ремонтных предприятиях оборудования высокого класса делает производство нерентабельным, поэтому вместо восстановления, требующего большей квалификации сотрудников, чем при производстве, чаще прибегают к замене деталей ЦПГ.

Цель исследований: рассмотреть возможность применения цифровой маркировки для запасных частей и цифровой трансформации ремонтных предприятий.

### Материалы и методы

Для исследований выбраны двигатели Заволжского моторного завода (ЗМЗ). Данный производитель использует человекочитаемую маркировку, основанную на цветовых схемах: для обозначения



высокая емкость, возможность считывания нескольких меток одновременно.

QR-кодом (рис. 4) можно маркировать как отдельные элементы, так и товарную упаковку комплекта. Данный вид маркировки позволяет хранить в себе все необходимые при ремонте параметры (табл. 2). Наибольший эффект будет наблюдаться при использовании фирменного интернет-каталога (магазина) производителя, который позволит установить параметры изделия и расширить возможности применения.

Применение интернет-каталога позволит заранее подготовить закодированные метки для ускорения операции маркировки, а при интеграции с информационной средой предприятия поможет отслеживать производственные стадии для сбора и анализа статистики возникающих дефектов.

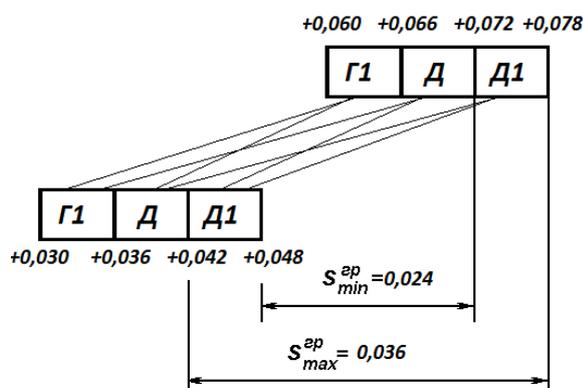


Рис. 3. Элемент межгрупповой сборки в группах Г и Д  
Fig. 3. Element of the intergroup assembly in groups G and D

В постпроизводственный этап жизненного цикла запасных частей можно отслеживать распределение продукции по регионам, что позволит спрогнозировать спрос. Машиночитаемая маркировка совместно с интернет-каталогом являются удобными на этапах хранения, транспортировки и реализации товара. В дополнение к основной информации о продукте в интернет-каталоге можно размещать рекомендации по его ремонту, сведения о снятии с производства или замене на новую модификацию. Использование данного метода на ремонтных предприятиях позволит повысить прозрачность проводимых операций, более точно прогнозировать сроки и стоимость ремонта, а использование совместно с информационной средой предприятия снизит вероятность возникновения ошибок персонала.

Маркировка с помощью QR-кодов получила широкое распространение, на рынке представлена обширная номенклатура оборудования различных классов и производительности. Для средних предприятий затраты на производственную линию составят порядка 900 тыс. руб. Помимо затрат на оборудование, необходимо учесть затраты на разработку или доработку программного обеспечения включая интернет-каталог. В этом случае затраты на линию могут превысить 1500 тыс. руб.

Затраты ремонтных предприятий при использовании данного метода будут зависеть от степени их автоматизации и превысят 300 тыс. руб.

Наименьшие затраты на внедрение данной системы маркировки понесут логистические предприятия

Таблица 1  
Применение метода межгрупповой взаимозаменяемости для соединения «Поршень-гильза» двигателя ЗМЗ-402

Table 1  
Applying the intergroup interchangeability method for the “piston-cylinder liner” conjugation of the ZMZ 402 engine

Группа Group	До применения метода / Before using the method			После применения метода / After using the method		
	Гильза цилиндров Cylinder liner	Поршень Piston	Незавершенное производство Unfinished production	Гильза цилиндров Cylinder liner	Поршень Piston	Незавершенное производство Unfinished production
А	2	1	1	2	2	0
А1	4	3	1	5	5	0
Б	10	9	1	8	8	0
Б1	18	17	1	15	15	0
В	19	18	1	20	20	0
В1	19	20	1	21	21	0
Г	14	16	2	13	13	0
Г1	10	11	1	11	11	0
Д	3	4	1	4	4	0
Д1	1	1	0	1	1	0
<b>Итого / Total</b>	100	100	10	100	100	0

и центры оптово-розничной торговли, оснащенные необходимым оборудованием. Основные затраты потребуются для совершенствования программного обеспечения (не более 300 тыс. руб.).



**Рис. 4. Машиночитаемая маркировка в виде QR-кода с 30%-ной избыточностью**  
**Fig. 4. Machine-readable marking in the form of a QR code with 30% redundancy**

Затраты на самоклеящиеся этикетки с нанесенным QR-кодом на компоненты ЦПП не превысят 10 руб. за 1 шт.

Цифровая маркировка запасных частей с помощью средств радиочастотных меток (RFID, NFC) позволяет кодировать и считывать информацию без непосредственного контакта, в том числе визуального. Радиочастотные метки обладают большей устойчивостью к механическим воздействиям по сравнению с QR-кодом. Однако в случае экранирования сигнала могут возникнуть сложности со считыванием, также стоит учитывать высокую стоимость оборудования на всех этапах жизненного цикла. При использовании радиочастотных меток стоимость внедрения увеличится в 5...6 раз, что делает данный тип маркировки дорогостоящим.

Параметры гильзы цилиндра и поршня двигателя ЗМЗ, содержащиеся в QR-коде

Таблица 2

Parameters of the cylinder liner and piston of the ZMZ engine contained in the QR code

Table 2

Параметр / Parameter	Значение / Value
<b>Гильза цилиндра / Cylinder liner</b>	
Номинальный диаметр, мм / Nominal diameter, mm	92,530
Шероховатость внутренней поверхности гильзы цилиндров, Ra, мкм Roughness of the inner surface of the cylinder liner, Ra, mkm	1,32
Высота гильзы цилиндров, мм / Cylinder liner height, mm	168,5
Овальность, мм / Ovality, mm	0,010
Конусообразность, мм / Taper, mm	0,010
Твердость, HB / Hardness	230
Химический состав / Chemical composition	ИЧГ-33М
<b>Поршень / Piston</b>	
Диаметр юбки поршня, мм / Piston skirt diameter, mm	92,490
Диаметр под поршневой палец, мм / Piston pin diameter, mm	21,9975
Масса, г / Weight, g	2400
Химический состав / Chemical composition	AK12MMrH

**Выводы**

Применение цифровой маркировки запасных частей позволит спрогнозировать их спрос, повысить автоматизацию и удобство работы со складскими базами данных, повысить прозрачность проводимых операций, более точно прогнозировать сроки и

стоимость ремонта. Совместное использование с информационной средой предприятия (интернет-каталогом) позволит увеличить собираемость при селективной сборке и снизить вероятность возникновения ошибок персонала.

## Список источников

1. Ерохин М.Н., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Скороходов Д.М. Производство и ремонт отечественных машин для агропромышленного комплекса с позиции принципа 5М // Вестник машиностроения. 2023. № 8. С. 701-704. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2023-102-8-701-704>
2. Леонов О.А., Темасова Г.Н., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Методика расчета эффективности функционирования системы менеджмента качества // Компетентность. 2020. № 3. С. 26-31. EDN: PBNGWY
3. Темасова Г.Н., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Внедрение элементов бережливого производства на промышленных предприятиях // Компетентность. 2023. № 6. С. 41-46. EDN: ЖКККСМ
4. Леонов О.А., Антонова У.Ю., Лазарь В.В. Оценка обработки цилиндров под ремонтный размер // Сельский механизатор. 2022. № 7. С. 38-39. EDN: САКJJX
5. Leonov O.A., Shkaruba N.Z., Vergazova Y.G., Golinitzkiy P.V., Antonova U.Yu. Quality control in the machining of cylinder liners at repair enterprises. *Russian Engineering Research*. 2020;40(9):726-731. <https://doi.org/10.3103/S1068798X20090105>
6. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Темасова Г.Н., Вергазова Ю.Г., Голиницкий П.В. Расчет допуска посадки с зазором для повышения относительной износостойкости соединений // Трение и износ. 2023. Т. 44, № 3. С. 261-269. <https://doi.org/10.32864/0202-4977-2023-44-3-261-269>
7. Темасова Г.Н. Допусковый контроль валов в ремонтном производстве // Сельский механизатор. 2023. № 8. С. 40-41. EDN: PAFUWP
8. Темасова Г.Н. Оценка брака в ремонтном производстве: инновационный подход к контролю деталей типа «вал» // Вестник НГИЭИ. 2024. № 2 (153). С. 48-58. DOI: 10.24412/2227-9407-2024-2-48-58. EDN LZFQHQ
9. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Нормирование погрешности косвенных измерений при приемо-сдаточных испытаниях двигателей // Измерительная техника. 2022. № 8. С. 23-27. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2022-8-23-27>
10. Леонов О.А., Темасова Г.Н. Методология оценки издержек на контроль при ремонте машин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. № 3 (23). С. 37-43. EDN: KXVXNL
11. Бондарева Г.И., Темасова Г.Н., Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г. Оценка внешнего брака на предприятиях машиностроения // Вестник машиностроения. 2021. № 11. С. 93-96. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2021-11-93-96>
12. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Темасова Г.Н., Пупкова Д.А. Оценка и анализ внутренних потерь при производстве продукции на машиностроительных предприятиях // Вестник машиностроения. 2023. № 5. С. 421-426. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2023-102-5-421-426>
13. Чигрик Н.Н. Количественная оценка неопределенности случайного рассеивания среднего зазора и натяга в сопряжениях // Омский научный вестник. 2022. № 4 (184). С. 101-111. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2022-184-101-111>
14. Чигрик Н.Н. Способ сборки равного количества деталей одноименных промежуточных и крайних размерных групп // Технология машиностроения. 2023. № 6. С. 37-47. EDN: TKEULB
15. Филипович О.В., Невар Г.В., Валошина Н.А., Филипович В.О. Определение количества комплектов при селективной сборке двух элементов с учетом влияния погрешности измерения // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2023. № 3. С. 105-109. EDN: JMKQCS
16. Медведев А.В., Халатов Е.М. Алгоритмы оптимального распределения деталей по комплектам для селективной сборки

## References

1. Erokhin M.N., Leonov O.A., Shkaruba N.Z., Vergazova Yu.G., Skorokhodov D.M. Production and repair of domestic machines for agroindustrial complexes from the position of the 5M principle. *Vestnik Mashinostroeniya*. 2023;8:701-704. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2023-102-8-701-704> (In Russ.)
2. Leonov O.A., Temasova G.N., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Quality management system efficiency functioning. Method of calculation. *Competence*. 2020;3:26-31. (In Russ.)
3. Temasova G.N., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Introduction of lean production elements in industrial enterprises. *Competence (Russia)*. 2020;3:26-31. (In Russ.)
4. Leonov O.A., Antonova U.Y.U., Lazar', V.V. Evaluation of cylinder processing for repair size. *Sel'skiy mekhanizator*. 2022;7:38-39. (In Russ.)
5. Leonov O.A., Shkaruba N.Z., Vergazova Y.G., Golinitzkiy P.V., Antonova U.Yu. Quality control in the machining of cylinder liners at repair enterprises. *Russian Engineering Research*. 2020;40(9):726-731. <https://doi.org/10.3103/S1068798X20090105>
6. Leonov O.A., Shkaruba N.Z., Temasova G.N., Vergazova Y.G., Golinitzkiy P.V. Calculation of the clearance fit tolerance for an increase in the relative wear resistance of the joints. *The Friction and Wear*. 2023;44(3):261-269. <https://doi.org/10.32864/0202-4977-2023-44-3-261-269> (In Russ.)
7. Temasova G.N. Tolerance control of shafts in repair production. *Sel'skiy mekhanizator*. 2023;8:40-41. (In Russ.)
8. Temasova G.N. Evaluation of defects in repair production: an innovative approach to the control of «shaft» type parts. *Bulletin NGIEI*. 2024;2(153):48-58. (In Russ.)
9. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Regulation of the errors of indirect measurements of acceptance and acceptance tests of engines. *Izmeritel'naya Tekhnika*. 2022;8:23-27. (In Russ.). <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2022-8-23-27>
10. Leonov O.A., Temasova G.N. Evaluation methodology the costs of monitoring in the repair of vehicles. *Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives*. 2019;3(23):37-43. (In Russ.)
11. Bondareva G.I., Temasova G.N., Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G. Assessment of external defects at mechanical engineering enterprises. *Vestnik Mashinostroeniya*. 2021;11:93-96. (In Russ.). <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2021-11-93-96>
12. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G., Temasova G.N., Pupkova D.A. Assessment and analysis of internal losses in the manufacturing of products at machine-building enterprises. *Vestnik Mashinostroeniya*. 2023;5:421-426. (In Russ.) <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2023-102-5-421-426>
13. Chigrik N.N. A quantitative estimate of uncertainty of the random scattering of the average clearance and interference in mating. *Omsk scientific bulletin*. 2022;4(184):101-111. (In Russ.) <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2022-184-101-111>
14. Chigrik N.N. Method for assembling an equal number of parts of the same intermediate and extreme size groups. *Mechanical engineering technology*. 2023;6:37-47. (In Russ.)
15. Filipovich O.V., Nevar G.V., Voloshina N.A., Filipovich V.O. Determination of the number of sets in the selective assembly of two elements, taking into account the influence of measurement error. *Assembling in mechanical engineering*. 2023;3:105-109. (In Russ.)
16. Medvedev A.V., Khalatov E.M. Algorithms for optimal distribution of parts among kits for selective assembly of products. *Vestnik Mashinostroeniya*. 2022;11:33-40. (In Russ.) <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2022-11-33-40>

изделий // Вестник машиностроения. 2022. № 11. С. 33-40.  
<https://doi.org/10.36652/0042-4633-2022-11-33-40>

17. Голиницкий П.В., Антонова У.Ю., Гринченко Л.А., Видникевич С.Ю. Применение цифровых инструментов для совершенствования производственного процесса // Компетентность. 2023. № 5. С. 32-37.  
<https://doi.org/10.24412/1993-8780-2023-5-32-37>

#### Информация об авторах

**Павел Вячеславович Голиницкий**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент;  
gpv@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7303-1658>;  
Scopus Autor ID: 57216809753;  
Researcher ID: AAD-6305-2022

**Ульяна Юрьевна Антонова**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент;  
uantonova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>;  
Scopus Autor ID: 57216809631;  
Researcher ID: AAD-5690-2022

**Эльмира Исламовна Черкасова**<sup>3</sup>, канд. с.-х. наук, доцент;  
e.cherkasova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2495-2028>;  
Scopus Autor ID: 57216812784;  
Researcher ID: AAD-5493-2022

<sup>1,2,3</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

#### Вклад авторов

П.В. Голиницкий – методология, концептуализация;  
У.Ю. Антонова – проведение литературного обзора, визуализация, создание черновика рукописи;  
Э.И. Черкасова – информационные ресурсы и аналитика, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила в редакцию 19.03.2024; поступила после рецензирования и доработки 26.06.2024; принята к публикации 27.06.2024

17. Golinitzkiy P.V., Antonova U.Yu., Grinchenko L.A., Vidnikovich S.Yu. Digital tools to improve the manufacturing process. *Competence*. 2023;5:32-37. (In Russ.)  
<https://doi.org/10.24412/1993-8780-2023-5-32-37>

#### Author Information

**Pavel V. Golinitzkiy**<sup>1</sup>, CSc (Eng), Associate Professor;  
gpv@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7303-1658>;  
Scopus Author ID: 57216809753;  
Researcher ID: AAD-6305-2022

**Uliana Yu. Antonova**<sup>2</sup>, CSc (Eng), Associate Professor;  
uantonova@rgau-msha.ru;  
<https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>;  
Scopus Author ID: 57216809631;  
Researcher ID: AAD-5690-2022

**Elmira I. Cherkasova**<sup>3</sup>, CSc (Ag), Associate Professor;  
e.cherkasova@rgau-msha.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-2495-2028>;  
Scopus Author ID: 57216812784;  
Researcher ID: AAD-5493-2022

<sup>1,2,3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

#### Author Contribution

P.V. Golinitzkiy – methodology, conceptualization;  
U.Yu. Antonova – literature review, visualization, writing – original draft preparation;  
E.I. Cherkasova – information resources and analytics, finalizing (revising and editing) of the manuscript

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism  
Received 19.03.2024; Revised 26.06.2024; Accepted 27.06.2024

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.793

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-51-58>

## Ремонт радиаторов системы охлаждения двигателей сельскохозяйственной техники: метод холодного газодинамического напыления

*Н.В. Серов<sup>1✉</sup>, О.М. Мельников<sup>2</sup>, С.П. Казанцев<sup>3</sup>, И.Ю. Игнаткин<sup>4</sup>, А.Е. Павлов<sup>5</sup>*

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

<sup>1</sup> [n.serov@rgau-msha.ru](mailto:n.serov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7676-4344>

<sup>2</sup> [melnikov@rgau-msha.ru](mailto:melnikov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0003-3202-8799>

<sup>3</sup> [kazansev@rgau-msha.ru](mailto:kazansev@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709>

<sup>4</sup> [ignatkin@rgau-msha.ru](mailto:ignatkin@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>

<sup>5</sup> [pavlov@rgau-msha.ru](mailto:pavlov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-5870-7960>

**Аннотация.** Необходимость совершенствования технологий и процесса ремонта машин обусловлена трудностями в поставках техники, оборудования и запасных частей и ограниченностью финансовых ресурсов сельскохозяйственных предприятий. Одной из причин выхода из строя сельскохозяйственной техники является повреждение радиаторов системы жидкостного охлаждения двигателей внутреннего сгорания. С целью разработки технологии устранения механических повреждений радиаторов проведен анализ основных конструктивных особенностей радиаторов и выявлены их наиболее распространенные дефекты. В ходе исследований установлено, что в системе охлаждения двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники наиболее распространенными являются алюминиевые или латунно-медные радиаторы. Основными дефектами, возникающими при эксплуатации, являются механические повреждения радиаторов ДВС в виде течи в трубках и отрыва охлаждающих пластин или ленты. Наиболее распространенными методами устранения данных дефектов являются пайка оловянно-свинцовыми припоями, заглушка протекающих трубок, заливка полимерных герметиков в охлаждающую жидкость, заклеивание. В случае механического повреждения радиаторов авторами предложено использовать холодное газодинамическое напыление металлического слоя с помощью Димет-405. Предварительная абразивная подготовка поверхности производится корундовым порошком марки К00-04-16. Предложены оптимальные режимы напыления: для порошка А-20-11 – при температуре 100 или 200°C (соответственно первый или второй режимы), для порошка С-01-11-200 или 300°C (второй или третий режимы). Скорость подачи порошка составляет 0,3 г/с. Прочность полученных соединений не уступает прочности паяного соединения свинцово-оловянными припоями. Разработанная авторами технология герметизации течи и восстановления контакта охлаждающей ленты с трубками позволяет быстро и качественно восстанавливать поврежденные радиаторы. Ремонт радиаторов системы охлаждения двигателей позволяет сократить время вынужденного простоя машин.

**Ключевые слова:** ремонт радиаторов системы охлаждения двигателей, радиатор, механические повреждения радиаторов, метод холодного газодинамического напыления, Димет-405, А-20-11, С-01-11

**Для цитирования:** Серов Н.В., Мельников О.М., Казанцев С.П., Игнаткин И.Ю., Павлов А.Е. Ремонт радиаторов системы охлаждения двигателей сельскохозяйственной техники: метод холодного газодинамического напыления // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 4. С. 51-58. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-51-58>

## ORIGINAL PAPER

**Repair of radiators of the engine cooling system of agricultural machinery: use of cold gas-dynamic spraying****N.V. Serov<sup>1</sup>, O.M. Melnikov<sup>2</sup>, S.P. Kazantsev<sup>3</sup>, I.Yu. Ignatkin<sup>4</sup>, A.E. Pavlov<sup>5</sup>**<sup>1,2,3,4,5</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia<sup>1</sup> n.serov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7676-4344><sup>2</sup> melnikov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3202-8799><sup>3</sup> kazantsev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7158-1709><sup>4</sup> ignatkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973><sup>5</sup> pavlov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5870-7960>

**Abstract.** Difficulties in the supply of machinery, equipment and spare parts and the limited financial resources of agricultural enterprises make it necessary to improve the technology and process of machine repair. Damaged radiators in the liquid cooling system of internal combustion engines are one of the most common causes of failure of agricultural machinery. In the course of the research it was found that the most common types of radiators used in cooling systems of agricultural engines are aluminum or brass-copper radiators. The main defects that occur during operation are such mechanical damages of radiators as leaks in tubes and torn off cooling plates or tapes. The most common methods of eliminating these defects are: soldering with tin-lead solders, plugging leaking tubes, pouring polymer sealants into the coolant, and taping. In the case of mechanical damage of radiators, the authors suggest the use of cold gas-dynamic spraying of the metal layer with Dimet-405. The preliminary abrasive surface preparation is carried out with a corundum powder of K00-04-16 grade. The optimum spraying modes are proposed: for the A-20-11 powder – at the temperature of 100 or 200°C (the first or the second modes, respectively), for the C-01-11 powder – at 200 or 300°C (the second or the third modes, respectively). The powder feed rate is 0.3 g/s. The strength of the obtained connections is not inferior to the strength of the soldered connection made with lead-tin solders. The technology developed by the authors for sealing leaks and restoring the contact of the cooling tapes with tubes can contribute to the fast and high-quality repair of damaged radiators. Repairing radiators of the engine cooling system reduces the forced downtime of machines.

**Keywords:** repair of engine cooling system radiators, radiator, mechanical damage of radiators, cold gas dynamic spraying method, Dimet-405, A-20-11, C-01-11

**For citation:** Serov N.V., Melnikov O.M., Kazantsev S.P., Ignatkin I.Yu., Pavlov A.E. Repair of radiators of the engine cooling system of agricultural machinery: use of cold gas-dynamic spraying. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(4):51-58 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-51-58>

**Введение**

Поставки техники, оборудования и запасных частей сильно осложнены в связи с введенными против Российской Федерации санкциями, а параллельный импорт не может обеспечить бесперебойные поставки в требуемых масштабах. Кроме того, ограниченные финансовые ресурсы, постоянное удорожание материалов и компонентов, из которых изготавливается современная техника, и ее усложнение приводят к росту стоимости изделий.

Применение технологий восстановления деталей машин и механизмов, используемых в сельском хозяйстве, подразумевает повторное использование изношенных деталей и способствует снижению дефицита импортной продукции. Продление срока службы деталей снижает финансовую нагрузку на предприятия агропромышленного комплекса

и уменьшает время вынужденного простоя машин и оборудования [1, 2].

Восстановить детали без больших финансовых вложений и невысокой квалификации работников позволяет метод холодного газодинамического напыления (ХГДН). В качестве присадочных материалов используются мелкодисперсные порошки на основе алюминия, меди, никеля, баббита и свинца. Получение металлического слоя возможно на различных поверхностях деталей, изготовленных из алюминия, меди и ее сплавов, стали, стекла и керамики. Присадочные материалы за счет высоких адгезионных и когезионных свойств дают достаточно высокую прочность напыленному покрытию и обеспечивают низкую пористость. Данные свойства позволяют создавать защитные покрытия и применять этот метод для герметизации течей, а также восстанавливать

целостность паяных соединений, не находящихся под большими нагрузками [3].

В сравнении с термическими методами напыления ХГДН имеет ряд преимуществ: возможность нанесения покрытий на тонкостенные детали, не терпящих нагрева, и получение покрытий большой толщины; высокая экологичность; безопасность при эксплуатации; отсутствие особых требований к средствам индивидуальной защиты; низкие требования к квалификации работников.

Частые механические повреждения радиаторов двигателей внутреннего сгорания (ДВС), в частности, трубок и лент, вызывают необходимость разработки технологии для их устранения.

**Цель исследований:** анализ и классификация основных конструктивных особенностей радиаторов и материалов, выявление их наиболее распространенных дефектов, разработка технологии устранения механических повреждений радиаторов.

### Материалы и методы

Холодное газодинамическое напыление проводилось на установке Димет-405 (рис. 1а) при трех температурных режимах (100, 200 и 300°C) с расстояния 8...10 мм. Скорость подачи порошкового материала составляла 0,3 г/с.



**Рис. 1. Установка Димет-405 (а) и используемые материалы (б)**  
**Fig.1. Dimet 405 installation (a) and powders used in radiator repair (b)**

В качестве напыляемого порошкового материала использовали порошки на основе алюминия с добавлением цинка и корунда (марка А-20-11) и на основе меди с включением цинка и корунда (марка С-01-11) (рис. 1б). Небольшое добавление цинка в состав порошков улучшает адгезию, а корунд обеспечивает чистоту сверхзвукового сопла.

При подготовке поверхности к напылению и удалении загрязнений в зоне напыления на этой же установке применяли корундовый порошок марки К00-04-16 (рис. 1б).

Для удаления избытка порошка с поверхности использовали шабер, можно также применить фрезу или другой режущий инструмент.

### Результаты и их обсуждение

Радиаторы системы жидкостного охлаждения ДВС сельскохозяйственной техники отличаются по конструкции и используемым материалам (рис. 2). Классификация радиаторов системы охлаждения ДВС представлена на рисунке 3.

На технике малой мощности наибольшее распространение получили алюминиевые трубчато-пластинчатые радиаторы, обладающие низкой стоимостью и плохим теплообменом. На более мощной технике применяются алюминиевые трубчато-ленточные радиаторы. Они дороже и сложнее пластинчатых, но обладают более высокими характеристиками. При эксплуатации мощной техники, работающей в условиях больших нагрузок, высокой запыленности и повышенной температуре окружающей среды, наибольшее распространение получили латунно-медные трубчато-ленточные радиаторы, обладающие наибольшими теплообменными свойствами и высокой надежностью.

Для обеспечения наилучших характеристик теплопроводности и жесткости ленту или пластину припаивают к трубкам радиаторов.

Радиаторы чаще всего находятся в передней части тракторов и автомобилей. Они могут повреждаться камнями, отлетающими из-под колес впереди идущей техники, или протыкаться ветвями деревьев или кустов, что приводит к нарушению герметичности и/или отрыву охлаждающих лент или пластин от трубок радиатора. Появление течей и/или отрыв охлаждающей ленты или пластин вызывают повышение температуры двигателя и потребность постоянно восполнять нехватку охлаждающей жидкости, что при недосмотре может привести к перегреву двигателя и его поломке. Утечки охлаждающей жидкости приводят к ухудшению состояния почвы и грунтовых вод.

Классификация дефектов радиаторов системы охлаждения ДВС представлена на рисунке 4 [4, 5].

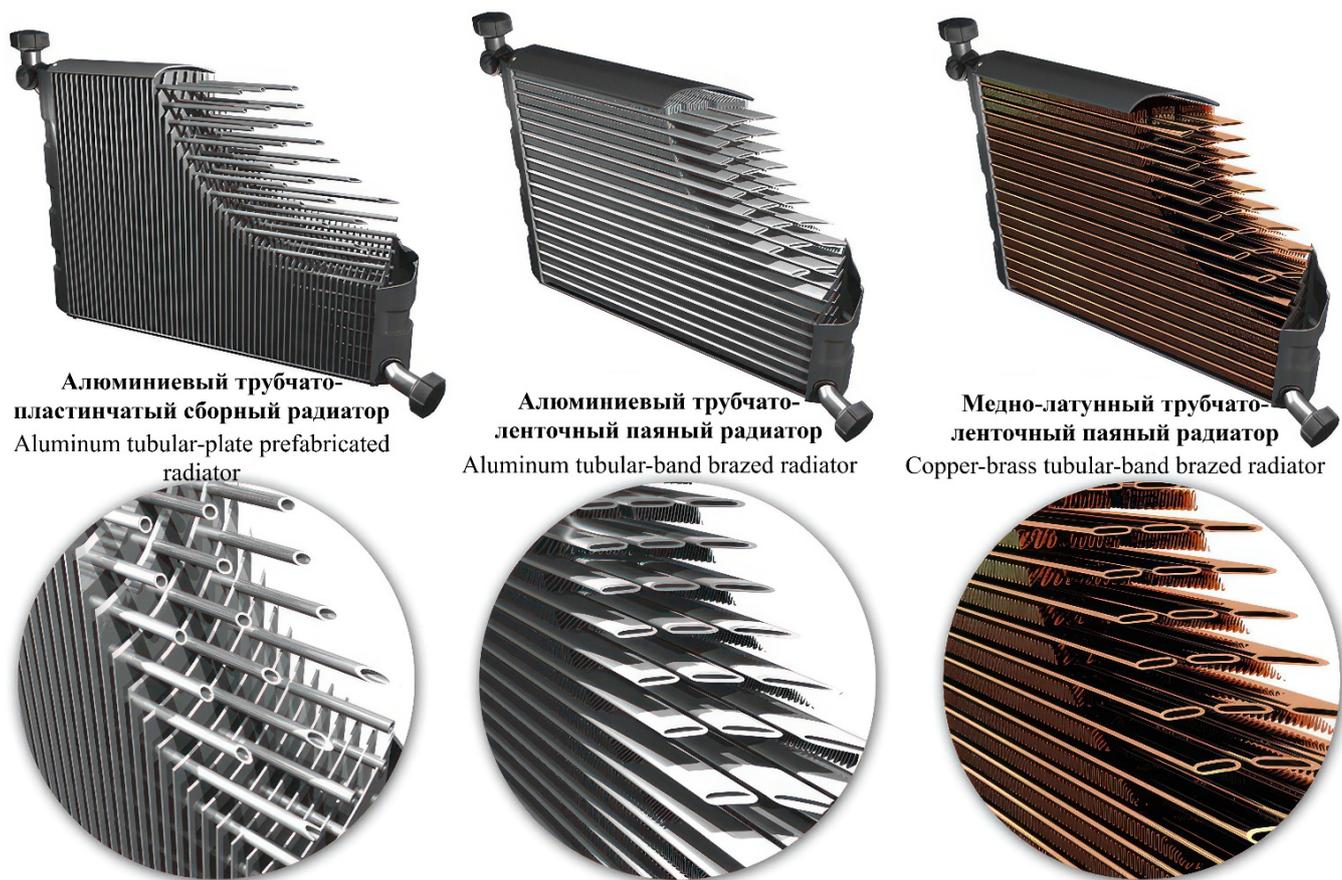


Рис. 2. Радиаторы, используемые в автотракторной технике

Fig.2. Examples of radiators used in auto-tractor equipment

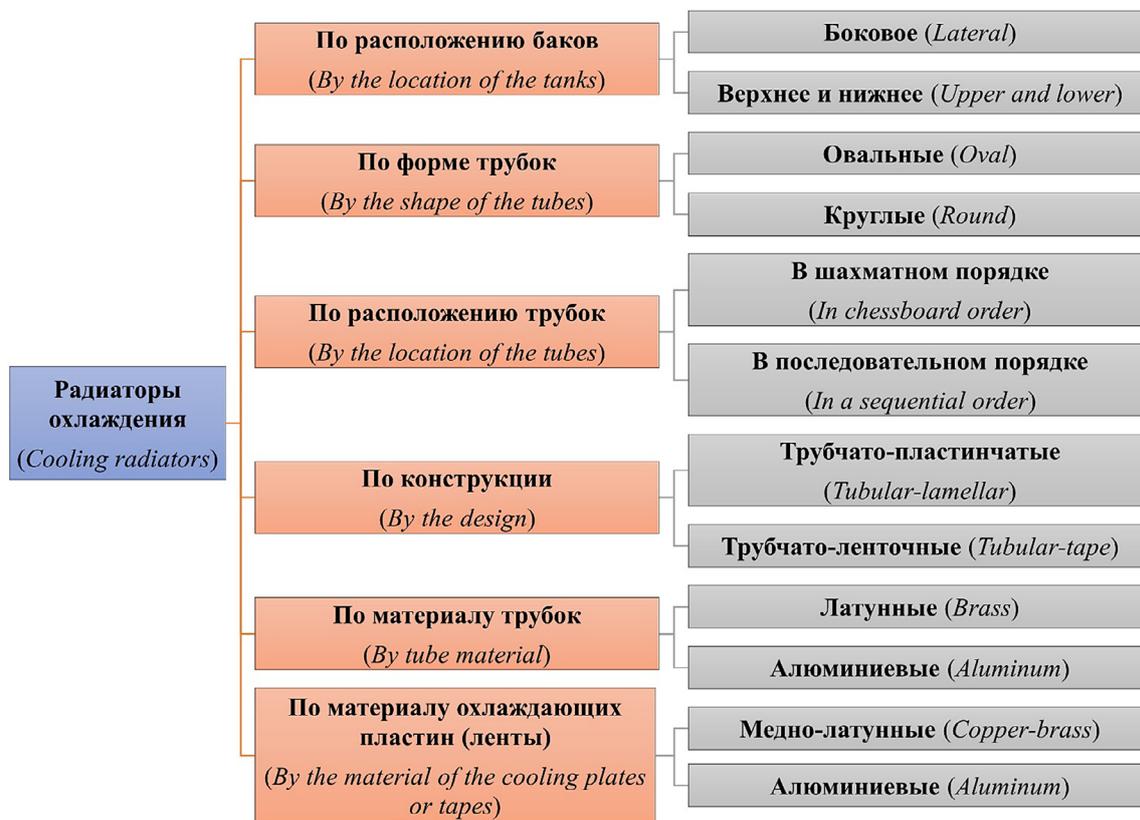


Рис. 3. Классификация радиаторов системы охлаждения ДВС

Fig. 3. Classification of radiators of the cooling system of internal combustion engines

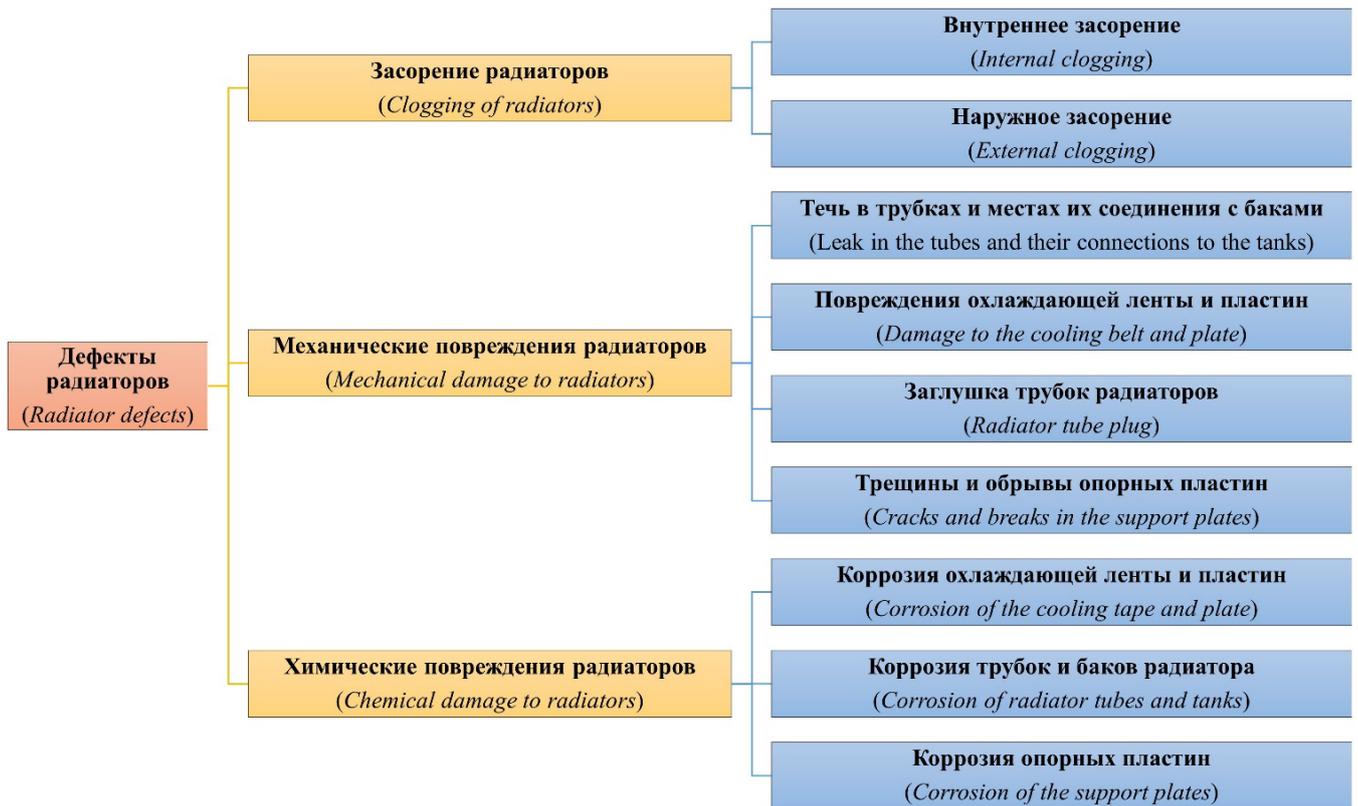


Рис. 4. Классификация дефектов радиаторов системы охлаждения ДВС

Fig. 4. Classification of defects in radiators of the cooling system of internal combustion engines

Внутреннее засорение в виде накипи и ржавчины образуется в случае использования низкокачественных охлаждающих жидкостей или несоблюдения условий и сроков их использования, а также попадания мусора в трубки.

Внешнее засорение обусловлено высокой запыленностью и замасливанием трубок, ленты или пластин, налипанием грязи и растительных остатков.

Течи образуются в результате механических повреждений или распозлазания паяных швов по причине перегрева или удара [6].

Механические повреждения лент и пластин проявляют себя в виде отрыва от трубок или смятия. Трубки заглушают пайкой или механическим пережатием [4, 6].

К химическим повреждениям относится образование коррозии на трубках и ленте, приводящее к их выкрашиванию и разрушению.

Большинство перечисленных повреждений можно избежать за счет своевременной очистки радиатора от загрязнений, использования качественных охлаждающих жидкостей и соблюдения условий эксплуатации техники [6].

Для исключения течей и обрывов, устранения дефекта оторванной ленты и трубок используют пайку свинцово-оловянными припоями и различный клей [7, 8]. В качестве временной меры герметик заливают внутрь радиатора во время работы двигателя

или делают заглушку трубок припоем и используют аргоновую сварку баков и трубок в местах течи [9, 10].

Перспективным в устранении течей жидкости и восстановления соединения ленты с трубками является метод холодного газодинамического напыления порошков марок А-20-11 (алюминий, корунд, цинк) или С-01-11 (медь основа, цинк, корунд), которые выбираются в зависимости от материала радиатора.

Холодное газодинамическое напыление отличается от других методов высокой производительностью процесса, простотой, высокой теплоустойчивостью, возможностью работы с любыми металлическими и керамическими подложками, невысокой себестоимостью процесса, не требующего участия специалиста высокой квалификации [2, 5].

Эффективность использования материала в данном технологическом процессе составляет 20...30%, скорость нанесения покрытий – от 0,2 до 0,8 кг/ч, толщина образуемого покрытия – от 100 мкм до 50 мм. В зависимости от выбранного порошка и режима полученные покрытия характеризуются адгезией от 30 до 100 МПа, высокой когезией от 30 до 100 МПа, прочностью на разрыв от 50 до 120 МПа, пористостью 1...5%, твердостью по Бринеллю 10...160 НВ, относительным удлинением 1...2%.

Ремонт радиаторов системы охлаждения двигателей предлагается проводить согласно разработанной

авторами технологии. Технология нанесения порошкового покрытия включает в себя подготовку и внешний осмотр оборудования, проверку питателей на слеживание ранее засыпанного порошка, проверку силиконовых трубок на наличие засоров и их удаление с последующей продувкой, включение установки Димет-405 и выбор режима нагрева в зависимости от выбранного порошка. Для порошка А-20-11 оптимальными являются 1 или 2 режимы нагрева (до 100 или 200°C), для С-01-11 – режимы 2 или 3 (при температуре 200 и 300°C соответственно). При этом скорость подачи порошка составляет 0,3 г/с.

Перед напылением проводится предварительная абразивная обработка восстанавливаемого участка радиатора порошком марки К00-04-16 (корундом), который засыпается во второй питатель установки. Абразивная обработка удаляет загрязнения и создает оптимальную для напыления шероховатость поверхности, что улучшает адгезию напыляемых порошков к поверхности.

В процессе напыления сначала происходит нагрев сжатого газа (воздуха) до 200°C для порошка А-20-11 или до 300°C – для порошка С-01-11. Более высокие значения температуры приводят к активному окислению порошка, что отрицательно сказывается на производительности процесса и качестве покрытий. Дальнейшее повышение температуры не влияет на производительность и качество получаемых покрытий. Далее в сопле формируется сверхзвуковой воздушный поток, в который подается порошковый материал. С помощью сверхзвукового потока материал ускоряется и направляется на поверхность детали. Пример восстановленного радиатора представлен на рисунке 5.

За счет высокой адгезии и теплопроводности напыляемых материалов прочность полученных соединений не уступает прочности паяного соединения свинцово-оловянными припоями. Схема технологического процесса представлена на рисунке 6.

Установка Димет-405 имеет небольшие габаритные размеры, потребляемая мощность на максимальном режиме нагрева и максимальном давлении

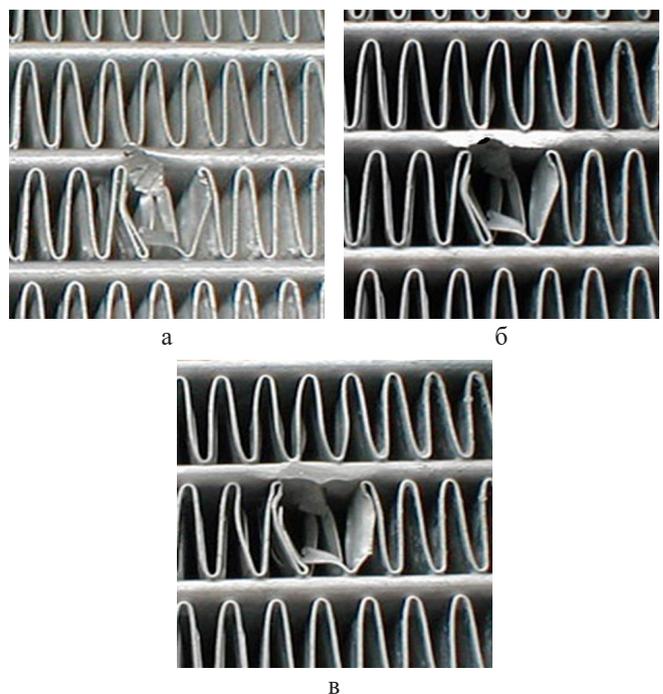


Рис. 5. Герметизация течи жидкости в радиаторе:  
а – дефект; б – подготовленная поверхность;  
в – восстановленная поверхность

Fig. 5. Sealing a liquid leak in a radiator  
a – defect; б – prepared surface; в – restored surface

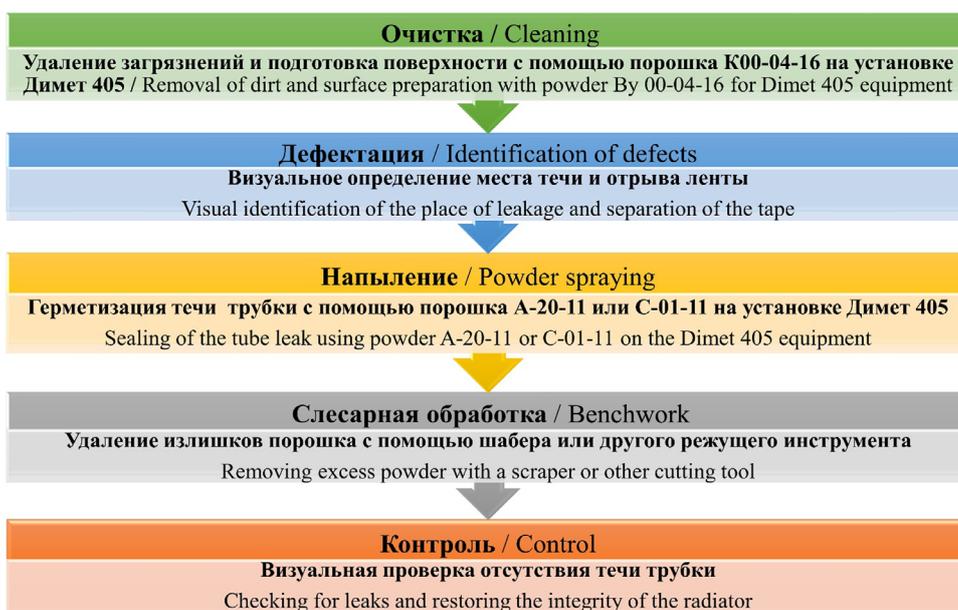


Рис. 6. Схема технологического процесса восстановления радиатора  
Fig. 6. Diagram of the radiator repair process

7 атм не превышает 3,3 кВт. Размещение установки на машины технического обслуживания позволит осуществлять ремонтные мероприятия в поле и значительно сократить время простоя техники по причине неисправностей. С помощью данного оборудования можно создавать коррозионностойкие покрытия. Например, можно защитить кузов, поврежденный коррозией, не останавливая рабочий процесс в ожидании кузовных и лакокрасочных работ.

### Выводы

1. В системе охлаждения двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники наиболее распространены алюминиевые или латунно-медные радиаторы.

2. Частыми дефектами радиаторов являются механические повреждения: течи и отрыв ленты

### Список источников

1. Серов Н.В., Соколова В.М. Особенности некоторых методов упрочнения материалов // Доклады ТСХА, Москва, 6-8 декабря 2018 г. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. Вып. 291. Ч. 2. С. 92-97. EDN: KHSKVY

2. Макаров В.Н., Подольский А.А., Доровских Д.В. Разработка технологической схемы ремонта радиаторов системы кондиционирования автомобилей // Наука в современном обществе: Закономерности и тенденции развития: Сборник статей Международной научно-практической конференции, г. Магнитогорск, 10 ноября 2018 г. Магнитогорск: ООО «Аэтерна», 2018. С. 35-37. EDN: YQPQBF

3. Серов А.В., Бурак П.И., Серов Н.В. Исследование возможности применения холодного газодинамического напыления при заделке отверстий радиаторов охлаждения // Техника и оборудование для села. 2018. № 12. С. 38-41. EDN: YQZJBR

4. Денисов И.В., Смирнов А.А. Исследование надежности системы охлаждения автомобиля «Лада Калина» в гарантийный период эксплуатации // Бюллетень транспортной информации. 2019. № 3 (285). С. 33-36. EDN: VYTANK

5. Семешин А.Л., Филина А.В. Анализ дефектов радиаторов двигателей внутреннего сгорания и устранение их методом пайки // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: Сборник научных трудов 5-й Международной молодежной научно-практической конференции, г. Курск, 14 ноября 2018 г. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2018. Т. 2. С. 227-230. EDN: YRUBHN

6. Чумаков П.В., Бардин О.В., Чучкин Н.Ю. Анализ причин отказов радиаторов охлаждения автотракторной техники // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: Материалы Международной научно-практической конференции, г. Саранск, 25-26 ноября 2020 г. Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2020. С. 341-346. EDN: GHTALN

7. Семешин А.Л., Коломейченко А.В., Кузнецов Ю.А., Кравченко И.Н., Коношина С.Н., Филина А.В. Исследования возможности применения электролизно-водных генераторов для ремонта радиаторов ДВС // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2018. № 11. С. 38-42. <https://doi.org/10.31044/1684-2561-2018-0-11-38-42>

8. Караваев М.А., Башкирцев Ю.В. Восстановление радиаторов двигателей внутреннего сгорания полимерами // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2019. Т. 23, № 4. С. 125-133.

от трубок. Их можно предотвратить, проводя периодическую очистку радиаторов, используя качественную охлаждающую жидкость со своевременной ее заменой, проверяя наличие механических и химических повреждений и креплений радиаторов.

3. Герметизации течей жидкости и восстановлению соединения ленты с трубкой способствует метод холодного газодинамического напыления с помощью установки Димет-405.

4. При напылении порошка А-20-11 оптимальными являются 1 или 2 режимы (температура составляет 100 и 200°C соответственно), для порошка С-01-11 – режимы 2 или 3 (при температуре 200 и 300°C). Скорость подачи порошка составляет 0,3 г/с. Прочность полученных соединений не уступает прочности паяного соединения свинцово-оловянными припоями.

### References

1. Serov N.V., Sokolova V.M. Features of some methods of strengthening materials. *Doklady TSKhA*, Moscow, December 6-8, 2018. Moscow, RG Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2019;291;2:92-97. (In Russ.)

2. Makarov V.N., Podolskiy A.A., Dorovskikh D.V. Development of a technological scheme for repairing radiators of the car air conditioning system. *Science in Modern Society: Patterns and development trends: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, Magnitogorsk, November 10, 2018, Magnitogorsk, Aeterna LLC, 2018. Pp. 35-37. (In Russ.)

3. Serov A.V., Burak P.I., Serov N.V. Investigation of the possibility of using cold gas-dynamic spraying during sealing of holes in engine coolers. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2018;12:38-41. (In Russ.)

4. Denisov I.V., Smirnov A.A. Investigation of reliability of the cooling system of the car Lada Kalina in the warranty period of its operation. *Bulletin of Transport Information*. 2019;3(285):33-36. (In Russ.)

5. Semeshin A.L., Filina A.V. Analysis of defects in the radiators of internal combustion engines and their elimination by soldering. *Product Quality: Control, Management, Improvement, Planning: Proceedings of the 5th International Youth Scientific and Practical Conference*, Kursk, November 14, 2018 Kursk: JSC “Universitetskaya Kniga”, 2018. Vol. 2. Pp. 227-230. (In Russ.)

6. Chumakov P.V., Bardin O.V., Chuchkin N.Yu. Analysis of the causes of failures of automotive cooling radiators. *Energy-Efficient and Resource-Saving Technologies and Systems: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, Saransk, November 25-26, 2020 Saransk, National Research Ogarev Mordovia State University, 2020. Pp. 341-346. (In Russ.)

7. Semeshin A.L., Kolomeichenko A.V., Kuznetsov Yu.A., Kravchenko I.N., Konoshina S.N., Filina A.V. Study of application chance of water electrolytic generators for repair of internal-combustion engine radiators. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2018;11:38-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.31044/1684-2561-2018-0-11-38-42>

8. Karavaev M.A., Bashkirtsev Yu.V. The restoration of the radiators of internal combustion engines by polymers. *Lesnoy Vestnik = Forestry Bulletin*. 2019;23(4):125-133. (In Russ.) <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2019-4-125-133>

<https://doi.org/10.18698/2542-1468-2019-4-125-133>. EDN: ZEUIAQ

9. Семешин А.Л., Филина А.В. Выбор материалов для устранения неисправностей системы охлаждения радиаторов // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении: Сборник научных статей 4-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, г. Курск, 18-19 февраля 2019 г. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2019. С. 250-253. EDN: ZBBISD

10. Кобзев Д.Е., Кравчук Д.А., Моисеев Б.С. Применение растворов полимеров при ремонте радиаторов системы охлаждения автомобилей и нанесении защитных покрытий // Эволюция современной науки: Сборник статей Международной научно-практической конференции: В 3 ч. Ч 2. г. Пермь, 25 июля 2016 г. Пермь: ООО «Аэтерна», 2016. С. 69-71. EDN: WGRIDD

### Информация об авторах

**Никита Вячеславович Серов**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент;  
n.serov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7676-4344>;  
Scopus Author ID: 57226809065; Researcher ID  
AAE-5293-2022

**Олег Михайлович Мельников**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент;  
melnikov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3202-8799>;  
Scopus Author ID: 57209744643;  
Researcher ID: AAE-5857-2022

**Сергей Павлович Казанцев**<sup>3</sup>, 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 Игнаткин**<sup>4</sup>, 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

**Александр Егорович Павлов**<sup>5</sup>,  
д-р физ. – мат. наук, профессор; pavlov@rgau-msha.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-5870-7960>; Scopus Author  
ID: 60069979; Researcher ID: AAE-6169-2022

<sup>1,2,3,4,5</sup> Российский государственный аграрный университет –  
МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская  
Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

### Вклад авторов

Н.В. Серов – создание черновика рукописи теоретические исследования, концептуализация, визуализация;  
О.М. Мельников – формальный анализ, ресурсы;  
С.П. Казанцев – руководство исследованием, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;  
И.Ю. Игнаткин – верификация данных, методология;  
А.Е. Павлов – формальный анализ, ресурсы

### Конфликт интересов

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

Статья поступила 08.04.2024, после рецензирования и доработки 22.05.2024; принята к публикации 20.05.2024

9. Semeshin A.L., Filina A.V. Selection of materials for troubleshooting in radiator cooling systems. *Development Prospects of Processing Technologies and Equipment in Mechanical Engineering: Proceedings of the 4th All-Russian scientific and technical conference with international participation*, Kursk, February 18-19, 2019 Kursk: JSC “University” book”, 2019. Pp. 250-253. (In Russ.)

10. Kobzev D.E., Kravchuk D.A., Moiseev B.S. The use of polymer solutions in the repair of radiators of the cooling system of automobiles and the application of protective coatings. *Evolution of Modern Science: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*: In 3 parts. Part 2. Perm, July 25, 2016 Perm: Aeterna LLC, 2016. Pp. 69-71. (In Russ.)

### Author Information

**Nikita V. Serov**<sup>1</sup>, CSc (Eng), Associate Professor;  
n.serov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7676-4344>;  
Scopus Author ID: 57226809065;  
Researcher ID: AAE-5293-2022

**Oleg M. Melnikov**<sup>2</sup>, CSc (Eng), Associate Professor;  
melnikov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3202-8799>;  
Scopus Author ID: 57209744643;  
Researcher ID: AAE-5857-2022

**Sergey P. Kazantsev**<sup>3</sup>, 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. Ignatkin**<sup>4</sup>, DSc (Eng), Professor;  
ignatkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>;  
Scopus Author ID: 57222543815;  
Researcher ID: AAC-1577-2022

**Aleksandr E. Pavlov**, DSc (Phys-Math),  
Professor; pavlov@rgau-msha.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-5870-7960>; Scopus Author  
ID: 60069979; Researcher ID: AAE-6169-2022

<sup>1,2,3,4,5</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev  
Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow,  
127434, Russian Federation.

### Author Contribution

N.V. Serov – writing – original draft preparation, theoretical research, conceptualization, visualization;  
O.M. Melnikov – formal analysis, resources;  
S.P. Kazantsev – research supervision, finalizing (revising and editing) of the manuscript;  
I.Yu. Ignatkin – data verification, methodology;  
A.E. Pavlov – formal analysis, resources

### Conflict of interests

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

Received 08.04.2024, Revised 20.05.2024, Accepted 20.05.2024

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 535-31:633.1

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-59-67>

## Выбор источника для УФ-облучения зерна на установке ленточного типа

*В.Ю. Страхов<sup>1</sup>, В.Ф. Сторчевой<sup>2</sup>, Ю.В. Саенко<sup>3</sup>, Н.Е. Кабдин<sup>4</sup>*

<sup>1,3</sup> Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина; Белгородская обл., Белгородский район, п. Майский, Россия

<sup>2,4</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

<sup>1</sup> [stakhov.94@list.ru](mailto:stakhov.94@list.ru); <https://orcid.org/0009-0003-7559-3154>

<sup>2</sup> [v.storchevoy@rgau-msha.ru](mailto:v.storchevoy@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>

<sup>3</sup> [yuriy311300@mail.ru](mailto:yuriy311300@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-2750-7090>

<sup>4</sup> [energo-nek@rgau-msha.ru](mailto:energo-nek@rgau-msha.ru)

**Аннотация.** В технологии обработки зерна перед проращиванием высокий бактерицидный эффект наблюдается при обеззараживании зерна ультрафиолетовым излучением. Обработка зерна, семян и обеззараживание пищевой продукции целесообразны с помощью линейных источников излучения. Однако отсутствуют исследования по выбору линейного источника и его размещению с учетом конструктивных особенностей проектируемого устройства. Исходя из этого авторами обоснован выбор линейного источника облучения для ультрафиолетовой обработки зерна на установке ленточного типа. Для реализации метода ультрафиолетовой обработки в подвижных установках ленточного типа предложена математическая модель расчета энергетической освещенности от линейного источника ультрафиолетового излучения с учетом высоты подвеса, мощности, длины источника излучения и рекомендуемого уровня энергетической освещенности ленты транспортера не менее 9 Вт/м<sup>2</sup>. Проведен эксперимент, в ходе которого исследовались лампы типа ДКБУ-7 и Uniel ESL-36. УФ-лампу с отражателем размещали на различных контрольных расстояниях над зоной облучения. С учетом конструктивных особенностей установки ленточного типа ширина зоны обработки составляла 200 мм, высота подвеса источника облучения – 100 мм, длина зоны обработки – 1200 мм. Замеры параметров энергетической освещенности производили с использованием трехканального УФ-радиометра «ТКА-ПКМ». Расхождение расчетных и экспериментальных значений энергетической освещенности не превысило 5%, что позволило утверждать адекватность предложенной модели. Анализ распределения энергетической освещенности поверхности в пределах ширины транспортной ленты показал целесообразность использования лампы типа Uniel ESL-36 мощностью 36 Вт. Предпочтительным является использование параболического отражателя из травленого алюминия размером, равным ширине зоны обработки.

**Ключевые слова:** выбор источника для УФ-облучения зерна, обработка зерна перед проращиванием, энергетическая освещенность, математическая модель расчета энергетической освещенности, отражатель

**Для цитирования:** Страхов В.Ю., Сторчевой В.Ф., Саенко Ю.В., Кабдин Н.Е. Выбор источника для УФ-облучения зерна на установке ленточного типа // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 4. С. 59-67. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-59-67>

## ORIGINAL PAPER

## Selecting the source of the UV irradiation of grain in the belt-type plant

V.Yu. Strakhov<sup>1</sup>, V.F. Storchevoy<sup>2</sup>, Yu.V. Saenko<sup>3</sup>, N.E. Kabdin<sup>4</sup><sup>1,3</sup> Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin; Belgorod region, Belgorod district, Mayskiy, Russia<sup>2,4</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia<sup>1</sup> strakhov.94@list.ru; <https://orcid.org/0009-0003-7559-3154><sup>2</sup> v.storchevoy@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919><sup>3</sup> yuriy311300@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2750-7090><sup>4</sup> energo-nek@rgau-msha.ru

**Abstract.** When treating grain before germination, high bactericidal effect is observed if grain is disinfected with ultraviolet (UV) irradiation. It is expedient to treat grain and seeds and disinfect food products with the help of linear irradiation sources. However, there are no studies on the determination of a linear source and its location, taking into account the design features of the considered device. Proceeding from this, the authors justified the choice of a linear irradiation source for UV treatment of grain on the belt-type unit. To implement the method of UV treatment in mobile belt-type units, they suggest a mathematical model for calculating the energy illumination from a linear source of UV radiation, taking into account the suspension height, power, length of the irradiation source and the recommended level of energy illumination of the conveyor belt not less than 9 W/m<sup>2</sup>. The experiment was conducted to study the performance of the lamps of DKBU-7 and Uniel ESL-36 types. A UV lamp with reflector was placed at different control distances above the irradiation zone. Taking into account the design features of the belt-type unit, the authors chose the width of the treatment zone of 200 mm, the height of the irradiation source suspension of 100 mm, and the length of the treatment zone of 1200 mm. Energy illumination parameters were measured using a three-channel UV-radiometer “ТКА-ПКМ”. The discrepancy between the calculated and experimental values of energy illumination did not exceed 5%, which proved the adequacy of the proposed model. The analysis of the distribution of energy illumination of the surface within the width of the conveyor belt showed the expediency of using a lamp of the Uniel ESL-36 type with the power of 36 W. The use of a parabolic reflector made of etched aluminum with the size equal to the width of the processing zone is preferable.

**Keywords:** selecting a source of UV-irradiation of grain, grain treatment before germination, energy illumination, mathematical model for calculating energy illumination, reflector

**For citation:** Strakhov V.Y., Storchevoy V.F., Saenko Y.V., Kabdin N.E. Selecting the source of the UV irradiation of grain in the belt-type plant. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(4):59-67. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-59-67>

### Введение

Исследования отечественных и зарубежных ученых и специалистов в отрасли кормопроизводства свидетельствуют о повышении питательной ценности рационов путем введения в корма пророщенного зерна, содержащего ряд незаменимых витаминов, микроэлементов, ферментов и минеральных веществ [1-4]. Животные более охотно поедают корма с содержанием пророщенного зерна.

При подготовке зерна к проращиванию для снижения общей микробной обсемененности, плесени и грибов на поверхности зерна в существующих технологиях применяют химическую обработку в виде замачивания массы в растворе перманганата калия, что характеризуется длительностью обработки и высокими затратами труда. Химическая обработка зерна перед проращиванием неполностью устраивает аграриев вследствие негативного влияния химических препаратов на окружающую среду и высокой

стоимости обработки [5-7]. В мировой практике прослеживается тенденция перехода от химической обработки к более экологичным технологиям: использованию СВЧ-излучения, ИК-обработки, УФ-облучения, озонирования, к применению электрических полей постоянного тока и лазерной обработки [8, 9].

Высокий бактерицидный эффект коротковолнового диапазона излучения позволяет применять ультрафиолетовое излучение зерна перед проращиванием. Ультрафиолетовая обработка приводит к снижению патогенной микрофлоры и увеличению срока хранения продукции за счет сокращения численности микроорганизмов, вызывающих порчу пищевых продуктов, уничтожению различных паразитарных организмов на поверхности зерна и продуктов растительного происхождения, повышению всхожести и урожайности культур, увеличению вегетативной массы [10-12].

Ультрафиолетовая обработка отличается технологичностью, простотой конструкции и возможностью

легкого внедрения в существующие производственные процессы. Установка, реализующая ультрафиолетовую обработку, должна обеспечивать соблюдение заданных режимов, равномерность облучения и точность процесса. Существующие конструкции установок для ультрафиолетовой обработки семян, зерна и продуктов пищевой промышленности имеют накопительный бункер, транспортирующий узел, элемент для разравнивания слоя, узел для перемешивания продукции при обработке и источник ультрафиолетового излучения. В существующих установках для ультрафиолетовой обработки зерна чаще всего используют точечные источники ультрафиолетового излучения. В процессе проектирования ключевой задачей является выбор источника УФ-облучения зерна с учетом конструктивных особенностей установки [13, 14].

Рассмотрим отдельные математические модели, оценивающие параметры ультрафиолетового облучения при использовании точечных источников.

Облученность поверхности пшеницы Н.Е. Пономарева предлагает рассчитывать по выражению [15]:

$$E_s = 0,64 \cdot k_{\text{пр}} \cdot \frac{I_{\text{Э}\alpha} \cos^2 \alpha}{h^2}, \quad (1)$$

где  $k_{\text{пр}}$  – коэффициент пропускания потока;  $I_{\text{Э}\alpha}$  – сила излучения лампы, Вт·ср<sup>-1</sup>;  $h$  – высота подвеса ультрафиолетовой лампы, м.

В предложенной математической модели для определения коэффициента пропускания  $k_{\text{пр}}$  используют закон Буржера-Ламберта.

Расчет дозы облучения зерна на ленточном транспортере И.Р. Владыкин предлагает проводить по выражению [16]:

$$H_{\text{пер}} = \frac{2 \cdot k_{\text{ф}} \cdot I_o}{h \cdot V} \sin(\arctan(L/h)), \quad (2)$$

где  $k_{\text{ф}}$  – коэффициент формы;  $I_o$  – сила излучения под источником облучения, Вт;  $h$  – высота подвеса источника облучения, м;  $V$  – скорость перемещения зерна, м/с;  $L$  – длина зоны облучения, м.

Для расчета дозы ультрафиолетового облучения в подвижных установках по методике Ю.М. Жилинского предлагается выражение [16]:

$$H_{\text{пер}} = 0,5 \cdot \frac{k_{\text{ф}} \cdot I_o}{h \cdot V} \cdot \left( \frac{\alpha\pi}{90} + \sin 2\alpha \right), \quad (3)$$

где  $k_{\text{ф}}$  – коэффициент формы;  $I_o$  – сила излучения под центром источника облучения, Вт;  $h$  – высота подвеса источника облучения, м;  $V$  – скорость перемещения, м/с.

Математические модели (1), (2) и (3) просты и удобны в расчете параметров ультрафиолетового облучения при использовании точечных источников излучения. Однако они неприменимы для расчета

линейных источников излучения в виде трубчатых ультрафиолетовых ламп, используемых для обработки семян, зерна, обеззараживания поверхностей и пищевой продукции. Линейные источники излучения отличаются длительным сроком службы, низкой себестоимостью и большей удельной мощностью по сравнению с точечными источниками. В научной литературе отсутствует информация о выборе линейного источника и его размещении с учетом конструктивных особенностей проектируемого устройства.

**Цель исследований:** выбор источника для УФ-облучения зерна на установке ленточного типа и обоснование выбора линейного источника облучения.

### Материалы и методы

Ультрафиолетовая обработка зерна перед проращиванием производилась на установке ленточного типа. Конструкция установки состоит из бункера для зерна, ленточного транспортера, привода ленточного транспортера, преобразователя частоты для управления скоростью перемещения ленты, разравнивателя слоя зерна, источника ультрафиолетового облучения, отражателя, рамы.

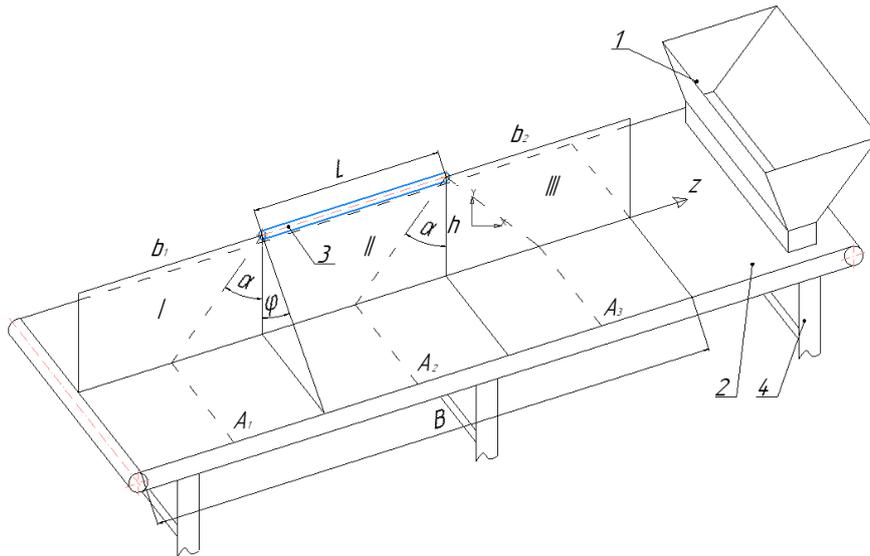
С учетом предварительно проведенных исследований были получены исходные данные для выбора линейного источника облучения для ультрафиолетовой обработки зерна на установке ленточного типа. В ходе исследований использовались основные законы светотехники и тригонометрии. Рекомендуемая энергетическая освещенность поверхности ленты транспортера должна составлять не менее 9 Вт/м<sup>2</sup>. С учетом конструктивных особенностей установки ленточного типа ширина зоны обработки составляет 200 мм, высота подвеса источника облучения – 100 мм, длина зоны обработки – 1200 мм.

Линейный источник излучения длиной  $L$  размещен вдоль оси  $z$  предполагаемой ленты транспортера на высоте  $h$  (рис. 1). В пределах длины зоны обработки  $B$  выделены 3 участка:  $I$ ,  $II$  и  $III$ . Поток излучения формируется непосредственно под источником и частично попадает на участки  $I$  и  $III$  в границах  $b_1$  и  $b_2$ . Точки  $A_1, A_2, A_3$  принадлежат границам участков.

Предлагаемую математическую модель для определения облученности в расчетной точке  $A$  под излучателем можно представить как

$$E_A(\alpha, \varphi) = \frac{F}{4\pi Lh} \cdot \cos^2 \varphi \cdot \frac{1}{4} [2\alpha_1 + \sin 2\alpha_1 - 2\alpha_2 - \sin 2\alpha_2], \quad (4)$$

где  $F$  – мощность источника излучения, Вт;  $L$  – длина линейного источника излучения, м;  $\varphi$  – угол, определяющий направление от участка линейного источника  $\Delta z$  до облучаемой точки  $A$ ;  $h$  – расстояние от источника излучения до зоны обработки, м;  $\alpha_1, \alpha_2$  – угол, соответствующий крайним точкам границ.



**Рис. 1. Расчетная схема для моделирования распределения энергетической освещенности в пространстве от линейного источника облучения:**

1 – бункер; 2 – лента транспортера; 3 – ультрафиолетовая лампа; 4 – рама;  $h$  – высота подвеса источника излучения;  $B$  – длина зоны обработки;  $I, II, III$  – участки в пределах зоны обработки;  $b_1, b_2$  – границы зоны обработки;  $A_1, A_2, A_3$  – границы участков;  $\alpha, \varphi$  – соответственно углы, определяющие направление от участка линейного источника  $\Delta z$  до облучаемой точки  $A$

**Fig. 1. Calculation algorithm for modeling the spatial distribution of energy illumination from a linear irradiation source:**

1 – hopper; 2 – conveyor belt; 3 – UV lamp; 4 – frame;  $h$  – suspension height of the radiation source;  $B$  – length of the treatment zone;  $I, II, III$  – areas within the treatment zone;  $b_1, b_2$  – boundaries of the treatment zone;  $A_1, A_2, A_3$  – boundaries of the sites;  $\alpha, \varphi$  – angles determining the direction from the site of the linear source  $\Delta z$  to the irradiated points  $A$ , respectively

Полученное выражение (4) позволяет оценить распределение энергетической освещенности на облучаемой поверхности в зависимости от удельной мощности, длины линейного источника облучения, высоты подвеса и параметров зоны обработки.

Новизна модели заключается в том, что вся длина  $L$  линейного источника облучения представляется в виде множества малых участков с точными источниками света. Суммарную энергетическую освещенность получают путем интегрирования в пределах длины линейного источника излучения.

В светотехнике под точечным источником света понимают источник излучения совместно с отражателем. В расчетной схеме отражатель не изображен, при этом на практике поток излучения будет формироваться с применением отражателя.

Приведенная математическая модель (4), основанная на точечном методе расчета, с достаточной полнотой отражает физический процесс распределения энергетической освещенности на горизонтальной поверхности. Точность моделирования является достаточной для решения прикладных задач.

Для сопоставления теоретических и экспериментальных значений энергетической освещенности поверхности от линейного источника излучения был проведен эксперимент. В ходе эксперимента

источник ультрафиолетового излучения размещали на различных контрольных расстояниях над зоной облучения и производили замеры параметров энергетической освещенности. Для исключения посторонних воздействий УФ-лампа с отражателем подвешивалась в закрытом модуле. В модуль помещали фотометрическую головку измерительного прибора под центром УФ-лампы. Замеры проводились в трехкратной повторности с использованием трехканального УФ-радиометра «ТКА-ПКМ» (12).

### Результаты и их обсуждение

В качестве источника ультрафиолетового облучения для установки ленточного типа рассматривались лампы мощностью 5, 7, 15, 20, 36 Вт, рекомендуемые для обеззараживания воздушной среды, поверхностей и различных материалов. Для оценки энергетической освещенности на поверхности ленточного транспортера произвольно выбрали два источника, отличающиеся по удельной мощности и длине. Технические характеристики выбранных источников приведены в таблице 1.

С учетом полученного выражения (4) построены расчетная поверхность и номограмма распределения энергетической освещенности под источником облучения для лампы типа ДКБУ-7 (рис. 2а) и лампы типа Uniel ESL-36 (рис. 2б).

Технические характеристики источников ультрафиолетового излучения

Table 1

Technical characteristics of UV irradiation sources

Параметры / Parameters	Источник излучения / Irradiation source	
	ДКБУ-7 / DKBU-7	Uniel ESL-36
Длина волны излучения, нм / Wavelength of irradiation, nm	205...315	253,7
Мощность, Вт / Power, W	7	36
Напряжение в лампе, В / Voltage in the lamp, V	45±7	220
Габаритные размеры, мм / Overall dimensions, mm	123×38×25	411×45×25
Срок службы, ч / Service life, h	6000	8000

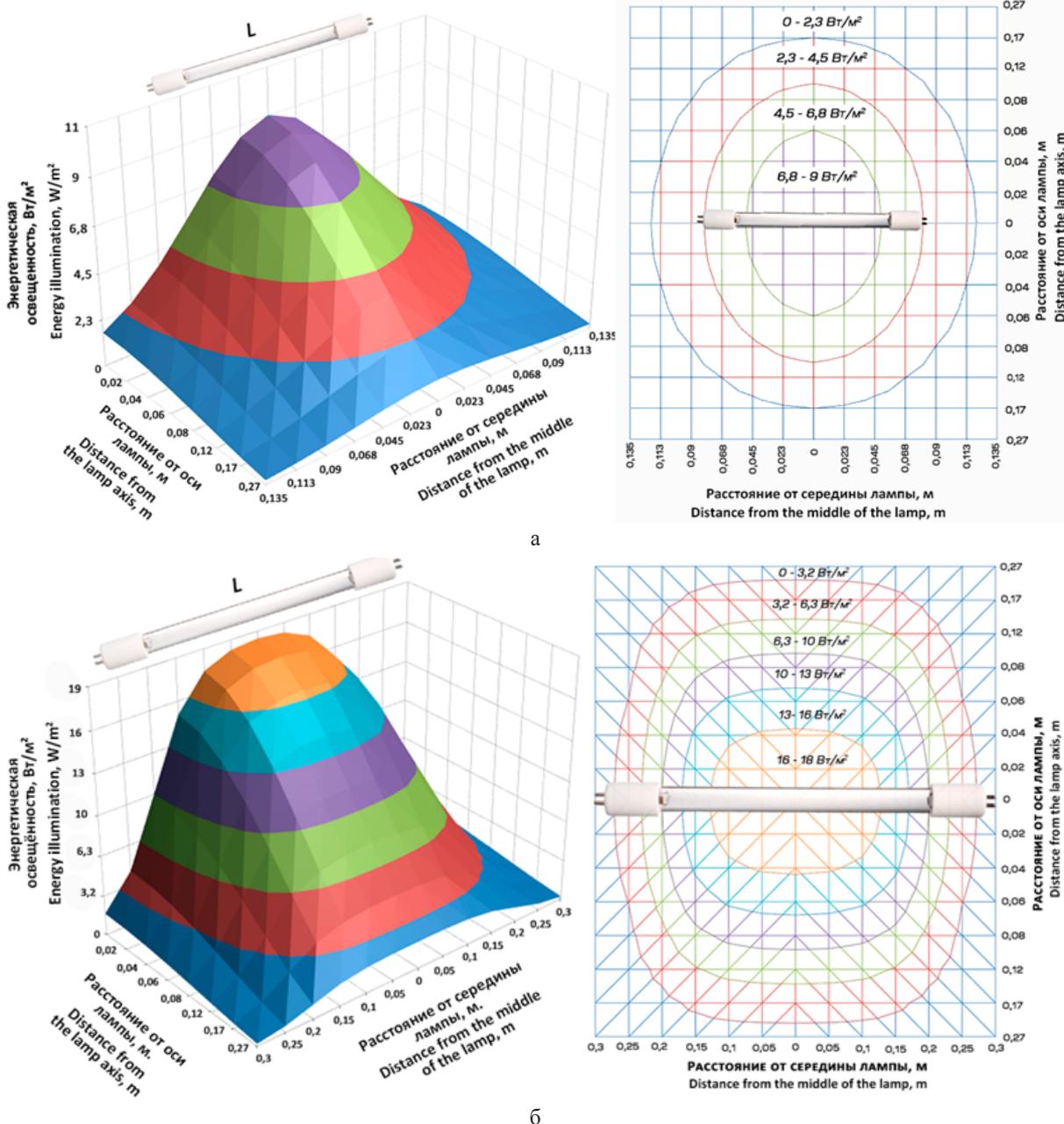


Рис. 2. Расчетная поверхность и номограмма энергетической освещенности, создаваемая линейным источником типа ДКБУ-7 (а) и Uniel ESL-36 (б)

Fig. 2. Calculated surface and nomogram of the energy illumination generated by a linear source of the DKBU-7 (a) and the Uniel ESL-36(b)

Анализируя полученные поверхности, можно сделать вывод о том, что при использовании лампы типа ДКБУ-7 с учетом ширины зоны обработки 200 мм рекомендуемое значение энергетической освещенности не менее 9 Вт/м<sup>2</sup> может быть обеспечено непосредственно под источником излучения с небольшим удалением от оси лампы до 3 см.

Применение более мощного источника излучения типа Uniel ESL-36 позволит обеспечить показатель энергетической освещенности не менее 9 Вт/м<sup>2</sup> на расстоянии до 10 см в обоих направлениях от оси лампы, что вполне соизмеримо с шириной ленточного конвейера.

Результаты расчетов распределения энергетической освещенности от линейного источника облучения могут быть использованы для выбора конструктивных параметров ленточного конвейера, оценки зон обработки, обеспечивающих гарантированную энергетическую освещенность под излучателем, определения взаимного расположения нескольких источников облучения с учетом пересечения и наложения зон энергетической освещенности.

Результаты практических измерений энергетической освещенности от источников ультрафиолетового излучения типа ДКБУ-7 и Uniel ESL-36 представлены на рисунке 3.

Сравнение экспериментальных и расчетных значений энергетической освещенности под центром лампы показало их расхождение (не более 5%), что позволяет считать полученную модель адекватной. Модель может применяться для предварительной оценки уровня энергетической освещенности на стадии проектирования при установленной мощности и длине линейного источника излучения.

Для перераспределения всего потока излучения от лампы в зону обработки рекомендуется использовать параболический отражатель. С учетом оптического свойства параболы излучение от источника, расположенного в фокусе параболы, будет отражаться параллельно ее оптической оси (рис. 4).

Главным условием для формирования отражения параллельно оптической оси параболы является расположение источника облучения в фокусе параболы. Для правильного размещения ультрафиолетовой лампы в отражателе выразим фокусное расстояние с учетом уравнения параболы. Высота свеса источника облучения  $h_c$ , см, определяется по выражению [17]:

$$h_c = \frac{2h}{(l/2)^2}, \tag{5}$$

где  $h$  – высота отражателя, см;  $l$  – ширина отражателя, см.

Ширину параболического отражателя рекомендуется выбирать равной ширине зоны обработки.

В качестве материалов для изготовления отражателей могут использоваться пластик, алюминий, оцинкованная и нержавеющая сталь. Наилучшими показателями отражения коротковолнового ультрафиолетового излучения диапазона УФ-С обладает травленный алюминий<sup>1</sup>. Для волны длиной 254 нм коэффициенты отражения излучения наиболее распространенных материалов представлены в таблице 2.

Отражатели из травленного алюминия, помимо высокой отражающей способности, могут выдерживать высокую температуру, отличаются высокой прочностью, защищают источник излучения от механических повреждений.

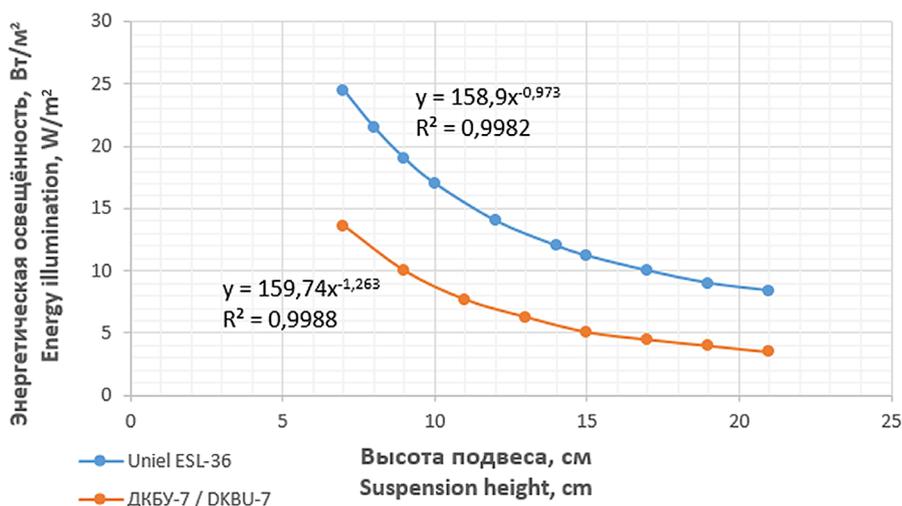
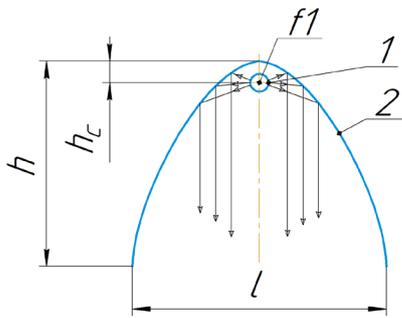


Рис. 3. Энергетическая освещенность поверхности  
 Fig. 3. Measurements of the energy illumination of the surface

<sup>1</sup> Кармазинов Ф.В., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н. Ультрафиолетовые технологии в современном мире: Коллективная монография. Долгопрудный: Интеллект, 2012. 392 с. EDN: QNPZCN



**Рис. 4. Формирование излучения в параболическом отражателе:**

$h_c$  – высота свеса лампы;  $h$  – высота отражателя;  
 $l$  – ширина зоны обработки;  $f$  – фокус параболы

**Fig. 4. Irradiation formation in a parabolic reflector:**

$h_c$  – overhang height;  $h$  – height of the reflector;  
 $l$  – width of the processed area;  $f$  – focus of the parabola

### Выводы

1. Выбор источника для УФ-облучения зерна на установке ленточного типа осуществляется с учетом конструктивных особенностей проектируемого устройства и оценки энергетической освещенности источников излучения.

2. Предложенная математическая модель расчета энергетической освещенности линейных источников излучения в установках ленточного типа, учитывающая мощность, размер и высоту подвеса источника УФ-облучения, является адекватной. Расхождение

### Список источников

- Villeneuve S., Power K.A., Guevremont E., Mondor M., Tsao R., Wanasundara J.P.D., Zarepoor L., Mercier S. Short-Time Germination of Whole Flaxseed. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2014;39(6):1574-1586. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12385>
- Elliott H., Woods P., Green B.D., Nugent A.P. Can sprouting reduce phytate and improve the nutritional composition and nutrient bioaccessibility in cereals and legumes? *Nutrition Bulletin*. 2022;47:138-156. <https://doi.org/10.1111/nbu.12549>
- Herchi W., Bahashwan S., Sebei K., Ben Saleh H., Kallel H., Boukhchina S. Effects of germination on chemical composition and antioxidant activity of flaxseed (*Linum usitatissimum* L) oil. *Grasas y Aceites*. 2015;66(1):e057. <https://doi.org/10.3989/gya.0463141>
- Pimenta A.V., Verediano T.A., Souza Carneiro J.C., Brunoro Costa N.M., Vasconcelos Costa A.G. Bioaccessibility and bioavailability of calcium in sprouted brown and golden flaxseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021;101(7):2788-2798. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10908>
- Климова Е.В. Влияние комплексного применения средств химизации на урожайность озимой пшеницы: применение азотных удобрений и средств защиты растений (фунгициды, гербициды) // Экологическая безопасность в АПК: Реферативный журнал. 2004. № 3. С. 667. EDN: НВGGKJ
- Пахомов В.И., Брагинец С.В., Пахомов А.И. Современные методы обеззараживания зерна и кормов // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, Москва, 17-18 сентября 2014 г.

Таблица 2  
**Коэффициенты отражения ультрафиолетового излучения для отдельных материалов**

Table 2  
**UV reflection coefficients for individual materials**

Материал / Material	Коэффициент отражения, % Reflection coefficient, %
Алюминий травленный / Etched aluminum	88
Алюминиевая фольга / Aluminum foil	73
Оцинкованная сталь / Galvanized steel	57
Хром / Chrome	45
Нержавеющая сталь / Stainless steel	30
Медь / Copper	7

расчетных и экспериментальных значений энергетической освещенности не превысило 5%.

3. Анализ распределения энергетической освещенности поверхности лампами типа ДКБУ-7 и Uniel ESL-36 в пределах ширины транспортной ленты 200 мм показал целесообразность использования лампы типа Uniel ESL-36 мощностью 36 Вт.

4. Предпочтительным является использование параболического отражателя из травленного алюминия размером, равным ширине зоны обработки.

### References

- Villeneuve S., Power K.A., Guevremont E., Mondor M., Tsao R., Wanasundara J.P.D., Zarepoor L., Mercier S. Short-Time Germination of Whole Flaxseed. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2014;39(6):1574-1586. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12385>
- Elliott H., Woods P., Green B.D., Nugent A.P. Can sprouting reduce phytate and improve the nutritional composition and nutrient bioaccessibility in cereals and legumes? *Nutrition Bulletin*. 2022;47:138-156. <https://doi.org/10.1111/nbu.12549>
- Herchi W., Bahashwan S., Sebei K., Ben Saleh H., Kallel H., Boukhchina S. Effects of germination on chemical composition and antioxidant activity of flaxseed (*Linum usitatissimum* L) oil. *Grasas y Aceites*. 2015;66(1):e057. <https://doi.org/10.3989/gya.0463141>
- Pimenta A.V., Verediano T.A., Souza Carneiro J.C., Brunoro Costa N.M., Vasconcelos Costa A.G. Bioaccessibility and bioavailability of calcium in sprouted brown and golden flaxseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021;101(7):2788-2798. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10908>
- Klimova E.V. Effect of the complex application of chemicals on the yield of winter wheat. *Ekologicheskaya Besopasnost v APK = Environmental Safety in Agriculture*. 2004;3:667. (In Russ.)
- Pakhomov V.I., Braginetz S.V., Pakhomov A.I. Modern methods of disinfection of grain and feed. *Innovative development of the agroindustrial sector of Russia based on intelligent machine technologies. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, Moscow, September 17-18, 2014*. Moscow, All-Russian Scientific Research Institute of Agricultural Mechanization. 2014;30-34. (In Russ.)

М.: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2014. С. 30-34. EDN: TBBSEB

7. Ferreira C.D., Ziegler V., Schwanz Goebel J.T., Lang G.H., Elias M.C., de Oliveira M. Quality of grain and oil of maize subjected to UV-C radiation (254 nm) for the control of weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky). *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017;42(4):e13453. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13453>

8. Новикова Г.В., Сторчевой В.Ф., Просвирякова М.В., Ершова И.Г., Горячева Н.Г. Научно-технические основы разработки установок с СВЧ-энергоподводом для переработки сырья агропредприятий // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70, № 1 (50). С. 18-27. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2023-70-1-18-27>

9. Белов А.А., Сторчевой В.Ф., Михайлова О.В. Конструктивные особенности СВЧ-оборудования для термообработки фуражного зерна // *Известия ТСХА*. 2015. № 4. С. 115-121. EDN: SLA0BC

10. Страхов В.Ю., Вендин С.В., Саенко Ю.В. Результаты исследований по оценке влияния предпосевной УФ-обработки и режимов искусственного освещения при проращивании люпина на витаминный корм // *Агроинженерия*. 2021. № 3 (103). С. 36-42. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-3-36-42>

11. Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г., Ильясов И.Р., Климачева Т.Н., Духтанова Н.В., Зембеков Ю.С., Большин Р.Г. Результаты опытов по влиянию УФ облучения на семена, из которых выращивается зеленый корм на гидропонике // *Агротехника и энергообеспечение*. 2016. № 4-2 (13). С. 6-14. EDN: YHSQAJ

12. Юдаев И.В., Чарова Д.И., Феклистов А.С., Воротников И.Н., Габриелян Ш.Ж. Выращивание листового салата в светодиодной облучательной камере // *Сельский механизатор*. 2017. № 1. С. 20-21. EDN: XXMOZR

13. Страхов В.Ю., Вендин С.В., Саенко Ю.В. Предпосевная УФ-обработка семян сои: проращивание на витаминный корм // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 6. С. 46-52. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-46-52>

14. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Страхов В.Ю. Результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности применения УФ- облучения, СВЧ-обработки и искусственного освещения при проращивании зерна пшеницы и ячменя на витаминный корм // *Вестник аграрной науки Дона*. 2019. № 2 (46). С. 42-50. EDN: FDTBKS

15. Газалов В.С., Пономарева Н.Е. Способы повышения равномерности облучения семян в объемном электрооптическом преобразователе // *Электротехнологии и электрооборудование в сельскохозяйственном производстве*. 2007. Т. 1, № 6. С. 10-13. EDN: SAAICB

16. Кондратьева Н.П., Фокин В.В., Коломиец А.П., Владыкин И.Р. Методика для расчета дозы предпосевного облучения семян ультрафиолетовым излучением // РГАЗУ – агропромышленному комплексу: Сборник научных трудов: В 2 ч. Ч. 2. М.: Российский государственный аграрный заочный университет, 2000. С. 251-255. EDN: QDWFDP

17. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Мартынов Е.А., Страхов В.Ю. Размещение источника ультрафиолетового облучения в параболическом отражателе: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021663552. Российская Федерация; Заяв. 06.08.2021; Опубл. 18.08.2021. EDN: VJTEWP

7. Ferreira C.D., Ziegler V., Schwanz Goebel J.T., Lang G.H., Elias M.C., de Oliveira M. Quality of grain and oil of maize subjected to UV-C radiation (254 nm) for the control of weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky). *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017;42(4):e13453. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13453>

8. Novikova G.V., Storchevov V.F., Prosviryakova M.V., Ershova I.G., Goryacheva N.G. Scientific and technical basis for the development of installations with microwave power supply for processing raw materials of agricultural enterprises. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2023;70(1):18-27. (In Russ.)

9. Belov A.A., Storchevov V.F., Mikhailova O.V. Heat cornmeal in the electromagnetic field of ultrahigh frequency. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2015;4:115-121. (In Russ.)

10. Strakhov V.Yu., Vendin S.V., Saenko Yu.V. Results of research to assess the effect of pre-sowing UV treatment and artificial lighting modes during lupine germination on vitamin feed. *Agricultural Engineering*, 2021;3:36-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-3-36-42>

11. Kondratyeva N.P., Krasnolukaya M.G. Piyasov I.R. Results of experiments on influence of uf of radiation of seeds for cultivation of the green forage on hydroponics. *Agrotekhnika i Energoobespechenie*. 2016;4-2(13):6-14. (In Russ.)

12. Yudaev I.V. Charova D.Is., Feklistov A.S., Vorotnikov I.V., Gabrielyan Sh.Zh. Growing lettuce in the LED irradiation chamber. *Selskiy Mekhanizator*. 2017;1:20-21. (In Russ.)

13. Strakhov V.Y., Vendin S.V., Sayenko Y.V. Pre-sowing UV treatment of soybean seeds: sprouting for vitamin feed. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(6):46-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-46-52>

14. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Strahov V.Yu. Results of experimental studies to assess the effectiveness of UV irradiation, microwave processing and artificial lighting during germination of wheat and barley grains for vitamin feed. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2019;2:42-50. (In Russ.)

15. Gazalov V.S., Ponomareva N.E. Ways to increase the uniformity of seed irradiation in a volumetric electro-optical converter. *Elektrotekhnologii i Elektrooborudivanie v Selskokhozyaystvennom Proizvodstve = Electrotechnologies and Electrical Equipment in Agricultural Production*. 2007;6:10-13. (In Russ.)

16. Kondratyeva N.P., Fokin V.V., Kolomiets A.P., Vladykin I.R. Methodology for calculating the dose of pre-sowing irradiation of seeds with UV radiation. *RGAZU – Agropromyshlennomy Kompleksu: collection of scientific papers*. Moscow, 2000;251-255. (In Russ.)

17. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Martynov E.A., Strakhov V. Yu. Integration of an UV irradiation source in a parabolic reflector: Certificate of State Registration of PC software package No.2021663552 Russian Federation, 2021. (In Russ.)

**Информация об авторах**

**Владимир Юрьевич Страхов**<sup>1✉</sup>, преподаватель;  
strakhov.94@list.ru✉

**Владимир Федорович Сторчевой**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, профессор;  
v.storchevoy@rgau-msha.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>

**Юрий Васильевич Саенко**<sup>3</sup>, д-р техн. наук, профессор;  
yuriy311300@mail.ru

**Николай Егорович Кабдин**<sup>4</sup>, канд. техн. наук, доцент;  
energo-nek@rgau-msha.ru

<sup>1,3</sup>Белгородский государственный аграрный университет  
имени В.Я. Горина; 308503, Россия, Белгородская обл.,  
Белгородский район, п. Майский, ул. Вавилова, 1

<sup>2,4</sup>Российский государственный аграрный университет –  
МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская  
Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

**Вклад авторов**

В.Ю. Страхов – проведение исследований, визуализация, описание результатов и формирование выводов исследований;  
В.Ф. Сторчевой – формулирование основной концепции исследований;

Ю.В. Саенко – разработка методологии исследований;

Н.Е. Кабдин – верификация данных, создание черновика рукописи.

**Конфликт интересов**

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

**Статья поступила в редакцию 29.01.2024; поступила после рецензирования и доработки 23.06.2024; принята к публикации 24.06.2024**

**Author Information**

**Vladimir Yu. Strakhov**<sup>1</sup>, lecturer; strakhov.94@list.ru

**Vladimir F. Storchevoy**<sup>2</sup>, DSc (Eng), Professor;

v.storchevoy@rgau-msha.ru;

<https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>

**Yuri V. Saenko**<sup>3</sup>, DSc (Eng), Professor; yuriy311300@mail.ru

**Nikolay E. Kabdin**<sup>4</sup>, CSc (Eng), Associate Professor

<sup>1,3</sup>Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin;

Vavilova Str., 1, Mayskiy, Belgorod district, Belgorod region,  
308503, Russian Federation

<sup>2,4</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev

Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow,  
127434, Russian Federation

**Author Contribution**

V.Y. Strakhov – investigation, visualization, writing – original draft preparation (results and discussion, conclusion);

V.F. Storchevoy – conceptualization;

Y.V. Saenko – methodology;

N.E. Kabdin – data verification, writing – original draft preparation.

**Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

**Received 29.01.2024; revised 23.06.2024; accepted 24.06.2024**

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 539.3

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-68-74>

## Расчет координат расположения беспилотных летательных средств при сбрасывании грузов сельскохозяйственного назначения

*Д.В. Белов<sup>1</sup>, С.А. Андреев<sup>2</sup>*<sup>1,2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия<sup>1</sup> [dmitri.belov@rgau-msha.ru](mailto:dmitri.belov@rgau-msha.ru)<sup>2</sup> [energo-andreev@rgau-msha.ru](mailto:energo-andreev@rgau-msha.ru)

**Аннотация.** В некоторых технологических процессах АПК беспилотное летательное средство (БПЛС) осуществляет доставку удобрений, средств защиты растений, воды и водных растворов. Сброс груза может контролироваться микропроцессором, установленным на БПЛС, с помощью программы, для которой необходим алгоритм. С целью разработки математической модели движения груза при его сбросе с низколетящего БПЛС и алгоритма для определения момента сброса груза для достижения им заданной точки приземления по известным параметрам полета проведены теоретические исследования. Выявлены факторы, влияющие на траекторию движения сбрасываемых объектов. Сформулирована задача определения расстояния от точки сброса груза с летательного средства до требуемой точки приземления. Представлены системы дифференциальных уравнений движения грузов без учета сопротивления воздуха и при квадратичной зависимости силы сопротивления воздуха от скорости падения. Построены кривые, позволяющие упрощенно определить момент сброса груза, используя скорость и высоту полета БПЛС. Приведены уравнения для вычисления конечной горизонтальной составляющей скорости падения груза, тангенса угла и продолжительности его падения, а также искомого расстояния. При этом аргументами найденных функций являются баллистический коэффициент, скорость и высота полета летательного средства. Отмечена необходимость уточнения полученных решений посредством учета зависимости параметров падения грузов от скорости и направления ветра, а также осадков и атмосферного давления. Приведен алгоритм автоматического определения момента сброса груза бортовым восьмиразрядным процессором с циклической реализацией продолжительности обработки поступающей информации.

**Ключевые слова:** беспилотное летательное средство, БПЛС, сброс, сопротивление воздуха, баллистический коэффициент, продолжительность падения, алгоритм автоматического определения момента сброса груза

**Для цитирования:** Белов Д.В., Андреев С.А. Расчет координат расположения беспилотных летательных средств при сбрасывании грузов сельскохозяйственного назначения // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 4. С. 68-74. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-68-74>

## ORIGINAL PAPER

## Calculation of unmanned aerial vehicle positioning coordinates when dropping agricultural loads

*D.V. Belov<sup>1</sup>, S.A. Andreev<sup>2</sup>*<sup>1,2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia<sup>1</sup> [dmitri.belov@rgau-msha.ru](mailto:dmitri.belov@rgau-msha.ru)<sup>2</sup> [energo-andreev@rgau-msha.ru](mailto:energo-andreev@rgau-msha.ru)

**Abstract.** In some agricultural processes, an unmanned aerial vehicle (UAV) delivers fertilizers, crop protection products, water and water solutions. The drop of material objects (load) can be controlled by a microprocessor installed on the UAV by means of an algorithm-based program. The authors conducted theoretical studies to develop a mathematical model of the load motion when it is dropped from a low-flying UAV and an algorithm for determining the moment of load drop to reach a given landing point using the known flight parameters. The study identified factors influencing the trajectory of the dropped material objects and posed the problem of determining the distance from the point of load dropping from the UAV to the required landing point. The article presents systems of differential equations of load motion without air resistance and with a quadratic dependence of the air resistance force on the drop velocity. Curves are constructed to determine the moment of load drop simplistically using the velocity and flight altitude of the UAV. The equations for calculating the final horizontal component of the loads

drop velocity, the tangent angle and duration of its drop, as well as the required distance are given. The arguments of the found functions are ballistic coefficient, speed and flight altitude of the UAV. The authors note the necessity of refining the obtained solutions by taking into account the dependence of the parameters of the dropped loads on the wind speed and direction, as well as precipitation and atmospheric pressure. The article presents an algorithm of automatic control of the reset of material objects dropping by an on-board eight-bit processor with cyclic implementation of the duration of incoming information processing.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle (UAV), material objects (loads), release, landing point, air resistance, ballistic coefficient, navigation, fall duration, algorithm

**For citation:** Belov D.V., Andreev S.A. Calculation of unmanned aerial vehicle positioning coordinates when dropping agricultural loads. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2024;26(4):68-74. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-68-74>

## Введение

Ряд технологических процессов современно-го АПК сопровождается сбрасыванием с перемещающихся в воздухе беспилотных летательных средств (БПЛС) на поверхность земли материальных объектов (МО): небольших грузов хозяйственного назначения, удобрений, средств защиты растений, воды и водных растворов [1]. При использовании в качестве БПЛС дирижаблей или коптеров необходимо учитывать их особенности: низкие скорости горизонтального и вертикального маневрирования, небольшую высоту полета и длительность нахождения над обслуживаемой территорией [2, 3].

Сложность соблюдения требуемой точности определяется наличием начальной поступательной скорости МО, обусловленной движением БПЛС на момент его сброса, наличием силы сопротивления воздуха, влияния ветра, атмосферного давления и осадков.

На основе информации о координатах точки приземления МО, скорости и высоте полета БПЛС формирование команды на сброс МО может реализовываться микропроцессорными средствами, устанавливаемыми на БПЛС<sup>1</sup> [4]. Однако для осуществления компьютерного расчета момента сброса МО необходима программа, составленная по соответствующему алгоритму.

**Цель исследований:** составление математической модели движения МО при его сбросе с низколетящего БПЛС, алгоритма для определения момента сброса МО для достижения им заданной точки приземления по известным параметрам полета.

## Материалы и методы

В качестве исходных материалов использованы сведения из классической теории аэродинамики, законы механики и математические методы моделирования физических процессов. В теоретических

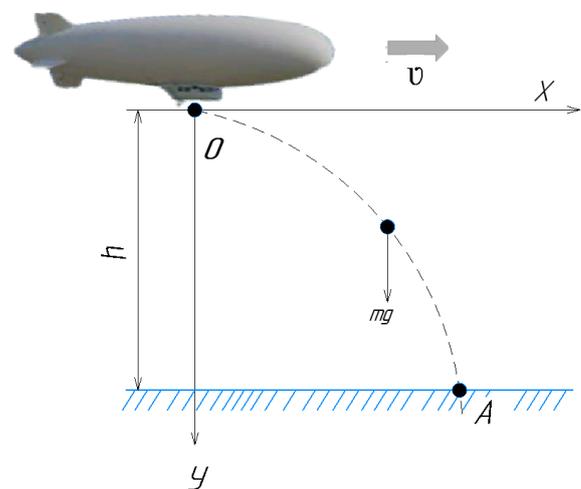
исследованиях использован метод абстрагирования, позволивший рассматривать движение МО без сопротивления воздуха и с учетом сопротивления, пропорционального квадрату скорости движения.

## Результаты и их обсуждение

Сделаем допущения:

- перемещение МО в пространстве рассматривается как движение центра масс, находящегося во временной тарелке, ось тары совпадает с касательной к траектории;
- поверхность Земли на рассматриваемом участке является плоской.

Совместим начало координат  $O$  с точкой на БПЛС, из которой производится сброс груза (рис. 1).



**Рис. 1. Траектория движения груза после сброса с БПЛС:**

$v, h$  – скорость поступательного движения и высота полета БПЛС;  
 $A$  – абсцисса точки (относ.), в которую должен попасть груз

**Fig. 1. Trajectory of the load motion after being dropped from the UAV:**

$v, h$  – velocity of translational motion and flight altitude of the UAV;  
 $A$  – abscissa of the point (drift), at which the load should hit

<sup>1</sup> Щербиков Ю.В. Теория полета дирижаблей. М.: Издательство ЛКИ, 2019. 89 с.

В соответствии со вторым законом Ньютона для составляющих сил, действующих на МО, можно записать дифференциальные уравнения движения по координатным осям:

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = 0 \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = mg. \end{cases} \quad (1)$$

В результате интегрирования уравнений системы (1) получим

$$\begin{cases} m \frac{dx}{dt} + B_1 = B_2 \\ m \frac{dy}{dt} + B_3 = mgt + B_4. \end{cases} \quad (2)$$

Поскольку в процессе полета масса сбрасываемого МО не меняется, в последующих рассуждениях значения  $m$  исключим.

После второго интегрирования будем иметь

$$\begin{cases} x + B_5 + B_1t + B_6 = B_2t + B_7; \\ y + B_8 + B_3t + B_9 = \frac{1}{2}gt^2 + B_{10}t + B_{11} + B_{12} \end{cases} \quad (3)$$

или

$$\begin{cases} x = B_2t - B_7 - B_5 - B_1t - B_6; \\ y = \frac{1}{2}gt^2 + B_{10}t - B_3t + B_{11} + B_{12} - B_8 - B_9. \end{cases} \quad (4)$$

Сгруппируем слагаемые равенств системы (4) по мере убывания показателей степеней при  $t$ :

$$\begin{cases} x = (B_2 - B_1)t - B_7 - B_6 - B_5; \\ y = \frac{1}{2}gt^2 + (B_{10} - B_3)t + B_{11} + B_{12} - B_8 - B_9. \end{cases} \quad (5)$$

Введем обозначения:  $C_1 = B_2 - B_1; C_2 = -B_7 - B_6 - B_5; C_3 = B_{10} - B_3; C_4 = B_{11} + B_{12} - B_8 - B_9.$

Система (5) сводится к виду:

$$\begin{cases} x = C_1t + C_2; \\ y = \frac{1}{2}gt^2 + C_3t + C_4. \end{cases} \quad (6)$$

С учетом начальных условий (при  $t = 0 \quad x = 0; \frac{dx}{dt} = 0; \frac{dy}{dt} = 0$ )

$$\begin{cases} 0 = C_1 + C_2; \\ v = C_1; \\ 0 = 0 + C_3 \cdot 0 + C_4; \\ 0 = 0 + C_3. \end{cases} \quad (7)$$

или  $C_1 = v, C_2 = C_3 = C_4 = 0.$

Система уравнений (1) может быть представлена как

$$\begin{cases} x = vt; \\ y = \frac{1}{2}gt^2. \end{cases} \quad (8)$$

Из первого равенства системы (8) выразим  $t = \frac{x}{v}$  и подставим полученное значение во второе:

$$y = \frac{1}{2}g \frac{x^2}{v^2}. \text{ Следовательно, } 2v^2y = gx^2 \text{ или } x^2 = \frac{2v^2y}{g}.$$

В результате подстановки получим  $x = \sqrt{\frac{2v^2y}{g}} = v\sqrt{\frac{2y}{g}}.$

$$\text{При } y = h; \quad x = v\sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad (9)$$

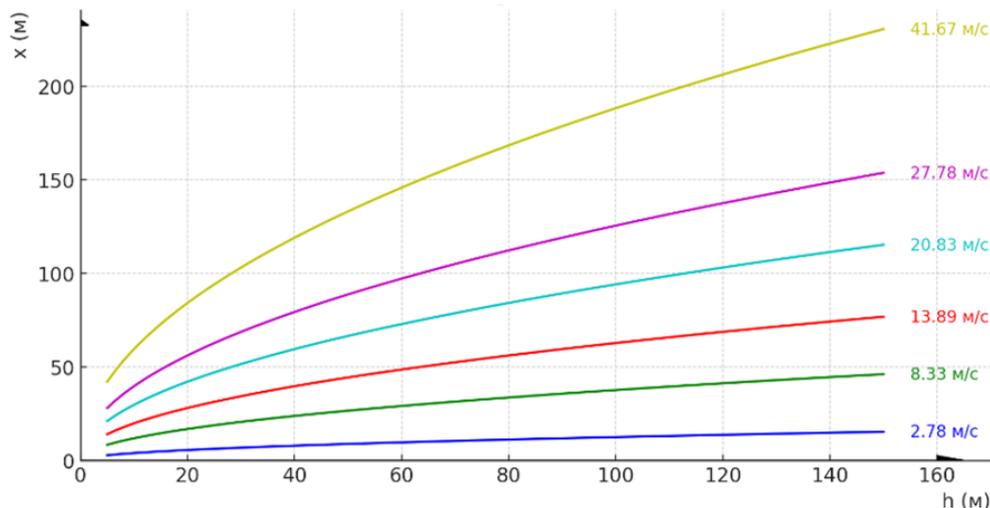
Выражение (9) позволяет достаточно просто определять расстояние до требуемого места точки приземления МО. Для ручного управления механизмом сброса МО можно воспользоваться семейством кривых (рис. 2).

Для более точных расчетов следует учитывать сопротивление воздуха. Подобные задачи уже решались другими исследователями, однако в них не принималась во внимание начальная скорость МО [5]. Под влиянием сопротивления воздуха горизонтальное смещение (относ) МО уменьшится, а продолжительность падения увеличится: после отделения от горизонтально летящего БПЛС МО по инерции продолжит двигаться в направлении полета, а под действием силы тяжести будет стремиться вниз. Движение МО будет осуществляться по кривой, постепенно переходя от горизонтального к вертикальному<sup>2</sup>. На начальном этапе падения МО (в точке  $M$  на рисунке 3) горизонтальная составляющая скорости  $v_x$  превышает вертикальную составляющую  $v_y$ . Результирующая скорость МО определится как  $v_t = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ . При дальнейшем падении (в точках  $N$  и  $P$ ) составляющие скоростей сначала сравняются, а затем их соотношение изменится на противоположное<sup>3</sup>. Отметим, что при скорости падения тел в воздухе со скоростью, меньшей 218 м/с, силу сопротивления воздуха можно считать пропорциональной квадрату этой скорости<sup>4</sup>.

<sup>2</sup>Миропольский Ф.П., Морозов А.А., Пырьев Е.В. Баллистика авиационных средств поражения // Военно-воздушная инженерная академия имени Н.Е. Жуковского. М.: ИД Академии Жуковского, 2015. 251 с.

<sup>3</sup>Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика: Учебное пособие. М.: Машиностроение, 1972. 584 с.

<sup>4</sup>Мхитарян А.М. Аэродинамика. М.: Машиностроение, 1976. 418 с.



**Рис. 2. Зависимость расстояния (h) между БПЛС и требуемой точкой приземления груза от скорости и высоты его падения (x)**  
**Fig. 2. Dependence of the distance (h) between the UAV and the required location of the load landing point on the fall velocity and altitude**

Для наблюдателя, находящегося на БПЛС, МО будет виден под некоторым углом  $\gamma$  к вертикали. В момент падения МО величина этого угла составляет  $tg\gamma = \frac{\Delta}{h}$ . Для наблюдателя, находящегося в точке сброса  $O$ , МО покажется под углом  $\varphi$  к вертикали и в момент падения  $tg\varphi = \frac{A}{h} = \frac{vT - \Delta}{h}$  (рис. 3).

Для определения величин  $A, \Delta, T$ , а затем углов  $\varphi$  и  $\gamma$  необходимо определить траекторию движения МО в трехмерных координатах (рис. 4).

Уравнения движения для трехмерной системы координат могут быть записаны<sup>5</sup> как

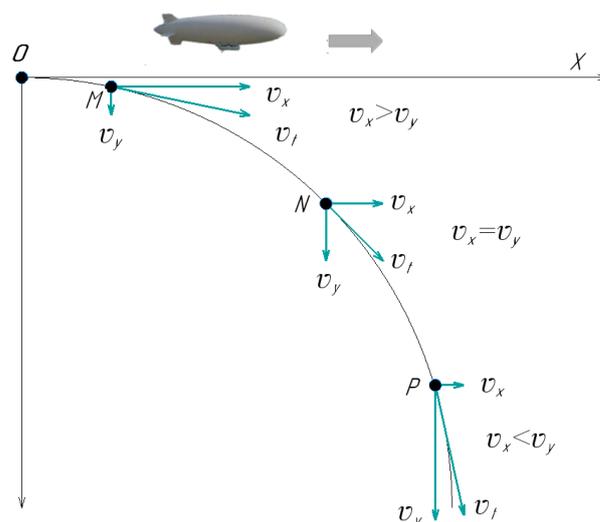
$$\begin{cases} mx'' = -R\cos(R \wedge x); \\ my'' = mg - R\cos(R \wedge y); \\ mz'' = -R\cos(R \wedge z). \end{cases}$$

Заменив тригонометрические функции отношениями  $\cos(R \wedge x) = \frac{x}{v}$ ,  $\cos(R \wedge y) = \frac{y}{v}$  и  $\cos(R \wedge z) = \frac{z}{v}$ , получим  $mx'' = \frac{Rx'}{v}$ ,  $my'' = mg - \frac{Ry'}{v}$  и  $mz'' = -\frac{Rz'}{v}$ .

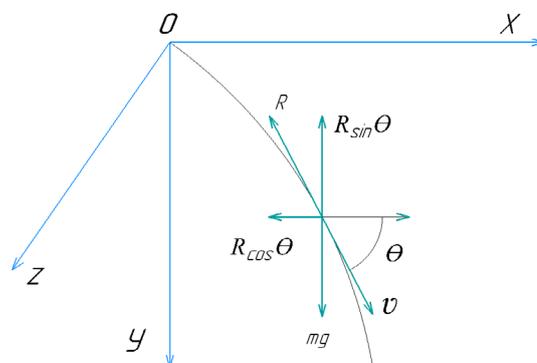
Учтем начальные условия:

$$\begin{cases} x = y = z = 0; \\ y' = z' = 0; \\ x' = v. \end{cases} \quad (10)$$

Последнее уравнение системы определяется интегралом  $z = 0$ , который в соответствии с теоремой единственности



**Рис. 3. Изменение векторов горизонтальной и вертикальной составляющих скорости падения груза**  
**Fig. 3. Change in the vectors of the horizontal and vertical components of the load fall velocity**



**Рис. 4. Траектория движения груза в трехмерных координатах**  
**Fig. 4. Trajectory of the load motion in three-dimensional coordinates**

<sup>5</sup>Гредасова Н.В., Андреева И.Ю. Обыкновенные дифференциальные уравнения: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2022. 88 с.

является исчерпывающим<sup>6</sup>. Следовательно, траектория движения МО представляет собой кривую в плоскости  $xOy$ . Для определения этой траектории следует проинтегрировать первые два уравнения системы (10).

Представим силу сопротивления воздуха выражением:  $R = mC(h - y)F(v)$ .

$$\begin{cases} x' = v \cdot \cos\theta; \\ y' = v \cdot \sin\theta, \end{cases}$$

где  $\theta$  – угол между касательной к траектории и осью  $X$ ;  $C$  – безразмерный баллистический коэффициент, учитывающий форму, размеры и расположение МО; для большинства тел  $0,07 \leq C < 2,2$ .

$$\text{Итак, } \cos\theta = \frac{x'}{v}; \sin\theta = \frac{y'}{v}.$$

Используя значения  $R$  и  $\theta$  в уравнениях движения и сокращая на  $m$ , получим

$$\begin{cases} x'' = -C(h - y)\frac{F(v)}{v}x'; \\ y'' = g - C(h - y)\frac{F(v)}{v}y'. \end{cases} \quad (11)$$

Система (11) в квадратурах не интегрируется. Найдем приближенные значения  $A$  и  $T$ . С учетом специфики квадратичного закона сопротивления воздуха система уравнений (11) имеет вид:

$$\begin{cases} x'' = -CvH(h - y)x'; \\ y'' = g - Cv(h - y)y'. \end{cases} \quad (12)$$

Умножим первое уравнение системы (12) на  $y'$ , а второе – на  $x'$ . Одновременно вычтем первое уравнение из второго:

$$yx' - xy' = gx''.$$

В результате деления всех членов последнего равенства на  $(x')^2$  получим  $\frac{y''x' - x''y'}{(x')^2} = \frac{g}{x'}$

или 
$$\frac{d}{dt}\left(\frac{y'}{x'}\right) = \frac{g}{x'} \text{ и } \frac{d}{dt}tg\theta = \frac{g}{x'}.$$

Введем обозначения:  $\frac{y'}{x'} = tg\theta = p$  и  $x' = u$ , с учетом которых получим  $p' = \frac{g}{u}$ .

Объединив последние уравнения в систему и учитывая, что

$$v = \sqrt{(x')^2 + (y')^2} = \sqrt{u^2 + p^2u^2} = up\sqrt{1 + \frac{1}{p^2}} = u\sqrt{1 + p^2},$$

<sup>6</sup> Виленкин Н.Я., Доброхотова М.А., Сафонов А.Н. Дифференциальные уравнения: Учебное пособие. М.: Просвещение, 1984. 176 с.

приведем эту систему к виду:

$$\begin{cases} u' = -Cvh(Y - y) \cdot u; \\ p' = \frac{g}{u}; \\ x' = u; \\ y' = pv. \end{cases} \quad (13)$$

Используем в качестве независимой переменной величину  $y$ :

$$\begin{aligned} u' &= \frac{du}{dt} = \frac{du}{dy} \cdot \frac{dy}{dt} = \frac{du}{dy} pu; \\ p' &= \frac{dp}{dt} = \frac{dp}{dy} \cdot \frac{dy}{dt} = \frac{dp}{dy} pu; \\ x' &= \frac{dx}{dt} = \frac{dx}{dy} \cdot \frac{dy}{dt} = \frac{dx}{dy} pu. \end{aligned}$$

Систему уравнений (13) можно представить как

$$\begin{cases} \frac{du}{dy} = -Cu\sqrt{1 + \frac{1}{p^2}} \cdot h(h - y); \\ u^2 p \frac{dp}{dy} = g; \\ up \frac{dt}{dy} = 1; \\ p \frac{dx}{dt} = 1. \end{cases} \quad (14)$$

Начальные условия определяются как

$$y = 0 \begin{cases} u = v \\ p = t = x = 0. \end{cases}$$

При увеличении  $y$  угол наклона касательной к траектории будет расти, сомножитель  $\sqrt{1 + \frac{1}{p^2}}$  стремится к единице и никогда не превысит ее. В то же время сомножитель  $h(h - y)$  является отношением плотности воздуха на высоте к его плотности у поверхности Земли. Этот сомножитель также стремится к единице, однако всегда меньше ее. На этом основании сделаем допущение, что

$$\sqrt{1 + \frac{1}{p^2}}; h(h - y) = 1.$$

С учетом допущения система уравнений (14) примет вид:

$$\begin{cases} \frac{du}{dy} = -Cu; \\ u^2 p \frac{dp}{dy} = g; \\ up \frac{dt}{dy} = 1; \\ p \frac{dx}{dt} = 1. \end{cases} \quad (15)$$

Результаты интегрирования четырех уравнений системы (15):

$$\begin{cases} u = ve^{-Cv} \\ p = \frac{\sqrt{2gy}}{v_0} \left(1 + \frac{Cy}{2}\right); \\ t = \sqrt{\frac{2y}{g}} \left(1 + \frac{Cy}{6}\right); \\ x = v \sqrt{\frac{2y}{g}} \left(1 + \frac{Cy}{6}\right). \end{cases} \quad (16)$$

Для определения параметров приземления МО в системе (16) следует учесть  $y = h$ . Тогда с учетом квадратичной зависимости сопротивления воздуха от скорости падения МО при его сбрасывании с БПЛС, перемещающегося со скоростью  $v$ , известном баллистическом коэффициенте  $C$  и высоте полета  $h$  конечная горизонтальная составляющая скорости  $u$ , тангенс угла падения  $p$ , длительность падения  $T$  и относ  $A$  могут быть рассчитаны как

$$\begin{cases} u = ve^{-Cv} \\ p = \frac{\sqrt{2gh}}{v} \left(1 + \frac{Ch}{2}\right); \\ T = \sqrt{\frac{2h}{g}} \left(1 + \frac{Ch}{6}\right); \\ A = v \sqrt{\frac{2H}{g}} \left(1 + \frac{CH}{6}\right). \end{cases} \quad (17)$$

Для достижения наиболее точного попадания в точку назначения идеальным можно считать такой вариант, при котором БПЛС прекратит свое движение параллельно поверхности Земли, находясь непосредственно над этой точкой. После этого должно произойти снижение высоты расположения БПЛС до минимальной и должен быть произведен сброс МО [6]. Однако с практической точки зрения такой вариант представляется маловероятным вследствие низкой производительности процесса при большом количестве МО и пунктов их доставки [7]. В реальных условиях сбрасывание МО осуществляется с поступательно движущегося БПЛС. БПЛС совершает непрерывное движение по заданной траектории, а МО сбрасываются по мере приближения к требуемым точкам [8]. При этом вероятные возмущающие воздействия, не предусмотренные программой, обусловлены лишь влиянием ветра, осадков или непланируемым появлением новых точек доставки МО. В соответствии с четвертым равенством системы (17) увеличение относ  $A$  достигается увеличением скорости полета БПЛС и высоты полета. При этом следует учитывать, что быстрое изменение поступательной скорости движения БПЛС затруднительно, а значительное увеличение

высоты полета увеличивает длительность полета МО и повышает уязвимость результатов расчета ввиду действия ветра или других погодных факторов.

Алгоритм, реализованный бортовым процессором БПЛС для определения момента сброса МО, представлен на рисунке 5 [9, 10].

Исходная информация для расчета (баллистический коэффициент  $N$ , ускорение свободного падения  $g$  и допустимая продолжительность  $t$  обработки информации от появившегося в обозрении точки ожидания МО) закладывается перед началом работы в блок 2. В блок 5 поступает текущая исходная информация от электронных средств навигации о фактическом расстоянии  $x_0$  от точки ожидания приземления МО до перпендикуляра от поверхности Земли к БПЛС, о высоте полета  $H$  и скорости  $v$ . В блоке 6 производится расчет требуемого расстояния от места ожидания приземления МО до пересечения перпендикуляра с Землей. В блоке 7 сравниваются значения расчетного расстояния  $A$  с фактическим  $x_0$ . Выполнение условия  $A \leq x_0$  свидетельствует о необходимости

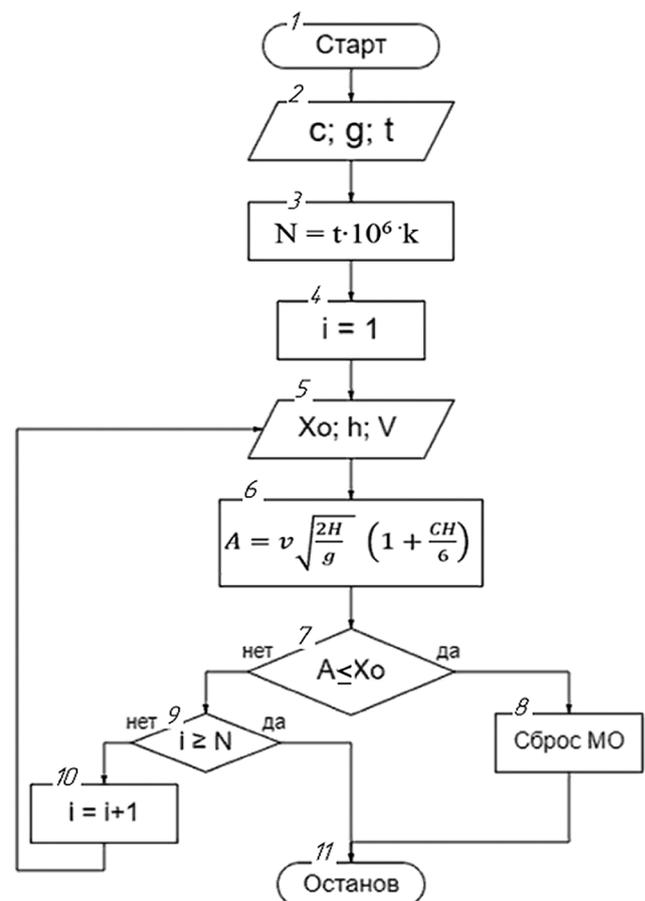


Рис. 5. Алгоритм автоматического определения момента сброса груза с учетом сопротивления воздуха, пропорционального квадрату скорости падения

Fig. 5. Algorithm for automatically determining the moment of load dropping, taking into account air resistance proportional to the square of the fall velocity

немедленного сброса МО, осуществляемого по команде, сформированной в блоке 8. При невыполнении этого условия происходит повторный ввод навигационной информации в блок 5 и совершается последующая ее обработка в блоках 6 и 7. Блоки 4, 9 и 10 предназначены для организации циклической работы алгоритма в течение заданного времени  $t$ . При этом количество циклов рассчитывается в блоке 3 по формуле:

$$N = t \cdot 10^6 \cdot k,$$

где  $k$  – разрядность процессора,  $k = 8$ .

Остановка работы алгоритма (блок 11) производится либо при сбросе МО, либо при исчерпании лимита времени  $t$ , определяемого количеством циклов  $N$ .

#### Список источников / References

1. Wang G., Han Yu., Li X., Andaloro J., Chen P., Hoffmann W.C., Han X., Chen S., Lan Yu. Field evaluation of spray drift and environmental impact using an agricultural unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer. *Science of The Total Environment*. 2020;737:139793. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139793>
2. Белов Д.В., Андреев С.А. Расчет скорости нагрева гелия в рабочей камере дирижабля // Современные энергосберегающие тепловые и массообменные технологии (сушка, тепловые и массообменные процессы) СЭТМТ-2023: Сборник научных трудов Восьмой Международной научно-практической конференции, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 17-19 октября 2023 г. М.: ООО «Мегаполис», 2023. С. 327-330. EDN: ICQYMA
- Belov D.V. Andreev, S.A. Calculation of the heating rate of helium in the working chamber of the airship. *Modern energy-saving thermal and mass transfer technologies (drying, thermal and mass transfer processes) SETMT – 2023: Proceedings of the Eighth International Scientific and Practical Conference, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy*. 2023. Pp. 327-330. (In Russ.)
3. Malyuta D., Brommer Ch., Hentzen D., Stastny T., Siegwart R., Brockers R. Long-duration fully autonomous operation of rotorcraft unmanned aerial systems for remote-sensing data acquisition. *Journal of Field Robotics*. 2020;37(1):137-157. <https://doi.org/10.1002/rob.21898>
4. Shahid N., Abrar M., Ajmal U., Masroor R., Amjad Sh., Jeelani M. Path planning in unmanned aerial vehicles: An optimistic overview. *International Journal of Communication Systems*. 2022;35(6): e5090. <https://doi.org/10.1002/dac.5090>
5. Горбач Н.И., Лужинский Е.С., Неверовская Я.Б. Исследование падения тяжелого груза в воздухе при квадратичном законе сопротивления // Теоретическая и прикладная механика: Международный научно-технический сборник. Минск: БНТУ, 2011. Вып. 26. С. 290-294. <https://rep.bntu.by/handle/data/72932>

#### Информация об авторах

**Белов Дмитрий Владимирович**<sup>1</sup>, аспирант;  
dmitri.belov@rgau-msha.ru  
**Андреев Сергей Андреевич**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент;  
energo-andreev@rgau-msha.ru

<sup>1,2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Статья поступила 11.01.2024, после рецензирования и доработки 12.06.2024; принята к публикации 13.06.2024

#### Выводы

1. Расстояние от точки сброса материального объекта до требуемой точки приземления без учета сопротивления воздуха определяется скоростью полета БПЛС и высотой полета. При учете сопротивления воздуха, пропорционального квадрату скорости падения материального объекта, помимо скорости полета БПЛС и высоты полета, при определении расстояния необходимо учитывать баллистический коэффициент.

2. Алгоритм, учитывающий сопротивление воздуха, баллистический коэффициент и параметры полета, позволяет автоматически определить момент сброса материального объекта бортовым процессором БПЛС.

Gorbach N.I., Luzhinskiy E.S., Neverovskaya Ya.B. Study of the fall of a heavy load in the air under the quadratic law of resistance. *Theoretical and applied mechanics: International scientific and technical journal (dedicated to the 90th anniversary of BNTU and the 80th anniversary of Ivlev D.D)*. Ministry of Education of the Republic of Belarus, Minsk: BNTU, 2011;26:290-294. (In Russ.)

6. Benarbia T., Kyamakya K. A literature review of drone-based package delivery logistics systems and their implementation feasibility. *Toward the New Era of Sustainable Design, Manufacturing and Management. Sustainability*. 2022;14(1):360. <https://doi.org/10.3390/su14010360>

7. Li Y., Liu M., Jiang D. Application of unmanned aerial vehicles in logistics: a literature review. *Sustainability*. 2022;14(21):14473. <https://doi.org/10.3390/su142114473>

8. Saponi M., Borboni A., Adamini R., Faglia R., Amici C. Embedded payload solutions in UAVs for medium and small package delivery. *Machines*. 2022;10(9):737. <https://doi.org/10.3390/machines10090737>

9. Федоренко Р.В. Структурно-алгоритмическая и аппаратная организация автопилота посадки робота-дирижабля с применением визуальной навигации // Наука и образование: Научное издание МГТУ имени Н.Э. Баумана. 2011. № 9. С. 9. EDN: OHFTOP

Fedorenko R.V. Structural-algorithmic and hardware organization of the autopilot for landing a robot-airship using visual navigation. *Science and Education of Bauman MSTU*, 2011;9:9. (In Russ.)

10. Федоренко Р.В. Алгоритмы автопилота посадки роботизированного дирижабля // Инженерный вестник Дона. 2011. № 1. С. 365-371. EDN: NXPBVV

Fedorenko R.V. Autopilot algorithm for landing a robotic airship. *Engineering Journal of Don*, 2011;1:365-371. (In Russ.)

#### Author Information

**Dmitriy V. Belov**<sup>1</sup>, postgraduate student,  
dmitri.belov@rgau-msha.ru  
**Sergey A. Andreev**<sup>2</sup>, CSc (Eng), Associate Professor;  
energo-andreev@rgau-msha.ru

<sup>1,2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Received 11.01.2024; Revised 12.06.2024; Accepted 13.06.2024

# ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 378.147

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-75-80>

## Применение генеративных нейросетей в обучении агроинженеров

*Е.В. Щедрина<sup>1✉</sup>, О.Н. Ивашова<sup>2</sup>*<sup>1,2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия<sup>1</sup> [shchedrina@rgau-msha.ru](mailto:shchedrina@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4793-2441><sup>2</sup> [o.ivashova@rgau-msha.ru](mailto:o.ivashova@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9206-9862>

**Аннотация.** Требования к качеству теоретических и практических знаний и умений агроинженеров с каждым годом повышаются. Включение генеративных нейросетей в программы подготовки соответствующих специалистов отвечает требованиям программ обучения и уровню развития навыков, ключевых для Индустрии 4.0, и на перспективу Индустрии 5.0. С целью теоретического обоснования и определения возможностей применения генеративных нейросетей в обучении агроинженеров авторы рассматривают генеративную нейросеть как открытый ресурс, при помощи которого можно проектировать образовательную траекторию в соответствии с интересами, целями познания участников взаимодействия. Предлагается система работы по изучению ключевых тем дисциплины «Информатика и цифровые технологии» для студентов, обучающихся по направлению 35.03.06 – Агроинженерия. Описаны направления деятельности, поддерживающие интерактивную коммуникацию, генерацию диаграмм, графиков и 3D-моделей, поиск оригинальных названий, подбор списка литературы, построение алгоритмов решения и т.д. Сформулированы выводы о том, что нейросети способствуют повышению качества подготовки агроинженеров за счет представления информации в различной форме, автоматизации вычислений, анализа больших массивов данных, поддержки принятия решений и др. Накопленный преподавателями цифровой школы опыт в обучении агроинженеров и совершенствование содержательного материала позволят в перспективе применять нейросети внутри различных дисциплин.

**Ключевые слова:** применение генеративных нейросетей в обучении, нейросеть, подготовка инженеров, агроинженер, агроинженерия, технические системы, информационный ресурс

**Для цитирования:** Щедрина Е.В., Ивашова О.Н. Применение генеративных нейросетей в обучении агроинженеров // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 4. С. 75-80. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-75-80>

ORIGINAL PAPER

## Prospects of using generative neural networks in the training of agricultural engineers

*E.V. Shchedrina<sup>1✉</sup>, O.N. Ivashova<sup>2</sup>*<sup>1,2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia<sup>1</sup> [shchedrina@rgau-msha.ru](mailto:shchedrina@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4793-2441><sup>2</sup> [o.ivashova@rgau-msha.ru](mailto:o.ivashova@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9206-9862>

**Abstract.** The requirements for the quality of theoretical and practical knowledge and skills of agricultural engineers are increasing every year. The use of generative neural networks in the training curricula of relevant specialists satisfies both the prescribed requirements and the requirements for the level of key skills applicable to Industry 4.0 and further on to Industry 5.0. The purpose of the study was to identify the opportunities of using generative neural networks in the training of agricultural engineers. The authors consider the generative neural network as an open resource enabling teachers to design an educational trajectory in accordance with the interests and cognitive goals of the teaching interaction participants. The authors suggest using a system of activities to study the key topics of the “Computer Science and Digital Technologies” course for training major 35.03.06 “Agricultural Engineering”. The paper describes the activities supporting interactive communication, generation of diagrams, graphs and 3D models, searching for original titles,

making a list of references, constructing algorithms for solving problems, etc. The authors come to a conclusion that neural networks contribute to improving the quality of training for agricultural engineers due to the following capabilities: presentation of information in various forms, automation of calculations, analysis of large amounts of data, decision support, etc. The digital teaching experience applied to the training of agricultural engineers and the updated teaching content will make it possible to apply neural networks for teaching various subject courses in the future.

**Keywords:** application of generative neural networks in training, neural network, training of engineers, agricultural engineer, agricultural engineering, technical systems, information resource

**For citation:** Shchedrina E.V., Ivashova O.N. Prospects of using generative neural networks in the training of agricultural engineers. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(4):75-80. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-75-80>

## Введение

Искусственный интеллект, согласно выводам экспертов ЮНЕСКО, обладает дидактическим потенциалом в следующих стратегических направлениях реализации концепции устойчивого развития [1]: поддержка решения ряда актуальных проблем, существующих в образовании; внедрение инноваций в образовательные технологии; ускорение научно-технического прогресса в сельском хозяйстве и развития мировой экономики.

В рамках национального проекта «Цифровая экономика» реализуются несколько инициатив, оказывающих косвенное или прямое воздействие на тенденции в сфере инженерно-технического образования:

- подготовка кадров для цифровой экономики (совершенствование системы обучения с целью повышения компьютерной грамотности и развития востребованных цифровых навыков);

- рост числа разработок в области искусственного интеллекта, а также его интеграция в бизнес-процессы;

- обсуждение системы правового регулирования цифровой экономики, вопросов кибербезопасности и регулирования интеллектуальных прав собственности.

В подготовке кадров к числу приоритетных для государства относятся агроинженерные направления.

Попытка определить ключевые компетенции для проектирования объектов энергетики, конструирования, эксплуатации до высшего менеджмента представлена в работе Б.А. Лёвина, А.А. Пискунова, В.Ю. Полякова, А.В. Савина [2]. Она касается подготовки инженеров нового формата под вызовы человеко-технологических отношений:

1. Готовность к переходу на качественно и территориально новую сырьевую базу для более устойчивых логистических поставок и стабильности промышленности.

2. Способность обеспечивать повышение гибкости производства при уходе от долгосрочного, масштабного планирования.

3. Навыки кросс-отраслевых отношений, то есть умение работать с компаниями из различных отраслей, чтобы создавать экосистемы, соответствующие концепции Индустрии 5.0.

Необходимость применять и учитывать ресурсы новых цифровых технологий (функциональные возможности, поддержка коммуникаций между людьми, автоматизация рутинных вычислений, формирование востребованных надпредметных навыков) при подготовке инженеров будущего отмечается и в работе Н.Л. Караваева, Е.В. Соболевой [3].

Особую специфику подготовки агроинженеров в условиях глобализации и цифровизации отмечают С.В. Барабанова, А.А. Кайбияйнен, Н.В. Крайсман [4]: например, то, что преподаватель инженерного вуза должен не просто передавать предметные знания, а уметь организовать самостоятельную деятельность обучающегося по усвоению материала дисциплины, используя для этого современные методики и технологии. Безусловно, возникает и необходимость жесткого педагогического контроля за предотвращением использования генеративных нейросетей там, где это лишит учащихся возможностей развивать когнитивные способности и социальные навыки (критическое мышление, эмоциональный интеллект и т.д.) [5-8].

Существует ряд объективных противоречий между необходимостью использовать технологии искусственного интеллекта (в частности, генеративные нейросети) в подготовке специалистов-агроинженеров и наличием широкого спектра проблем (правового, этического, организационного, технического характера), а также между необходимостью учитывать специфику подготовки будущих агроинженеров под вызовы Индустрии 4.0 (и на перспективу Индустрии 5.0) и отсутствием соответствующих методических рекомендаций.

**Цель исследований:** теоретическое обоснование и определение возможностей применения генеративных нейросетей в обучении агроинженеров.

## Материалы и методы

Изучена научная и техническая литература по проблеме исследований. Выполнено сравнение онлайн-ресурсов для поддержки цифрового обучения агроинженеров. Аналитическая работа проведена и при выборе инструментов для работы (сформирован начальный набор генеративных нейросетевых сервисов).

При выявлении условий, влияющих на качество применения генеративных нейросетей в подготовке цифровых инженеров, организована и проведена опытно-экспериментальная работа на базе Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, к которой были привлечены 72 студента. Программа подготовки – 35.03.06 «Агроинженерия», направленность: Технический сервис в агропромышленном комплексе; Технические системы в агробизнесе.

Работа проводилась в рамках изучения дисциплины «Информатика и цифровые технологии». Информационное взаимодействие, поддержанное генеративными нейросетями, осуществляется на практических занятиях, при выполнении самостоятельных заданий, в рамках дискуссий, при подготовке к занятиям. На лекциях активно используются презентации с включением различных вспомогательных цифровых инструментов и эвристической беседы. Интерактивность взаимодействия обеспечивается и процессом последующего обсуждения (например, при формировании окончательного списка сервисов нейросетей). Обратная связь реализуется путем выяснения реакции участников обсуждения на полученные от нейросети ответы (коды решения, тексты, диаграммы, модели).

Интерактивное обучение при поддержке генеративных нейросетей обеспечивает взаимопонимание, взаимодействие, взаимообогащение. Информационное взаимодействие, поддержанное генеративными нейросетями, ни в коем случае не заменяет лекционный материал. Напротив, оно способствует его лучшему усвоению, и что особенно важно – формируют мнения, отношения, навыки поведения.

Цифровой агроинженер в представленных исследованиях – это новый класс инженеров, которые в виртуальном пространстве проектируют и моделируют реальные физические объекты. Подготовка инженеров, способных к самостоятельной проектной, изыскательской, технологической, экспертно-аналитической деятельности, – ключевое положение программы вуза.

## Результаты и их обсуждение

Уточним понятийный аппарат, составляющий основу обучения и взаимодействия инженеров нового

поколения в рамках дисциплины «Информатика и цифровые технологии».

Искусственный интеллект – это инновационная технология общего назначения, которая может применяться во многих областях, оказывая влияние на различные сферы цифрового общества. Искусственный интеллект может быть основан на технологии нейросетей или каких-то других математических/логических алгоритмов [9, 10].

Нейросеть в представленных исследованиях – компьютерный алгоритм. Он имитирует поведение человеческого мозга при обработке данных. Сталкиваясь с неизвестным предметом, нейросеть, как и человек, изучает его, делает выводы и использует полученную информацию в дальнейшем. Использование нейросетей – это один из вариантов создания самообучающихся программ (но не единственный). Генеративный искусственный интеллект (Generative Artificial Intelligence) – это метод машинного обучения, при котором нейросеть изучает массив данных (например, фотографии, видео или текст) на определенную тему. После этого нейросеть использует полученную информацию для создания аналогичного, но собственного контента.

Общее свойство используемых сервисов генеративных нейросетей – облегчение взаимодействия людей, обладающих разными ценностями, знаниями, склонностями.

Был определен первоначальный набор сервисов (табл.). Каждый блок в наборе – вид информации по форме представления (текстовая, графическая и т.д.). Например, в блоке «Текст в изображение» анализировались нейросети, «превращающие» текст в картинку. В подблоке «Нейросети для создания растровых изображений» были отобраны нейросети, которые генерируют изображения в формате «\*.jpeg» или «\*.png». Данный формат изображений использовался при публичных выступлениях студентов на презентациях. В подблоке «Нейросеть для создания графиков и диаграмм» – например, SheetsGPT, – сайт для коллективного общения и визуализации данных (от гистограмм до точечных диаграмм). Или это Graphy – инновационный онлайн-сервис, специально разработанный для удобного и быстрого создания графиков, диаграмм и других форм статистической визуализации данных. В блоке «Текст в 3D» были рассмотрены инструменты Spline AI.

К блоку «Текст в текст» были отнесены сервисы, выдающие на текстовый черновик осмысленные и структурно целостные фрагменты текста: MaxText, YandexGPT и др.; к блоку «Текст в код» – NiceBot, ChatInfo и др.

Таблица

## Вариант применения нейросетей в обучении агроинженеров

Table

## Variant of the use of neural networks in training agricultural engineers

Сервисы соответствующего блока <i>Services of the relevant block</i>	Представление информации <i>Presentation of information</i>	Пример взаимодействия с нейросетью <i>Example of interaction with a neural network</i>
MaxТекст, YandexGPT	Текстовая <i>Text</i>	Составить план ответа на вопрос, придумать оригинальное название, подобрать список книг <i>Drawing a plan to answer the question, coming up with an original title, making a list of references</i>
Gerwin, Kandinsky 2.1	Графическая <i>Graphic</i>	Выполнить модель будущего изобретения <i>Proposing a model algorithm of a future invention</i>
SheetsGPT, Graphy	Табличная <i>Table</i>	Автоматизировать расчеты и визуализировать <i>Automating and visualizing calculations</i>
NiceBot, ChatInfo	Код программы <i>Program code</i>	Представление решения задачи на языке программирования <i>Representing the problem solution in a programming language</i>
RIFFUSION, Soundraw	Звуковая <i>Sound</i>	Генерирует музыкальное сопровождение (например, на слайд) по ключевым словам <i>Generating background music (for example, to a slide) by keywords</i>

При выборе сайтов не ставился акцент на аналитической глубине или научной значимости. Те студенты, которые хотели узнать больше цифровых инструментов и их возможностей, могли самостоятельно изучить каждый сервис отдельно. Осуществление подобной интеллектуальной деятельности подчинено и достижению цели изучения дисциплины.

Целью освоения дисциплины «Информатика и цифровые технологии» является формирование у обучающихся компетенций, обеспечивающих способности:

- поиска и критического анализа информации, необходимой для решения поставленной задачи;
- рассмотрения возможных вариантов решения задачи с учетом их достоинств и недостатков;
- определения и оценки последствий возможных решений задач;
- применения информационно-коммуникационных и цифровых технологий и инструментов совместной работы (Word, Excel, PowerPoint, Google, Jamboard, Miro, Kahoot, Zoom, Google Meet, Pictochart др.) в решении типовых задач профессиональной деятельности;
- использования электронных информационно-аналитических ресурсов, в том числе профильных баз данных, программных и аппаратных комплексов, при сборе исходной информации, при разработке и реализации технологий транспортных процессов.

Включение генеративных нейросетей в информационное взаимодействие участников дидактического процесса по разделам (темам) дисциплины осуществлялось по вариантам. Например, в разделе

«Информатика и цифровые технологии» предлагались следующие варианты работы.

I. Вариант работы с сервисом по генерации названий: «Придумать название для технологии работы с электронными документами». Выбор сервиса – самостоятельный выбор каждого цифрового инженера.

Пример результата в сервисе ChatInfo: на русском языке – ЭлектроДок, ДокуТех, ДокСмарт, ЭлектроДоп, ПапкаТех, ДокуИннов; на английском языке – DocTech, ElecDoc, SmartFile, DocuInnov, FolderTech, eDocSolutions. Другой пример: для нейросети была поставлена задача написать сочинение «Компьютерная графика в агроинженерном деле». Некоторые из тезисов сервиса представлены ниже:

- возможность проектировать и вносить изменения в проекты уже на ранних стадиях их разработки;
- возможность наглядно представить заказчику или инвестору будущий объект;
- возможность просмотреть объект в трехмерном формате, с различными ракурсами и динамическими эффектами;
- возможность продемонстрировать интерьеры и рассмотреть освещение, отделку и мебель с точки зрения удобства и эстетики;
- возможность создания анимации и виртуальных прогулок по объекту, что позволяет оценить его в различных условиях освещения и времени суток, а также проникнуть в детали планировки и конструкции.

Далее эти возможности обсуждались на практическом занятии, и будущие инженеры получали задание: создать мультимедийную историю, обязательно включив в нее не менее трех своих примеров

о возможностях компьютерной графики в транспортном строительстве.

II. Вариант работы с сервисом по генерации трехмерных моделей: «Изучить функционал Spline AI». Это инструмент 3D-моделирования на основе искусственного интеллекта, который с помощью подсказок позволяет пользователям получать оригинальные объекты, анимацию и текстуры.

Полученные модели цифровые агроинженеры могли вставить в разработанный ранее мультимедийный проект или на перспективу для курсовой работы.

III. Вариант взаимодействия с сервисом ChatInfo по составлению списка литературы для дополнительного изучения по теме «Базы данных для агроинженерии»<sup>1</sup>. Сеть составила список из 15 источников во временном диапазоне от 2003 до 2017 гг., включив пособия под редакцией московского издательства «Университетские учебники».

IV. Вариант работы в сервисе по генерации диаграмм, графиков: «Каждый год численность населения увеличивается на 5%. Рассчитать численность населения на ближайшие 5 лет, если в текущем году она составляет 40000 человек». Решение, предлагаемое нейросетью, обязательно проверялось средствами технологии обработки электронных таблиц.

V. В разделе «Алгоритмизация и программирование» обучающимся предлагалось сверить свой код и решение, генерируемое нейросетью, например: «Дано натуральное число  $n$ . Вычислить  $n!$ !». Ответ от студента (в случае использования NiceBot, ChatInfo или др.) обязательно предполагал построение блок-схемы, ручную трассировку полученного программного кода/алгоритма.

VI. Пример комбинированного задания: «На официальном сайте Росстата<sup>2</sup> найти сведения по динамике показателя "Парк основных видов техники в сельскохозяйственных организациях"». Далее следует сохранить данные в виде базы (электронной таблицы); построить гистограмму изменения парка машин по годам, круговые диаграммы структуры составляющих парка на дату первого года и последнего года наблюдений; вычислить процентное соотношение

показателей; выполнить сортировку элементов базы по возрастанию, по убыванию; найти максимальный и минимальный элементы. Рекомендация: для актуализации знаний о соответствующем алгоритме использовать нейросеть.

Таким образом, при академической деятельности в каждой теме была предусмотрена работа с сервисами генеративных нейросетей.

Варианты информационного взаимодействия для подготовки к зачету:

1. При помощи нейросети составить план/конспект для ответа на вопрос (например, правила оформления списков литературы, действующие ГОСТ по библиографии).

2. Выполнить перевод текста технической статьи.

3. Разработать информационный ресурс «Этика при работе с нейросетями».

### Выводы

1. Появление цифровых инструментов, поддерживающих технологию искусственного интеллекта, подтверждает необходимость изменения современных методов и подходов к обучению агроинженеров, в том числе на уровне информационного взаимодействия с генеративными нейросетями. Преимущества включения нейросетей в инженерное образование – это повышение скорости и глубины обучения; возможность получать быстрый и интуитивный доступ к большому количеству технических данных и специализированных ресурсов; появление новых перспектив для перехода от массового образования к индивидуальному, способов поддержки осознанного понимания фундаментальных теоретических тем; поддержка принятия решений; обработка и интеллектуальный анализ данных из отдельных прикладных областей; научные исследования в агроинженерии.

2. Существует опасность применения нейросетей. Обыватель может потерять (атрофировать) навык отличать правду от неправды и выдавать вымышленные факты за реальные. В результате технический специалист может в практической ситуации получить от заказчика недостоверную информацию и сделать ошибочные расчеты (выводы).

3. Накопленный преподавателями цифровой школы опыт и совершенствование содержательного материала позволят в перспективе применять нейросети внутри различных дисциплин.

<sup>1</sup> Электронно-библиотечная система РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. URL: <http://www.library.timacad.ru/> (дата обращения: 20.12.2023).

<sup>2</sup> Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 20.12.2023).

## Список источников

1. Fiore U. Neural networks in the educational sector: Challenges and opportunities. *Balkan Region Conference on Engineering and Business Education*. 2019;1(1):332-337. <https://doi.org/10.2478/cplbu-2020-0039>
2. Лёвин Б.А., Пискунов А.А., Поляков В.Ю., Савин А.В. Применение искусственного интеллекта для транспортного строительства: инженерные и образовательные аспекты // *Мир транспорта*. 2022. № 20 (1). С. 74-79. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-9>
3. Soboleva E.V., Karavarv N.L. Characteristics of the Project-Based Teamwork in the Case of Developing a Smart Application in a Digital Educational Environment. *European Journal of Contemporary Education*. 2020;9(2):417-433. <https://doi.org/10.13187/ejced.2020.2.417>
4. Барabanова С.В., Кайбийянен А.А., Крайсман Н.В. Цифровизация инженерного образования в глобальном контексте (обзор международных конференций) // *Высшее образование в России*. 2019. Т. 28, № 1. С. 94-103. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2019-28-1-94-103>
5. Амиров Р.А., Билалова У.М. Перспективы внедрения технологий искусственного интеллекта в сфере высшего образования // *Управленческое консультирование*. 2020. № 3. С. 80-88. <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2020-3-80-88>
6. Елсакова Р.З. Персонализация электронного обучения студентов вуза на основе искусственного интеллекта: современное состояние проблемы // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование. Педагогические науки»*. 2023. Т. 15, № 4. С. 82-102. <https://doi.org/10.14529/ped230407>
7. Котлярова И.О. Технологии искусственного интеллекта в образовании // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование. Педагогические науки»*. 2022. Т. 14, № 3. С. 69-82. <https://doi.org/10.14529/ped220307>
8. Медведев А.В. Использование технологий искусственного интеллекта в сфере высшего образования // *Образование и педагогическая наука в XXI веке: теоретические и практические аспекты исследований: Сборник трудов IV Всероссийской межвузовской научно-практической конференции*. М.: Российский новый университет, 2022. С. 196-201. EDN: YNVUKP
9. Андрончев И.К., Соляник А.И. Нейронная сеть и чат-бот «Валера» для подготовки специалистов высшей квалификации // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2023. Т. 20, № 4. С. 1034-1039. <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2023-4-1034-1039>
10. McCarthy J. What is artificial intelligence? Computer Science Department Stanford University Stanford. 2007. P. 15.

## Информация об авторах

**Елена Владимировна Щедрина**<sup>1</sup>, канд. пед. наук, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования и инженерных расчетов; <http://orcid.org/0000-0002-4793-2441>; [shchedrina@rgau-msha.ru](mailto:shchedrina@rgau-msha.ru)

**Ольга Николаевна Ивашова**<sup>2</sup>, канд. с.-х. наук, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования и инженерных расчетов; <http://orcid.org/0000-0001-9206-9862>; [o.ivashova@rgau-msha.ru](mailto:o.ivashova@rgau-msha.ru)

<sup>1,2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 27.02.2024, после рецензирования и доработки 26.06.2024; принята к публикации 26.06.2024

## References

1. Fiore U. Neural networks in the educational sector: Challenges and opportunities. *Balkan Region Conference on Engineering and Business Education*. 2019;1(1):332-337. <https://doi.org/10.2478/cplbu-2020-0039>
2. Lyovin B.A., Piskunov A.A., Poliakov V. Yu., Savin A.V. Application of artificial intelligence in transport construction: Engineering and educational aspects. *World of Transport and Transportation*. 2022;20(1):74-79. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-9> (In Russ.)
3. Soboleva E.V., Karavarv N.L. Characteristics of the Project-Based Teamwork in the Case of Developing a Smart Application in a Digital Educational Environment. *European Journal of Contemporary Education*. 2020;9(2):417-433. <https://doi.org/10.13187/ejced.2020.2.417>
4. Barabanova S.V. Kaybiyaynen, A.A. Kraysman, N.V. Digitalization of education in the global context. *Vysshee Obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. 2019;28(1) 94-103. (In Russ.) <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2019-28-1-94-103>
5. Amirov R.A., Bilalova U.M. Prospects for the introduction of artificial intelligence technologies in higher education. *Administrative Consulting*. 2020;(3):80-88. (In Russ.) <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2020-3-80-88>
6. Elsakova R.Z. AI-based personalized e-learning of university students: current state of the problem. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Education. Educational Sciences*. 2023;15(4):82-102. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/ped230407>
7. Kotlyarova I.O. Artificial intelligence technologies in education. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Education. Educational Sciences*. 2022;14(3):69-82. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/ped220307>
8. Medvedev A.V. The use of artificial intelligence technologies in higher Education. *Conference proceedings. Education and Pedagogical Science in the 21st Century: Theoretical and practical aspects of research*, 2022. Pp. 196-201. (in Russ.)
9. Андрончев И. К., Соляник А.И. Neural network and chatbot “Valera” for advanced specialist training. *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023;20(4):1033-1038. (In Russ.) <https://doi.org/10.20295/1815-588X-2023-4-1033-1038>
10. McCarthy J. What is artificial intelligence? Computer Science Department Stanford University Stanford. 2007. 15 p.

## Author Information

**Elena V. Shchedrina**<sup>1</sup>, CSc (Ped), Associate Professor, the Department of Computer-Aided Design and Engineering Calculations; <http://orcid.org/0000-0002-4793-2441>; [shchedrina@rgau-msha.ru](mailto:shchedrina@rgau-msha.ru)

**Olga N. Ivashova**<sup>2</sup>, CSc (Ag), Associate Professor, the Department of Computer-Aided Design and Engineering Calculations, <http://orcid.org/0000-0001-9206-9862>; [o.ivashova@rgau-msha.ru](mailto:o.ivashova@rgau-msha.ru)

<sup>1,2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127434, Russian Federation

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper and are equally responsible for plagiarism.

Received 27.02.2024; Revised 26.06.2024; Accepted 26.06.2024

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 378.14.015.62

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-81-88>

## Формирование готовности студентов аграрного вуза к организации проектно-исследовательской деятельности

*А.Н. Волкова<sup>1</sup>, Е.Н. Козленкова<sup>2</sup>*<sup>1,2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия<sup>1</sup> [volkova8an@yandex.ru](mailto:volkova8an@yandex.ru); <http://orcid.org/0009-0002-6212-7552><sup>2</sup> [kozlenkova28@mail.ru](mailto:kozlenkova28@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0001-8230-5200>

**Аннотация.** Подготовка специалистов для высокотехнологичного агропроизводства, способных применять проектные технологии для решения профессиональных задач, требует педагогических кадров, обеспечивающих их образовательный процесс. Использование методов проектного и исследовательского обучения позволяет создать условия для получения студентами начального профессионального опыта, сформировать необходимые общие и профессиональные компетенции, а также способствует их профессиональному самоопределению. Сформированная у педагога готовность организовывать проектно-исследовательскую деятельность обучающихся обеспечивает качество образования. Цель исследований – выявление и обоснование педагогических условий для формирования готовности педагогов профессионального обучения к организации проектно-исследовательской деятельности обучающихся. Анализировались теоретические и практические аспекты решения проблемы формирования готовности педагогов к организации проектно-исследовательской деятельности. В исследованиях приняли участие 246 студентов Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Исследования предполагали выявление степени готовности студентов (будущих педагогов профессионального обучения) к организации проектно-исследовательской деятельности, а также поиск и проверку решений по формированию этой готовности. Целенаправленная организация комплекса мер по освоению студентами необходимых знаний, умений и навыков, приобретению ими опыта проектно-исследовательской деятельности, развитию необходимых личностных качеств обеспечивает в целом формирование готовности к организации данной деятельности на оптимальном уровне. Результаты исследований показали, что создание практико-ориентированной среды, насыщенной проектными заданиями, и целенаправленное формирование готовности будущих педагогов профессионального обучения к организации проектно-исследовательской деятельности в рамках дисциплины «Организация проектного обучения» доказали свою эффективность.

**Ключевые слова:** проектно-исследовательская деятельность, умения, организация проектно-исследовательской деятельности, формирование готовности, готовность, профессиональное обучение, педагог

**Для цитирования:** Волкова А.Н., Козленкова Е.Н. Формирование готовности студентов аграрного вуза к организации проектно-исследовательской деятельности // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 4. С. 81-88. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-81-88>

ORIGINAL PAPER

## Enhancing the readiness of agricultural university students to organize project and research activities

*A.N. Volkova<sup>1</sup>, E.N. Kozlenkova<sup>2</sup>*<sup>1,2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia<sup>1</sup> [volkova8an@yandex.ru](mailto:volkova8an@yandex.ru); <http://orcid.org/0009-0002-6212-7552><sup>2</sup> [kozlenkova28@mail.ru](mailto:kozlenkova28@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0001-8230-5200>

**Abstract.** The take of training specialists for high-tech agro-production, who are capable of applying project technologies to solve professional problems, requires qualified teaching staff. The use of project and research teaching methods provides conditions for students to gain initial professional experience, develop the necessary general and professional competencies, as well as contributes to their professional self-determination. The teacher's readiness to organize project-based research activities of students ensures the quality of education.

The aim of the study is to identify and justify pedagogical conditions for enhancing teachers' readiness to organize students' project-based research activities. The authors analyzed theoretical and practical aspects of solving the problem of enhancing teachers' readiness to organize project-research activity. The study involved 246 students of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. The goal was to identify the degree of the readiness of future vocational training teachers to organize project-research activities, as well as to find and test solutions to enhance this readiness. Purposeful designing the procedures facilitating the mastery of the necessary knowledge, skills and abilities, the acquisition of the experience of project-based research activity, to development of the necessary personal qualities will contribute to achieving the set goal – enhancing the readiness to organize this activity at the optimal level. The research results have shown that the designed practice-oriented environment with multiple project tasks enhancing the readiness of future vocational training teachers to organize project-based research activities within the course of “Organization of Project-Based Training” proved to be effective.

**Keywords:** project-based research activity, skills, organization of project-based research activities, enhancing readiness, readiness, vocational training, teacher

**For citation:** Volkova A.N., Kozlenkova E.N. Enhancing the readiness of agricultural university students to organize project and research activities. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(4):81-88. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-4-81-88>

### Введение

Подготовка современного педагога должна носить опережающий характер и отражать запросы общества относительно специалистов, которых ему придется обучать. Требования рынка труда определяются характером решаемых профессиональных задач. Основные запросы общества относительно эффективного работника практически в любой профессиональной сфере заключаются в требованиях наличия у него умений решать задачи в кооперации с другими специалистами, выходить за рамки своей профессиональной компетенции, организовывать свою деятельность как проектную, использовать современные цифровые средства труда, быть готовым повышать свою квалификацию на протяжении всей трудовой деятельности [1]. Все это требует высокого уровня самоорганизации, использования творческого подхода к решению задач и хорошо развитых способностей по анализу, обработке и представлению информации. Обеспечение развития подобных компетенций возможно посредством реализации образовательного процесса с позиций практико-ориентированного, лично-ориентированного и деятельностного подходов, которые в комплексе реализуются при применении методов проектного и исследовательского обучения [2].

В ответ на запросы общества по подготовке современных специалистов в федеральные государственные образовательные стандарты на всех уровнях образования введено требование использовать методы проектного и исследовательского обучения в качестве средства формирования как общих и универсальных, так и профессиональных компетенций [3].

Таким образом, проектно-исследовательская деятельность внедряется на всех уровнях современного образовательного процесса и является обязательным условием обеспечения качества обучения. Поэтому педагог должен уметь организовать и сопровождать проектную и исследовательскую работу обучающихся. Требуется наличие у педагогов необходимых компетенций, которые должны формироваться в процессе профессиональной подготовки.

Особенно значимым данный процесс становится в области подготовки педагогов профессионального обучения для системы среднего профессионального и высшего агрообразования. Решение учебно-профессиональных задач посредством проектно-исследовательской деятельности позволяет студентам сельскохозяйственных направлений подготовки приобрести практический опыт, необходимый для будущей профессиональной деятельности, а также способствует их профессиональному самоопределению в интересах сельского хозяйства, расширению представлений о современном агропроизводстве и стратегических задачах, решаемых специалистами на рабочем месте. Актуальной является задача формирования у будущих педагогов профессионального обучения готовности и способности осуществлять организацию проектно-исследовательской деятельности обучающихся в условиях освоения последними профессии.

**Цель исследований:** выявление и обоснование педагогических условий формирования готовности педагогов профессионального обучения к организации проектно-исследовательской деятельности обучающихся.

## Материалы и методы

Осуществлен анализ психолого-педагогической литературы, нормативных документов по проблеме формирования готовности педагогов к проектно-исследовательской деятельности. Проведено исследование уровня подготовленности будущих педагогов профессионального обучения, которых готовит аграрный вуз, к руководству проектно-исследовательской работой обучающихся. В основу методологии исследований положены системно-деятельностный, компетентностный и личностно-ориентированный подходы. Исследования, в которых приняли участие 246 студентов, проводились в Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К.А. Тимирязева.

## Результаты и их обсуждение

Образовательный процесс подготовки специалистов наряду с разнообразными педагогическими технологиями, методами и способами, обеспечивающими эффективное формирование необходимых для решения профессиональных задач компетенций, предполагает решение учебно-профессиональных задач посредством проектно-исследовательской деятельности.

Анализ психолого-педагогической литературы позволяет утверждать, что вопрос применения проектного и исследовательского обучения разработан в педагогической науке достаточно детально. Как проектная, так и исследовательская деятельность применительно к образовательному процессу рассматривается как самостоятельный вид деятельности, освоить который обучающиеся могут не стихийно, а только в процессе специально организованного обучения<sup>1</sup> [3].

Применительно к профессиональному образованию целесообразно говорить о проектно-исследовательской деятельности. С.А. Новоселов и Т.В. Зверева определяют проектно-исследовательскую деятельность как вид учебно-познавательной деятельности, интегрирующий в себе компоненты проектной и исследовательской деятельности. При этом ведущей выступает деятельность по проектированию учебных, квазипрофессиональных и профессиональных объектов, каждый этап которого сопровождается исследованием, самостоятельным поиском субъективно и объективно новых знаний как об объекте проектирования, так и о способах решения проектных задач [4].

<sup>1</sup> Матяш Н.В. Инновационные педагогические технологии. Проектное обучение: Учебное пособие для студентов учреждений высшего образования. 4-е изд. М.: Академия, 2016. 160 с. EDN: GJLMSH

Учебно-профессиональные задачи предполагают, с одной стороны, проектирование и конструирование, разработку практических решений поставленной перед студентами проблемы. С другой стороны, полученный результат должен быть следствием изучения опыта решения поставленной проблемы, анализа теории и практики проблемного поля соответствующей области научного знания. Поэтому педагог достигает положительного эффекта, организуя именно проектно-исследовательскую деятельность обучающихся<sup>2</sup>. Такая деятельность обладает мощным образовательным потенциалом, обеспечивая реализацию дидактических и развивающих целей.

В ходе осуществления проектно-исследовательской деятельности у обучающихся формируются следующие группы универсальных учебных действий: познавательные (анализ информации, наблюдение, творческое мышление); информационно-речевые (поиск и обмен информацией, ее представление, обоснование выводов); регулятивные (планирование и контроль своей деятельности, презентация ее результатов). Также обучающиеся приобретают позитивный опыт проектирования и исследовательской работы, решения поставленных задач в кооперации с другими обучающимися, педагогами и специалистами [5, 6].

Сочетание проектирования и исследования позволяет глубже погрузить обучающегося в изучаемую проблему и выработать обоснованные, в том числе на основании результатов проведенных теоретических и эмпирических исследований, решения разрабатываемой проблемы. Проектное задание быть и исследовательским по своим задачам, и содержать элементы исследовательской деятельности в качестве одной из задач проектирования. Организация проектно-исследовательской деятельности обучающихся обладает рядом преимуществ перед использованием только проектного или исследовательского метода обучения. У обучающихся формируется представление о передовых достижениях современной науки и практики, актуальных проблемах общества; реализуются интересы и происходит обогащение познаний студентов в отдельных областях науки; развиваются исследовательские и проектно-конструкторские умения; приобретается опыт начальной профессиональной деятельности, профессионального самоопределения; формируются надпрофессиональные компетенции (навыки и личные качества, которые повышают эффективность взаимодействия с другими людьми) [7].

<sup>2</sup> Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять проектами: Учебное пособие. Серия «Информатизация России на пороге XXI века». М., 1997. 188 с. EDN: PFGVGL

Проектно-исследовательская деятельность обучающихся является сложным комплексным образованием, предполагающим наличие множества умений, обеспечивающих достижения результата проектирования. Следовательно, на педагога возлагается задача не просто грамотно организовать эту деятельность, но и содействовать развитию у обучающихся необходимых умений, способствовать формированию положительной мотивации и обеспечивать самостоятельную работу: от постановки проблемы до представления результатов ее решения. Все это требует достаточного уровня готовности педагога к данной деятельности как неотъемлемой профессиональной части.

Готовность будущего педагога к профессиональной, в том числе к проектно-исследовательской деятельности, имеет сложную структуру и включает в себя мотивационно-целевой, когнитивный, функционально-действенный и контрольно-оценочный компоненты<sup>3</sup>. Каждый из перечисленных компонентов раскрывается в рамках трех аспектов готовности: теоретический (знание на достаточном уровне теоретических основ проектно-исследовательской деятельности, владение основными способами работы); практический (владение конкретными методами и методиками работы, опыт работы); личностный (сформированность профессионально важных качеств личности педагога). Соответственно определение степени готовности будущих педагогов профессионального обучения к организации проектно-исследовательской деятельности осуществляется исходя из сформированности составляющих ее компонентов [8].

Анализ состава умений, которые необходимы субъекту проектно-исследовательской деятельности,

а также педагогу, организующему ее в образовательных целях, позволил выделить 7 групп умений: рефлексивные; поисковые; умения оценочной самостоятельности; умения командной работы; организационные; коммуникативные; презентационные<sup>4</sup>.

В целях выявления степени развития умений осуществлять и организовывать проектно-исследовательскую деятельность было спланировано и проведено исследование, в котором приняли участие 246 студентов РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (студенты 1-4 курсов направления подготовки 44.03.04 «Профессиональное обучение (по отраслям)»), а также студенты колледжа – будущие педагоги дополнительного образования).

Умения, представленные в таких группах, как работа с информацией, организация собственной деятельности, анализ деятельности и ее результатов, работа в команде, оценивались по 7-балльной шкале (табл.).

По результатам оценок студентов были получены данные, позволяющие сделать вывод о среднем уровне развития проектно-исследовательских умений. Этого недостаточно для осуществления данной деятельности в рамках педагогической работы. В то же время полученные результаты свидетельствуют о положительной динамике в оценке развития умений у студентов от курса к курсу. Студенты-первокурсники отметили, что из всех групп умений у них лучше развиты умения работы с информацией (5,8) и работы в команде (6,0). Это объясняется наличием у них опыта участия в проектной деятельности еще до обучения в вузе. В наименьшей степени студенты отметили, что у них развиты такие умения, как анализ деятельности и ее

Таблица

#### Оценка умений проектно-исследовательской деятельности

Table

#### Assessment of the skills related to project-based research activities

№	Группы умений <i>Skill categories</i>	Баллы (от 1 до 7), среднее значение / <i>Scores (from 1 to 7), average value</i>				
		Студенты колледжа <i>College students</i>	Студенты вуза, курс / <i>University students, year</i>			
			1	2	3	4
1.	<b>Работа с информацией</b> / <i>Information processing</i>	4,9	5,8	5,6	5,7	6,1
2.	<b>Организация собственной деятельности</b> <i>Organizing independent activity</i>	4,6	5,2	4,8	5,2	5,4
3.	<b>Анализ деятельности и ее результатов</b> <i>Analyzing independent activity and its outcomes</i>	4,7	5,4	5,0	5,4	5,5
4.	<b>Работа в команде</b> / <i>Teamwork</i>	5,3	6,0	5,8	5,8	6,2

<sup>3</sup>Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования: учебное пособие. 4-е изд. М.: Ленанд, 2017. 272 с. EDN: WIWSZA

<sup>4</sup>Мокрецова Л.А., Швец Н.А. Управление разработкой и реализацией студенческих международных телекоммуникационных проектов: теория и практика: монография. М.: ООО Издательство «Спутник+», 2011. 195 с. EDN: SDGSMR

результатов (5,4) и организация собственной деятельности (5,2). Студенты второго курса оценили свои умения ниже, чем студенты первого курса. Это может быть связано с приобретением нового опыта проектной деятельности в вузе и с корректировкой своих представлений в соответствии с уровнем предъявляемых к их работам требований. У студентов четвертого курса отмечена положительная динамика в оценке своих умений. При этом сохраняется тенденция оценки студентами умений работы с информацией (6,1) и работы в команде (6,2) выше, чем умений по анализу деятельности и ее результатов (5,5), а также по организации собственной деятельности (5,4). Студенты колледжа оценили уровень своих умений в целом ниже, чем студенты вуза.

Студентам было предложено оценить влияние проектно-исследовательской деятельности на их профессиональное становление. Результаты показали положительную динамику в сторону значимости данной деятельности. Если примерно 2/3 студентов младших курсов (68%) оценивали участие в проектной деятельности как важное, то студенты уже четвертого курса в подавляющем большинстве (81%) оценивали данную деятельность как очень важную для своего профессионального самоопределения и становления.

Анализ трудностей, которые студенты выделяли как значимые для них в проектно-исследовательской деятельности, показал, что основные трудности связаны с организацией деятельности и ее осуществлением (неумение осуществлять поиск и работу с информацией – 44 выбора; низкий уровень самостоятельности, самоорганизованности – 25 выборов; неумение осуществлять коммуникацию – 22 выбора; нехватка времени, неумение презентовать результаты своей работы, низкая мотивация, затрудненность в выборе актуальной темы, проблемы – 15...18 выборов).

Полученные результаты позволили констатировать, что будущие педагоги осознают важность и значимость проектно-исследовательской деятельности для их профессионального развития, но в то же время наблюдается плохо сформированное представление о роли педагога в организации работы обучающихся, содержании его деятельности и требованиях к уровню подготовки. Все это актуализирует проблему подготовленности педагогов к обеспечению профессионального становления и развития студентов средствами проектно-исследовательской деятельности, то есть проблему формирования готовности педагога к ее осуществлению.

Для решения данной задачи была осуществлена разработка комплекса мер по целенаправленному

формированию готовности будущих педагогов профессионального обучения к организации проектно-исследовательской деятельности. Процесс формирования готовности был спланирован и содержательно определен исходя из наполнения мотивационно-целевым, когнитивным, функционально-деятельным и контрольно-оценочным компонентами. Уровень сформированности каждого компонента оценивается в трех аспектах готовности: теоретическом (знание теоретических и методологических основ проектно-исследовательской деятельности); практическом (готовность и способность студентов к самостоятельным действиям по осуществлению и организации проектно-исследовательской деятельности); личностном (формирование профессионально-важных качеств личности будущих педагогов).

Важными условиями формирования готовности педагогов к организации проектно-исследовательской деятельности являются обеспечение поэтапного процесса формирования готовности, актуализация личной и профессиональной позиции педагога профессионального обучения по отношению к организации проектно-исследовательской деятельности, создание практико-ориентированной образовательной среды и обеспечение проектно-исследовательской активности студентов, мониторинг формирования готовности.

Проектно-исследовательская активность студентов осуществлялась путем насыщения образовательного процесса проектными заданиями (использование проектного обучения в ходе изучения психолого-педагогических дисциплин), а также путем включения проектных заданий в цикл учебных и производственных практик. Приобретение опыта организации проектной деятельности обеспечивалось путем наставничества и руководства участниками профориентационных дополнительных образовательных программ, реализуемых в Центре технологической поддержки образования РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Целенаправленное формирование готовности осуществлялось средствами дисциплины «Организация проектного обучения». Целью дисциплины является формирование у студентов представления об организации проектного обучения обучающихся включая разработку методики и способов реализации проектного обучения в образовательном процессе. Данная дисциплина включена в часть учебного плана, формируемую участниками образовательных отношений, по направлению подготовки 44.03.04 – Профессиональное обучение (по отраслям). Содержание дисциплины предполагает изучение теоретических основ организации проектно-исследовательской

деятельности, этапов проектной деятельности и методики организации работы с обучающимися включая их консультирование, корректировку, оценку и содействие развитию личности.

В ходе освоения дисциплины студенты приобретают опыт участия в организации проектно-исследовательской деятельности: в роли проектанта осваивают проектно-исследовательскую деятельность в рамках изучения дисциплины, умеют создавать специфический продукт проектной деятельности; в роли наставников получают опыт консультирования по проектированию, умеют проектировать и реализовывать образовательные программы с использованием проектно-исследовательской деятельности с учетом специфики предметной области; в роли руководителей применяют практические и предметно-методические умения в процессе руководства проектно-исследовательской деятельностью, умеют организовывать самостоятельную проектно-исследовательскую деятельность обучающихся.

Мониторинг формирования у студентов готовности к организации проектно-исследовательской деятельности осуществлялся в соответствии с оценкой сформированности теоретического, практического и личностного аспектов компонентов готовности по следующим трем уровням:

– недостаточный, предполагающий необходимость восполнения знаний для осуществления данной деятельности, частичное формирование необходимых умений;

– достаточный, предполагающий освоение содержания теоретического материала и прохождение практической подготовки студентом, формирование необходимых умений на среднем уровне;

– оптимальный – освоение содержания теоретического материала и прохождение практической подготовки студентом на высоком качественном уровне, формирование необходимых умений на уровне выше среднего.

Оценка формирования готовности студентов к организации проектно-исследовательской деятельности в ходе освоения дисциплины «Организация проектного обучения» осуществлялась в сравнении с экспериментальной (67 студентов) и контрольной (45 студентов) группами.

В соответствии с критериями оценки формирования готовности, помимо оценки учебных достижений по итогам освоения дисциплины, студентам контрольной и экспериментальной групп было предложено оценить сформированность у себя умений, важных для успешного проектирования, до участия в проектно-исследовательской деятельности и после него (оценивались по 7-балльной шкале).

Полученные результаты анализировались с применением методов математической статистики. Для оценки значимости полученных результатов до экспериментального обучения и после него использовался непараметрический критерий Вилкоксона.

Умения, оцениваемые студентами, были объединены в 3 группы:

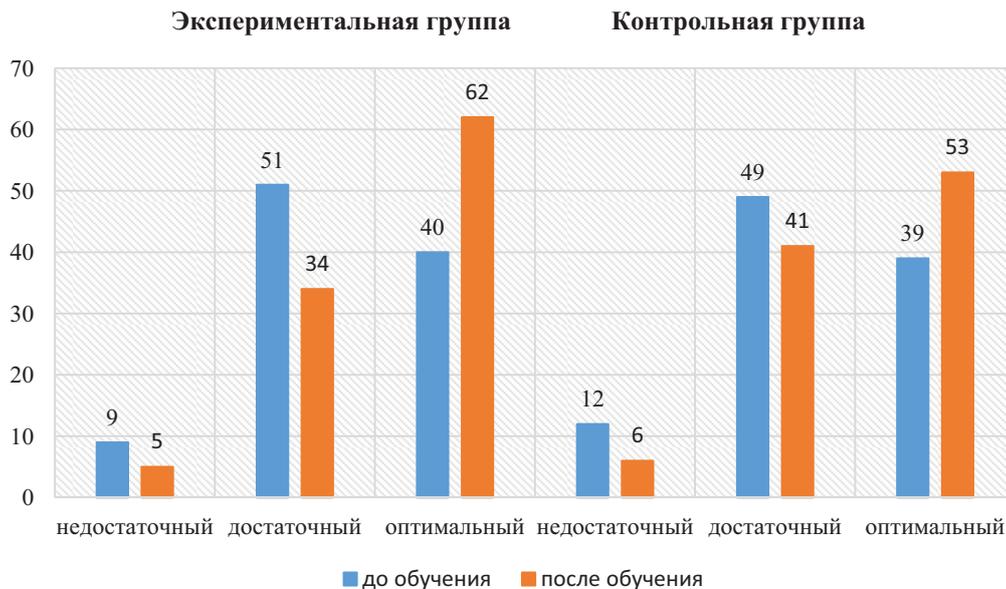
- умения проектно-исследовательской работы;
- мотивы и установки в проектно-исследовательской деятельности;
- умения организации проектно-исследовательской деятельности.

По результатам статистического анализа данных (на уровне достоверности результатов 0,01) получены значимые положительные изменения по выделенным умениям (всего 28 умений в двух группах) и мотивам (10) в экспериментальной группе. При этом значимые изменения в контрольной группе присутствуют в минимальной степени. Выявлены статистически значимая положительная динамика по 21 умению из 28 и по двум мотивам (ответственность за результаты проекта и представление результата) у экспериментальной группы и 6 значимых различий (из 28 умений) в положительной динамике прироста умений и повышения значимости одного мотива (руководить работой других людей) у контрольной группы. Это свидетельствует о наличии значимого положительного эффекта целенаправленного формирования готовности студентов к организации проектно-исследовательской деятельности.

Данные о динамике уровня сформированности готовности представлены на рисунке.

Из данных рисунка следует тенденция роста уровня готовности к организации проектно-исследовательской деятельности в экспериментальной группе по сравнению с контрольной. До начала экспериментального обучения у студентов (составляющих невысокий процент) готовность сформирована на недостаточном уровне, причем в контрольной группе таких обучающихся больше.

После прохождения обучения процентное соотношение студентов перераспределилось по уровням готовности. В экспериментальной группе наблюдается значительный прирост за счет увеличения количества студентов, у которых готовность сформирована на оптимальном уровне, что также значительно отличается по показателям от контрольной группы. Динамика в сторону увеличения студентов контрольной группы с достаточным и оптимальным уровнями готовности объясняется наличием у них опыта включения в проектную деятельность, однако значимые различия в положительной динамике прироста умений (особенно в группе умений организации



**Рис. Уровень сформированности готовности студентов к организации проектно-исследовательской деятельности**

**Fig. Level of enhancing students' readiness to organize project-based research activities (control and experimental groups)**

проектно-исследовательской деятельности) у них не наблюдаются. Создание практико-ориентированной среды, насыщенной проектными заданиями, и целенаправленное формирование готовности будущих педагогов профессионального обучения к организации проектно-исследовательской деятельности в рамках дисциплины «Организация проектного обучения» доказали свою эффективность, что подкрепляется результатами проведенных исследований.

### Выводы

Внедрение проектного и исследовательского обучения в практику подготовки студентов среднего профессионального и высшего образования обеспечивает ее практикоориентированность. Это дает возможность студентам в максимально приближенных к реальной профессиональной деятельности условиях получить опыт решения учебно-профессиональных задач. Проектно-исследовательская деятельность

способствует развитию общих и профессиональных компетенций, формирует у будущего специалиста проектное мышление и умения, необходимые для современного агропроизводства, требующего от профессионала перехода от практической деятельности к управлению сложными высокотехнологичными сельскохозяйственными процессами.

Реализация проектного подхода в образовании требует от педагога формирования соответствующих компетенций, которые не могут быть в полной мере сформированы при освоении традиционно сложившейся образовательной программы. Включение в образовательный процесс (при изучении дисциплин и при прохождении практик) элементов проектно-исследовательской деятельности, а также целенаправленное формирование готовности к ней обеспечивают подготовку педагогических кадров, способных к обучению специалистов в соответствии с запросами общества.

### Список источников

1. Чистякова С.Н. Практика построения профессиональной карьеры будущего выпускника вуза // Профессиональное образование. Столица. 2019. № 6. С. 14-17. EDN: TDVXYO
2. Маркова С.М., Уракова Е.А. Пути развития профессионального образования в современных условиях // Проблемы современного педагогического образования. 2023. № 79-3. С. 171-174. EDN: VMIIAC
3. Ипполитова Н.В., Стерхова Н.С. Анализ понятия «Исследовательская деятельность студентов педагогического вуза» // Дискуссия. 2016. № 8 (71). С. 112-120. EDN: UTTZGJ
4. Новоселов С.А., Зверева Т.В. Феномен проектно-исследовательской деятельности в образовательном процессе // Педагогическое образование. 2009. № 3. С. 38-42. EDN: KWUSNV

### References

1. Chistyakova S.N. Practical implications of building a professional career for a future university graduate. *Professionalnoe obrazovanie. Stolitsa*. 2019;6:14-17. (In Russ.)
2. Markova S.M., Urakova E.A. Ways of development of vocational education in modern conditions. *Problemy sovremennoogo pedagogicheskogo obrazovaniya*. 2023;79-3:171-174. (In Russ.)
3. Ippolitova N.V., Sterxova N.S. The notion's analysis of "Research activity of pedagogical university's students". *Discussion*. 2016;8(71):112-120. (In Russ.)
4. Novoselov S.A., Zvereva T.V. The phenomenon of the project-research activity in the educational process. *Pedagogicheskoe Obrazovanie = Pedagogical Education*. 2009;3:38-42. (In Russ.)

5. Князева О.Г. Проектно-исследовательская деятельность как одно из условий развития личности обучающегося на занятиях и во внеурочной деятельности // Вестник ТОГИРПО. 2019. № 1 (42). С. 84-85. EDN: JKXNHP

6. Кузнецова Т.В. Проектно-исследовательская деятельность как образовательный ресурс для учащихся и педагогов // Начальное образование. 2011. № 3. С. 46-51. EDN: NXMAUB

7. Маркова С.М., Горлова В.Г. Проектировочная деятельность педагога как творческий процесс // Вестник Мининского университета. 2014. № 3 (7). С. 19. EDN: TAEUGP

8. Трегубова Е.Д., Савва Л.И., Лешер О.В. Формирование готовности педагога среднего профессионального образования к проектной деятельности: теоретико-экспериментальный аспект // Мир науки. Педагогика и психология. 2020. Т. 8, № 3. С. 39. EDN: VQNMNK

5. Knyazeva O.G. Design and research activities as one of the conditions for the development of the student's personality in the classroom and in extracurricular activities. *Vestnik TOGIPPO*. 2019;1(42):84-85. (In Russ.)

6. Kuznetsova T.V. Project-research activity as an educational resource for students and pedagogues. *Nachalnoe Obrazovanie = Primary Education*. 2011;3:46-51. (In Russ.)

7. Markova S.M., Gorlova V.G. Designing activity of teachers as a creative process. *Vestnik of Minin University*. 2014;3(7):19.

8. Tregubova E.D., Savva L.I., Leshch O.V. Development of a secondary vocational education teacher readiness to project activities: theoretical and experimental aspects. *Mir Nauki. Pedagogika i Psikhologiya = World of Science. Pedagogy and psychology*. 2020;8(3):39. (In Russ.)

#### Информация об авторах

**Анастасия Никитична Волкова<sup>1</sup>**, аспирант;

volkova8an@yandex.ru;

<http://orcid.org/0009-0002-6212-7552>

**Елена Николаевна Козленкова<sup>2</sup>**, канд. пед. наук, доцент;

kozlenkova28@mail.ru;

<http://orcid.org/0000-0001-8230-5200>

<sup>1,2</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

#### Author Information

**Anastasiya N. Volkova<sup>1</sup>**, postgraduate student;

volkova8an@yandex.ru;

<http://orcid.org/0009-0002-6212-7552>

**Elena N. Kozlenkova<sup>2</sup>**, CSc (Ed), Associate Professor;

kozlenkova28@mail.ru;

<http://orcid.org/0000-0001-8230-5200>

<sup>1,2</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

Статья поступила 13.05.2024, после рецензирования и доработки – 26.06.2024; принята к публикации 27.06.2024

Received 13.05.2024; Revised 26.06.2024; Accepted 27.06.2024