



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

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научный журнал

Том 27. № 4 / 2025

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

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

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

Основан в 2003 году

Периодичность: 6 номеров в год

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

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

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

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

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

Подписано в печать 11.07.2025
Формат 60 84/8
Тираж 500 экз.

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2025

Главный научный редактор

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

Заместитель главного научного редактора:

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

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>, oleonov@rgau-msha.ru

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

Члены редакционного совета:

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

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

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

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

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

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

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

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

Сергей Павлович Казанцев, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов и деталей машин, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Россия), kazansev@rgau-msha.ru

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

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

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

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

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

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

Владимир Федорович Сторчевой, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Теоретическая электротехника», Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (г. Москва, Россия), <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>, v.storcheyov@rgau-msha.ru

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

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

Иностранные члены редакционного совета:

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

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

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

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

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

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



Founder and Publisher:

**Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy**

Address of Founder and Publisher:

49, Timiryazevskaya str., Moscow,
127434, Russian Federation

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

Founded in 2003

Publication Frequency:

Bimonthly

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

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

EXECUTIVE EDITORS:

I.V. Melnikova
V.I. Markovskaya
A.S. Lavrova
A.Yu. Alipichev

Editors' office address:

58, Timiryazevskaya str., Moscow,
127434, Russian Federation
Tel.: +7 (499) 976-07-27;
E-mail: agroeng@rgau-msha.ru
<https://agroengineering.timacad.ru/jour/index>

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

Passed for printing 11.07.2025

Format – 60 84/8

Circulation – 500 copies.

© Federal State Budgetary Establishment
of Higher Education – Russian State
Agrarian University – Moscow Timiryazev
Agricultural Academy, 2025

Science Editor-in-Chief

Mikhail N. Erokhin, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor of the Department of Resistance of Materials and Machine Parts, Russian Timiryazev State Agrarian University, (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>, n.erohin@rgau-msha.ru

Deputy Science Editor-In-Chief:

Aleksei S. Dorokhov, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor, Director Deputy for Science and Organizational Work, Federal State Budgetary Research Institution – Federal Scientific Agroengineering Center (VIM) (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>, dorokhov.vim@yandex.ru

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>, oleonov@rgau-msha.ru

Petr F. Kubrushko, Corresponding Member of the Russian Academy of Education, DSc (Ed), Deputy Scientific Editor-in-Chief, Head of the Department of Pedagogy and Psychology of Professional Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-2142-1037>, kubrushko@rgau-msha.ru

Members of the Editorial Board:

Nikolay V. Aldoshin, DSc (Eng), Professor, Federal State Budgetary Research Institution – Federal Scientific Agroengineering Center (VIM) (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>, aldoshin@rgau-msha.ru

Aleksei Yu. Alipichev, PhD (Ed), Associate Professor, Department of Foreign and Russian Languages, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-8000-4532>, alipichev@rgau-msha.ru

Aleksei S. Apatenko, DSc (Eng), Associate Professor, Head of the Department of Technical Service of Machinery and Equipment, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-2492-9274>, a.apatenko@rgau-msha.ru

Viktor I. Balabanov, DSc (Eng), Professor, Head, Department of Irrigation and Construction Machinery, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-6486-6485>, vbabanov@rgau-msha.ru

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

Sergey N. Devyanin, DSc (Eng), Professor, Professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-6776-0432>, s.devyanin@rgau-msha.ru

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

Ivan Yu. Ignatkin, DSc (Eng), Associate Professor, Professor, Department of Strength of Materials and Machine Parts, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0003-4867-1973>, ignatkin@rgau-msha.ru

Sergey P. Kazantsev, DSc (Eng), Professor, Head of the Department of Strength of Materials and Machine Parts, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), kazansev@rgau-msha.ru

Tamara P. Kobozeva, DSc (Ag), Professor, Federal State Budgetary Research Institution – Federal Scientific Agroengineering Center (VIM) (Moscow, Russia), tkobozeva@rgau-msha.ru

Aleksei I. Kupreenko, DSc (Eng), Professor, Department of Technological Equipment of Animal Husbandry and Processing Industries, Bryansk State Agrarian University (Kokino, Bryansk region, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>, kupreenkoai@mail.ru

Aleksandr G. Levshin, DSc (Eng), Professor, Head of the Department of Machinery and Tractor Operation and High Technologies in Plant Cultivation, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-8010-4448>, alevshin@rgau-msha.ru

Liudmila I. Nazarova, PhD (Ed), Associate professor, Department of Pedagogy and Psychology of Professional Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-5698-6284>, nazarova@rgau-msha.ru

Aleksandr G. Pastukhov, DSc (Eng), Professor, Professor of Technical Mechanics and Machine Design, Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin, Russia. (Mayskiy, Belgorod region, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-8249-8970>, pastukhov_ag@mail.ru

Irena V. Robert, Full Member of the Russian Academy of Education, DSc (Ed), Professor, Chief Research Associate, the Institute for Educational Development Strategy of the Russian Academy of Education (Moscow, Russia), <https://orcid.org/0000-0001-9303-6560>, rena_robert@mail.ru

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

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

Igor V. Yudaev, DSc (Eng), Professor, Department of Electricity Application, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, (Krasnodar, Russia), <https://orcid.org/0000-0002-3435-4873>, etsh1965@mail.ru

International members of the Editorial Board:

Aytzhan M. Abdyrov, DSc (Ed), Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, (Nur-Sultan, Kazakhstan), <https://orcid.org/0000-0002-6852-0235>, abdyrov@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.avramenka@bsatu.by

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

Farmon M. Mamatov, DSc (Eng), Professor, Professor of the Agricultural Mechanization and Service Department, Karshi Institute of Engineering and Economics (Karshi, Republic of Uzbekistan), <https://orcid.org/0000-0002-8916-4225>, fmamatov_50@mail.ru

Frantisek Kumhala, Professor, Chairman of the Agricultural Machinery and Construction Division of the Czech Academy of Agricultural Sciences, the Bureau Member of the Czech Academy of Agricultural Sciences, Head of the Department of Agricultural Machines of Czech University of Life Sciences (Prague, Czech Republic), <https://orcid.org/0000-0002-7782-6033>, Kumhala@tf-czu.cz

Quang Hoang Duc, PhD (Chem), Russian-Vietnamese Tropical Research and Technology Centre (Ho Chi Minh, Vietnam), <https://orcid.org/0000-0002-6487-8782>, quanghoang1510@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

А.С. Дорохов, М.Н. Ерохин, А.В. Сибирёв, М.А. Мосяков, Д.Н. Кынев Разработка элементов цифровой системы идентификации почвенных комков от клубней картофеля картофелеуборочного комбайна	4
З.А. Годжаев, С.Е. Сенькевич, Н.А. Майстренко, А.Г. Левшин, И.С. Алексеев, Е.Н. Ильченко, С.Ю. Уютлов Лабораторные исследования МЭС сельскохозяйственного назначения с автономным электроприводом тягового класса 0,6	15
А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, А.Г. Ялоза, О.А. Купреенко, С.Х. Исаев Влияние конструктивных параметров приемного устройства пневмотранспортера сушки аэродинамического нагрева на его производительность	25
М.Г. Загоруйко, И.А. Башмаков Хозяйственная проверка технологии осциллирующей сушки зерна	34
А.С. Чулков, М.М. Шайхов Математическое моделирование работы конусного высевающего аппарата селекционной сеялки	40
Д.С. Тарабрин, В.А. Гулевский Параметры работы фотосепаратора для эффективной очистки семян люцерны от повилики	47
Д.А. Москвичев Оптимизация диагностирования узлов и агрегатов тракторов Кировец К-742М с помощью программы ЭВМ на языке программирования Python	54

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

А.С. Барчукова, С.М. Ветрова, О.М. Лапсарь, А.М. Пикина Антикоррозионные свойства удобрения БОРАМ и его влияние на урожайность картофеля	61
---	----

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

С.В. Кириллов, А.В. Виноградов Практическое исследование системы электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог	68
---	----

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Т.П. Коваленок, Л.В. Занфирова, Л.И. Назарова Актуальные направления психолого-педагогического сопровождения подготовки инженерных кадров для сельского хозяйства	78
С.Е. Шишов, В.А. Кальней Воспитание традиционных ценностей в цифровой среде: вызовы и возможности для современного образования	85
И.А. Мамаева, Т.М. Василькова, Ю.В. Савин Портрет молодого человека: профессиональные предпочтения и готовность к реализации жизненных планов на селе	94

CONTENTS

FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

A.S. Dorokhov, M.N. Erokhin, A.V. Sibirev, M.A. Mosyakov, D.N. Kynev Development of elements of a digital system for identifying soil lumps and separating them from potato tubers in a potato harvester	4
Z.A. Godzhaev, S.E. Senkevich, N.A. Maistrenko, A.G. Levshin, I.S. Alekseev, E.N. Ilchenko, S.Yu. Uytov Laboratory studies of agricultural mobile power vehicles with an autonomous electric drive of traction class 0.6	15
A.I. Kupreenko, Kh.M. Isaev, A.G. Yaloza, O.A. Kupreenko, S.K. Isaev Influence of the design parameters of the intake of a pneumatic conveyor of an aerodynamic heating dryer on its efficiency	25
M.G. Zagoruiko, I.A. Bashmakov On-farm test of the oscillating grain drying technique	34
A.S. Chulkov, M.M. Shaykhov Mathematical modeling of the operation of a cone-type seeding unit of a crop breeding seeder	40
D.S. Tarabrin, V.A. Gulevskiy Operating parameters of a color sorter used for effective cleaning alfalfa seeds from dodder	47
D.A. Moskvichev Optimization of diagnostics of units and assemblies of Kirovets K-742M tractors using software in the Python programming language	54

TECHNICAL SERVICE IN AGRICULTURE

A.S. Barchukova, S.M. Vetrova, O.M. Lapsar, A.M. Pikina Anticorrosive properties of the BORAM fertilizer and its effect on the potato yield	61
--	----

POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION

S.V. Kirillov, A.V. Vinogradov Practical study of the power supply system of rural consumers fed from railway-owned electricity networks	68
---	----

THEORY AND METHODOLOGY OF PROFESSIONAL EDUCATION

T.P. Kovalenok, L.V. Zanfirova, L.I. Nazarova Current trends in psychological and pedagogical support for training agricultural engineering staff	78
S.E. Shishov, V.A. Kalnei Fostering traditional values in a digital environment: challenges and opportunities for modern education	85
I.A. Mamaeva, T.M. Vasilkova, Y.V. Savin Portrait of a young person: professional preferences and readiness to implement life plans in rural areas	94

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.356

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-4-14>

Разработка элементов цифровой системы идентификации почвенных комков от клубней картофеля картофелеуборочного комбайна

А.С. Дорохов¹, М.Н. Ерохин², А.В. Сибирёв^{3✉}, М.А. Мосяков⁴, Д.Н. Кынев⁵^{1,3,4,5} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ dorokhov.vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>² n.erohin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>³ sibirev2011@yandex.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>⁴ maks.mosyakov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>⁵ dnkynev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-3448-6842>

Аннотация. Оснащение элементами автоматизации механических устройств очистки не в полной мере обеспечивает качество очистки товарной продукции от механических примесей. Внедрение системы цифровой идентификации разделяемых биологических объектов от механических примесей на основе гиперспектрального отражения поможет решить данную проблему. Исследования проведены с целью изучения подходов по обработке данных гиперспектрального отражения клубней картофеля и почвенных комков использованием модели нейронной сети YOLOv8 цифровой системы идентификации почвенных комков от клубней картофеля картофелеуборочного комбайна. Разработали конструктивную схему картофелеуборочного комбайна с цифровой системой идентификации биологических объектов на основе гиперспектрального отражения клубней картофеля и распознавания почвенных комков в автоматизированном режиме. Распознавание клубней картофеля и комков почвы на изображениях выполнили с помощью обученных моделей с выделением областей поражения. Получили кривые оценки точности и полноты распознавания комков почвы в диапазоне длин волн 500...700 нм. Оптимальный уровень уверенности для моделей нейронных сетей составил 0,28 для комков почвы и 0,37 – для клубней картофеля. Определили параметры расчета метрик бинарной и мультиклассовой классификации разработанных моделей сверточных нейронных сетей на различных диапазонах длин волн по классам «Картофель», «Почва на картофеле» и «Комок почвы». Установили, что при длине волны 600 нм достигается наивысшая средняя точность распознавания комков почвы mAP 0,329 и клубней картофеля mAP 0,407. Полученные гиперспектральные данные обладают значительным потенциалом для точной классификации и распознавания болезней и повреждений на клубнях и могут быть использованы для выявления незначительных изменений в состоянии клубней. Точность неинвазивного распознавания комков почвы и клубней картофеля с использованием гиперспектральных изображений сравнима с точностью экспертов-людей (отклонение – не более 11,3%).

Ключевые слова: цифровая система идентификации; почва; картофель; картофелеуборочный комбайн; распознавание клубней картофеля; точность распознавания

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 молодыми учеными, № 22-76-10002.

Для цитирования: Дорохов А.С., Ерохин М.Н., Сибирёв А.В., Мосяков М.А., Кынев Д.Н. Разработка элементов цифровой системы идентификации почвенных комков от клубней картофеля картофелеуборочного комбайна // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 4. С. 4-14. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-4-14>

ORIGINAL ARTICLE

Development of elements of a digital system for identifying soil lumps and separating them from potato tubers in a potato harvester

A.S. Dorokhov¹, M.N. Erokhin², A.V. Sibirev³✉, M.A. Mosyakov⁴, D.N. Kynev⁵

^{1, 3, 4, 5} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

¹ dorokhov.vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

² n.erohin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

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

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

⁵ dnkynev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-3448-6842>

Abstract. Equipping mechanical cleaning devices with automation elements does not fully ensure the quality of cleaning commercial products from mechanical impurities. A possible solution is a system of digital identification of separated biological objects from mechanical impurities based on hyperspectral reflection. The authors carried out research to study approaches to processing hyperspectral reflection data of potato tubers and soil clods using the model of neural network YOLOv8 digital system of identification of soil clods mixed with potato tubers in a potato harvester. They have developed a structural scheme of a potato harvester with a digital system of identification of biological objects based on the hyperspectral reflection of potato tubers and recognition of soil clods in an automated mode. Potato tubers and soil clods in the images were recognized using trained models with the selection of lesion areas. The authors obtained curves of accuracy and completeness of soil clods recognition in the wavelength range between 500 and 700 nm. The optimal confidence level for neural network models was 0.28 for soil clods and 0.37 for potato tubers. The authors determined the calculation parameters of binary and multiclass classification metrics of the developed convolutional neural network models at different wavelength ranges for the classes “Potatoes”, “Soil on potatoes”, and “Soil clods”. The authors found that the highest average recognition accuracy for soil clods of mAP 0.329 and that for potato tubers of mAP 0.407 was recorded at a wavelength of 600 nm. The hyperspectral data obtained can significantly increase the accuracy of classification and recognition of diseases and lesions on tubers and can be used to identify minor changes in tuber condition. The accuracy of non-invasive recognition of soil clods and potato tubers using hyperspectral images is comparable to that of human experts (with a deviation of no more than 11.3%).

Keywords: digital identification system; potatoes; potato harvester; recognition of potato tubers; accuracy of recognition

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., Kynev D.N. Development of elements of a digital system for identifying soil lumps and separating them from potato tubers in a potato harvester. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):4-14 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-4-14>

Введение

Современное сельскохозяйственное производство предъявляет повышенные требования к качеству и безопасности выполнения технологических операций в условиях роста биологических угроз и распространения инфекционных заболеваний. Одной из ключевых задач в картофелеводстве становится своевременное выявление и удаление поврежденных зараженных клубней картофеля, оказывающих отрицательное влияние на урожайность и сохранность здорового посадочного материала [1, 2].

Анализ современных решений в области автоматизации позволяет выделить растущий интерес

к применению систем автоматического позиционирования и исполнительных механизмов, способных обеспечивать точную локализацию и удаление отдельных биологических объектов, не соответствующих сортовому или фитосанитарным требованиям [3-5].

Особое внимание уделяется совершенствованию систем первичной сепарации клубней картофеля от почвы, эффективность работы которых оказывает непосредственное влияние на производительность и точность удаления механических примесей [6]. Вместе с тем остаются недостаточно исследованными аспекты взаимодействия клубней и элементов сепарирующих устройств.

Разработка автоматизированного устройства с цифровой системой управления требует оптимизации кинематических параметров рабочих органов и комплексного подхода, включающего в себя моделирование процессов взаимодействия механических и биологических компонентов [7]. Однако совершенствование механических устройств очистки оснащением элементами автоматизации не в полной мере позволяет обеспечить качество очистки товарной продукции от механических примесей. Следовательно, для обнаружения поврежденных участков клубней картофеля и распознавания почвенных комков необходимо обеспечить выполнение комплексных мероприятий по повышению уровня автоматизированного контроля и управления процессом сепарации от почвенных примесей внедрением систем цифровой идентификации разделяемых биологических объектов от механических примесей на основе гиперспектрального отражения.

Цель исследований: изучение подходов по обработке данных гиперспектрального отражения клубней картофеля и почвенных комков с использованием модели нейронной сети YOLOv8 (You Only Look Once version 8) цифровой системы идентификации почвенных комков от клубней картофеля картофелеуборочного комбайна.

Материалы и методы

В исследованиях протестировали различные подходы к обработке данных гиперспектрального отражения для обнаружения поврежденных участков клубней картофеля и распознавания почвенных комков с использованием различных методов [8, 9].

Для обработки полученных гиперспектральных изображений комков почвы и клубней картофеля в ортогональной плоскости на оптической линии использовали современную модель нейронной сети YOLOv8 (You Only Look Once version 8) [10-12].

Как и в предыдущих версиях моделей YOLO (YOLOv1-v7), YOLOv8 использует сверточные нейронные сети для обнаружения объектов. Однако модель YOLOv8 имеет ряд усовершенствований, обеспечивающих более высокую точность и скорость работы. YOLOv8 использует более сложную архитектуру, которая включает в себя дополнительные блоки и более 100 сверточных слоев, комбинации сверточных слоев, слоев объединения, слоев активации, слоев нормализации и слоев потерь.

Трансферное обучение заключалось в использовании предварительно обученной модели YOLOv8 на стандартных наборах данных для задачи обнаружения объектов – таких, как COCO (Common Objects in Context), ImageNet, Pascal VOC.

Для обучения нейронной сети подготовлен набор данных (dataset) изображений пораженных биологических объектов (клубней картофеля) и различных по физико-механическим свойствам комков почвы. Сбор набора данных провели путем гиперспектральной съемки камерой Specim IQ изображений комков почвы и клубней картофеля в диапазоне длин волн от 400 до 1000 нм. Фокусировка камеры на исследуемых образцах комков почвы и клубнях картофеля осуществлялась в автоматическом режиме. Освещение во время съемки составляло 100000...120000 лк. Спектральное разрешение (FWHM) полученных изображений составляло 7 нм, пространственная дискретизация – 512 пикселей. Для аннотирования набора данных, выполнения процесса разметки изображений выделили три класса для распознавания объектов: класс «Late-blight» (картофель), класс «Rhizoctoniosis» (почва на картофеле), класс «Rot» (комки почвы). Разметку объектов проводили с использованием прямоугольников – это процесс обведения интересующих объектов на изображении прямоугольниками с указанием соответствующего класса [13].

Результаты и их обсуждение

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработана конструктивная схема картофелеуборочного комбайна для повышения качества очистки клубней картофеля от почвенных комков в автоматизированном режиме с совершенствованием системы цифровой идентификации разделяемых биологических объектов от механических примесей на основе гиперспектрального отражения, обнаружения клубней картофеля и распознавания почвенных комков¹ (рис. 1).

Картофелеуборочный комбайн с цифровой системой идентификации состоит из рамы, копирующего катка-диаболо, плоского секционного лемеха, пассивных плоских обрезных дисков, приемного сепарирующего пруткового элеватора, элеватора переноса продукта, выносной горки, элеватора основного сепарирующего пруткового, активных встряхивающих устройств при наличии блока управления, связанного с исполнительным механизмом подъема задней части элеватора переноса продукта, а его полотно выполнено поперечно-пальчатым и снабжено датчиками массы, связанными с блоком управления.

Отличительной особенностью разрабатываемого картофелеуборочного комбайна является цифровая система идентификации биологических объектов.

¹ Патент № 2799653 С1 Российская Федерация, МПК А01D17/22. Машина для уборки корнеплодов, картофеля и лука: № 2023101961: заявл. 17.02.2023; Опубл. 07.07.2023 / А.С. Дорохов, А.В. Сибирёв, А.Г. Аксенов [и др.].

Картофелеуборочный комбайн с цифровой системой сепарации работает следующим образом.

При поступательном движении картофелеуборочного комбайна по полю плоские подрезные диски 4 обеспечивают разрезание почвенного слоя при синхронизации извлечения клубненосного пласта секционным лемехом 3. Далее клубненосный ворох последовательно проходит через сепарирующую систему приемного элеватора 5 и элеватора переноса 6, после прохождения поверхности которых выполняется отделение от механических примесей. Под поверхностью пруткового элеватора 5 расположены встряхиватели 9, обеспечивающие интенсификацию очистки клубненосного вороха за счет встряхивания полотна.

Увеличение массы клубненосного вороха на поверхности пруткового элеватора 5 контролируется датчиком массы 12, управляющее воздействие от которого передается на блок 10 и далее, последовательно, на исполнительный механизм, обеспечивающий перемещение полотна выше или ниже установленного предельного значения угла его наклона в диапазоне 10...15 град. Предварительно очищенная продукция поступает на выносную пальчатую горку 7 и обеспечивает перемещение на основной прутковый элеватор 8, после прохождения которого поступает в устройство загрузки.

Схема цифровой системы идентификации разделяемых биологических объектов картофелеуборочного комбайна представлена на рисунке 2.

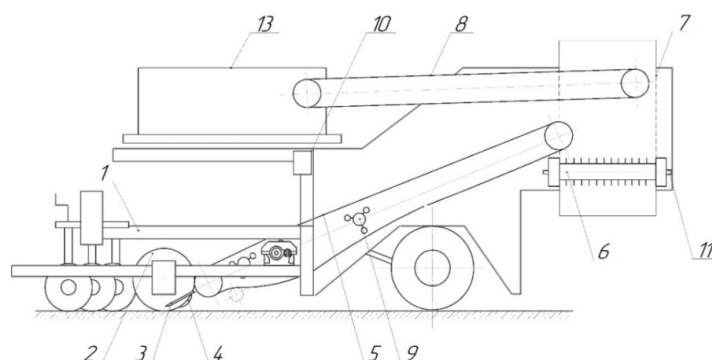


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема картофелеуборочного комбайна с цифровой системой идентификации:

1 – рама; 2 – каток-диаболо; 3 – плоский секционный лемех; 4 – диск обрезной; 5 – приемный элеватор; 6 – элеватор переноса; 7 – горка выносная; 8 – основной элеватор; 9 – встряхиватель; 10 – блок управления; 11 – механизм исполнительный; 12 – датчик массы; 13 – бункер-накопитель

Fig. 1. Design and technological scheme of a potato harvester with the digital identification system:

1 – frame; 2 – diablo roller; 3 – flat sectional share; 4 – trimming disk; 5 – receiving elevator; 6 – product transfer elevator; 7 – remote slide; 8 – main elevator; 9 – shaker; 10 – control unit; 11 – actuator; 12 – mass sensor

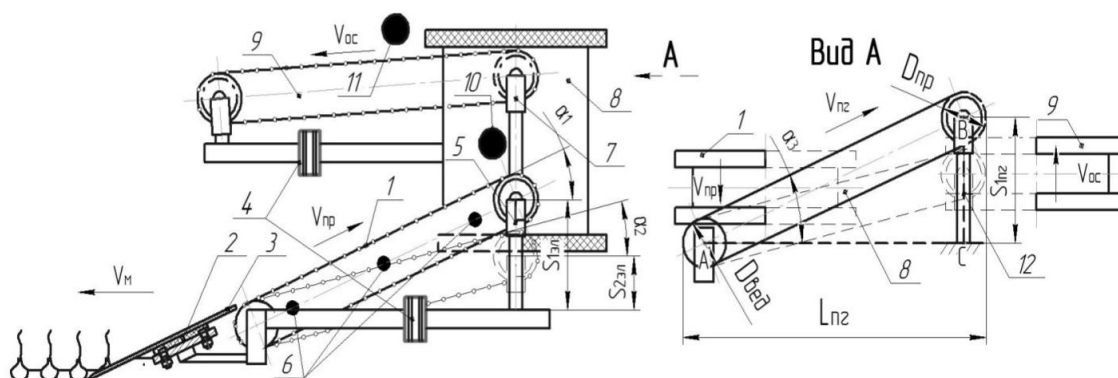


Рис. 2. Конструктивно-технологическая схема цифровой системы идентификации биологических объектов картофелеуборочного комбайна:

1 – приемный прутковый элеватор; 2 – лемех подкапывающий; 3 – датчик веса подкапывающего лемеха; 4 – микроконтроллер; 5 – опорная стойка приемного пруткового элеватора; 6 – датчик инерционный; 7 – опорная стойка основного пруткового элеватора; 8 – выносная пальчатая горка; 9 – основной прутковый элеватор; 10, 11 – приемник инфракрасного излучения; 12 – электроцилиндр

Fig. 2. Design and technological scheme of the digital system for identification of biological objects of a potato harvester:

1 – receiving rod elevator; 2 – digging share; 3 – digging share weight sensor; 4 – microcontroller; 5 – support post of the receiving rod elevator; 6 – inertial sensor; 7 – support post of the main rod elevator; 8 – remote finger-shaped slide; 9 – main rod elevator; 10, 11 – infrared radiation receiver; 12 – electric cylinder

Над приемным прутковым элеватором 1 установлен приемник инфракрасного излучения 10 (определитель сгуживания вороха), который передает сигнал на электронный блок управления 4 (микроконтроллер) скоростью перемещения картофелеуборочного агрегата.

При превышении заданной толщины вороха на основном прутковом элеваторе 9 изменяется скорость движения агрегата вплоть до полной его остановки, исключая тем самым сгуживание клубненосной массы.

Над местом падения клубней на основном прутковом элеваторе 9 (задняя часть) установлен приемник инфракрасного излучения 11 (определитель примесей). Последний связан с электронным блоком, выход которого соединен с электромагнитными клапанами управления электроцилиндром 12, меняющим угол наклона выносной пальчатой горки 8. В зависимости от наличия на основном прутковом элеваторе 9 почвенных комков либо их отсутствия приемник инфракрасного излучения 11 передает сигнал на гидрораспределитель и при помощи электроцилиндра 12 определяет необходимый наклон выносной пальчатой горки 8, чтобы клубни, выделившиеся из почвы, скатывались с горки 8 на основной прутковый элеватор 9 с минимальным количеством почвенных комков.

Почвенные комки разрушаются при ударе о поверхность пальчатой горки 8. При этом клубни, находившиеся в комках почвы, высвобождаются, а мелкая почва просеивается на убранное поле. Высвободившиеся клубни и остатки примесей с поверхности пальчатой горки 8 попадают на основной прутковый элеватор 9.

На основном прутковом элеваторе 9 клубни перемещаются двухручьевым ленточным транспортером на выгрузной транспортер (на схеме не показан) и далее – в рядом идущий транспорт.

Для разработки вариантов распознавания отличительных признаков комков почвы и клубней картофеля, а также для получения отражающей способности поверхности и внутренних тканей клубня картофеля при различных макроповреждениях выполнялось распознавание объектов в потоке вращательного движения оптической ортогональной системой гиперспектрального сканирования. Обработка изображений осуществлялась с применением искусственных нейронных сетей.

Процесс съемки выполняли в такой последовательности: 1) закрепляли гиперспектральную камеру ОСИ-F на штативе оптической системы идентификации, настраивали фокус; 2) размещали под объективом камеры эталонный объект, прилагаемый

к устройству сканирования; 3) настраивали камеру на съемку по времени и по количеству кадров сканирования биологического объекта.

Полученный набор данных с помощью программного средства Gelion разделили на три выборки по длинам волн 500, 600 и 700 нм (рис. 3).

Построили карту Hitmap (карта интенсивности), помогающую понять, как используемые модели анализируют и интерпретируют входные данные и какие части изображения они считают наиболее информативными и релевантными (рис. 4).

Для получения правильной оценки качества обучаемой модели данные сбалансировали во всех выборках методом Oversampling (увеличение выборки).

Для увеличения объема обучающей выборки, улучшения производительности модели сверточной нейронной сети провели аугментацию данных. На основе существующих изображений получили новые, используя следующие инструменты: горизонтальный и вертикальный поворот (flip: horizontal, vertical); вращение на угол, выбранный в пределах $-15^\circ \dots +15^\circ$ (rotation); искажение в пределах $-15^\circ \dots +15^\circ$ (Shear); размытие 2,5 пикселя (Blur); изменение яркости от -25% до $+25\%$ (Brightness); случайное добавление шума, введение изменений в пиксели изображения в количестве до 5% (Noise) (рис. 5).

Добавление разнообразия в обучающие данные с помощью аугментации изображений позволяет модели нейронной сети адаптироваться и быть более устойчивой к «артефактам» и «шумам» на кадрах, что особенно важно в обработке реальных данных при распознавании клубней картофеля.

Для оценки точности прогноза идентификации комков почвы и клубней картофеля произвели расчет средней абсолютной ошибки (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) анализируемой модели нейронной сети, используя формулу:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\Phi_i - \Pi_i}{\Phi_i} \right|,$$

где Φ_i – фактическое количество изображений классов «Late-blight» (картофель), «Rhizoctoniosis» (почва на картофеле) и Spot (комков почвы) на тестовой выборке (классифицированных экспертами-агрономами визуальным методом), шт.; Π_i – количество изображений классов «Late-blight» (картофель), «Rhizoctoniosis» (почва на картофеле) и Spot (комков почвы), верно классифицированных с помощью модели сверточной нейронной сети, шт.

Кроме того, полученные результаты исследований подвергали оценке по метрикам Precision, Recall и F1-score (F1-мера).

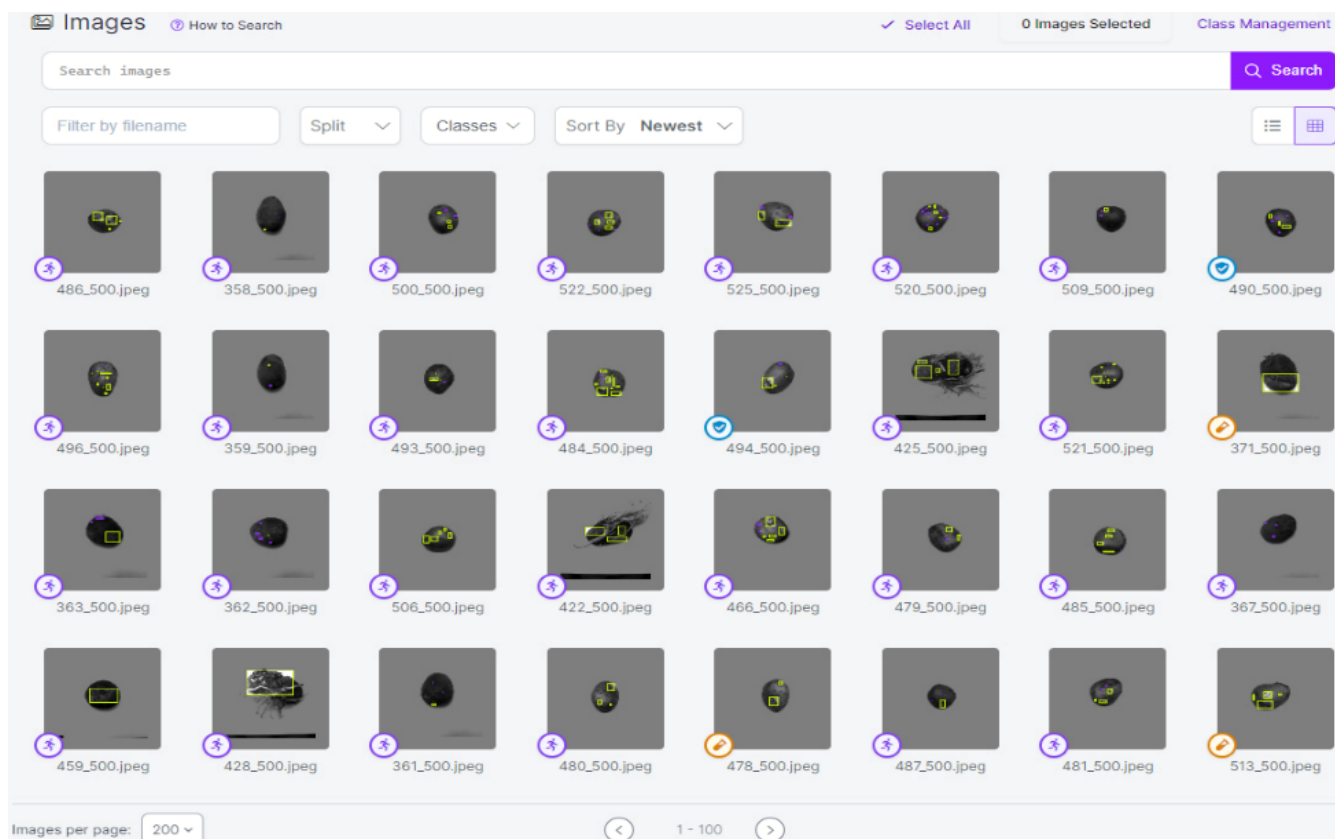


Рис. 3. Размеченный набор данных (dataset)

Fig. 3. Labeled dataset

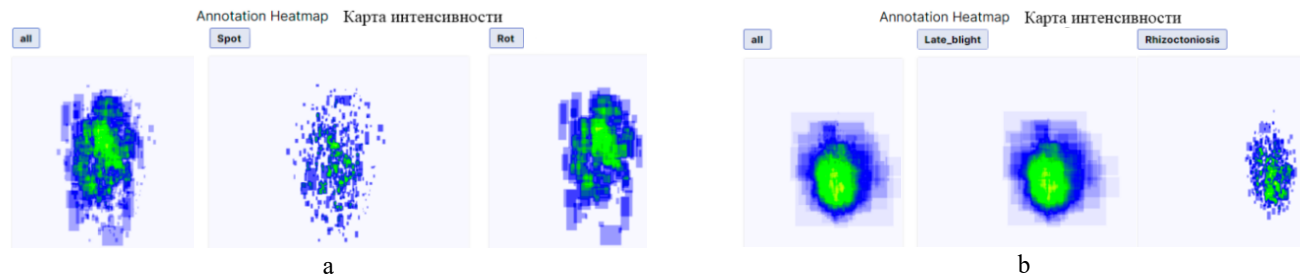
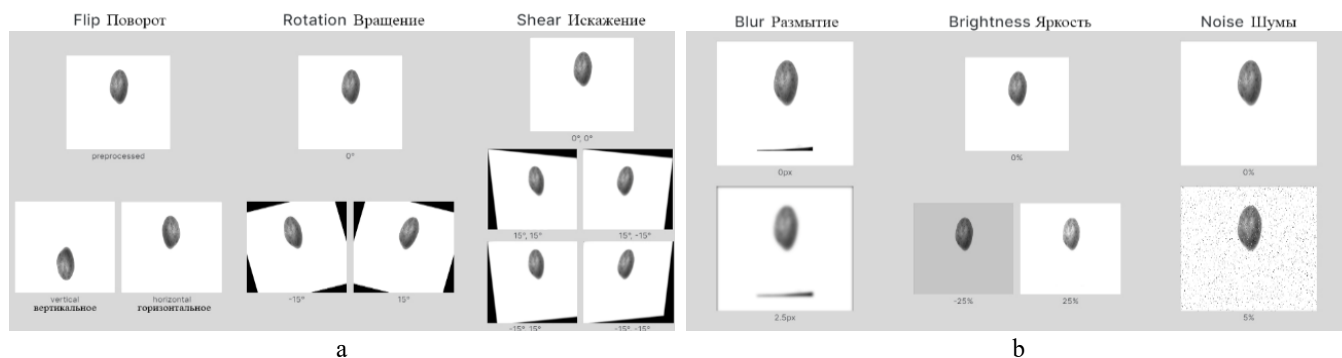


Рис. 4. Hitmap-карта гиперспектральных изображений:

a – комки почвы; b – клубни картофеля

Fig. 4. Hitmap of hyperspectral images:

a – soil clods; b – potato tubers

Рис. 5. Пример аугментации набора данных при $\lambda = 500$ nm:

a – комки почвы; b – клубни картофеля

Fig. 5. Example of dataset augmentation $\lambda = 500$ nm:

a – soil clods; b – potato tubers

Метрика Precision показывает долю правильно определенных положительных объектов относительно всех объектов, которые классификатор определил как положительные:

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}},$$

Метрика Recall выявляет долю правильно определенных положительных объектов относительно всех положительных объектов в данных:

$$\text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}},$$

где TP (True Positive) – количество правильно определенных объектов как положительных; FP (False Positive) – количество неправильно определенных объектов как положительных; FN (False Negative) – количество неправильно определенных объектов как отрицательных.

Меру точности и полноты классификационной модели определили с помощью метрики F1-score (F1-мера), представляющей собой гармоническое среднее между точностью (Precision) и полнотой (Recall) модели и использующейся для оценки качества бинарной классификации:

$$\text{F1-score} = 2 \cdot \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}.$$

Для оценки вероятности того, что модель правильно определила на изображении область поражения болезнями на клубнях картофеля, использовали показатель Confidence (уверенность). В модели YOLOv8 Confidence представлен как значение вероятности присутствия объекта классификации в bounding box (в прямоугольнике), а также вероятности правильной классификации этого объекта.

Показатель уверенности определили по формуле:

$$\text{Confidence} = \text{Pr}(\text{object}) \cdot \text{IOU}(\text{bbox}, \text{object}),$$

где Pr(object) – вероятность наличия объекта в рамке (bounding box); IOU(bbox, object) – значение метрики Intersection over Union (IoU) между рамкой и реальным объектом в ней.

Для выявления ошибок и несоответствий в разметке, оценки того, насколько хорошо размеченный объект совпадает с его реальным положением на изображении, провели проверку на пересечение объектов, использовали известную метрику IoU (Intersection over Union).

Произвели вычисление координат прямоугольника (bounding box), полностью окружающего объект на изображении. Затем эти координаты использовали для вычисления площади выделенной области. Метрику IoU вычислили как отношение площади пересечения к площади объединения

ограничивающего прямоугольника размеченного и реального объекта:

$$\text{IoU} = \frac{\text{intersection area}}{\text{union area}},$$

где intersection area – площадь пересечения между прямоугольником размеченного объекта и прямоугольником реального объекта, dpi (количество точек на дюйм); union area – площадь объединения прямоугольника размеченного и реального объекта, dpi.

В результате проведенных исследований обучили 6 моделей сверточных нейронных сетей YOLOv8 на длинах волн 500, 600 и 700 нм обучающего набора данных.

Примеры областей распознавания клубней картофеля на изображениях с помощью обученных моделей с выделением областей поражения в ограничивающую рамку представлены на рисунке 6.

Для оценки полученных значений точности и полноты при изменении порога, для принятия решения построили кривые Precision-Recall (точность-полнота) при распознавании клубней картофеля (рис. 7).

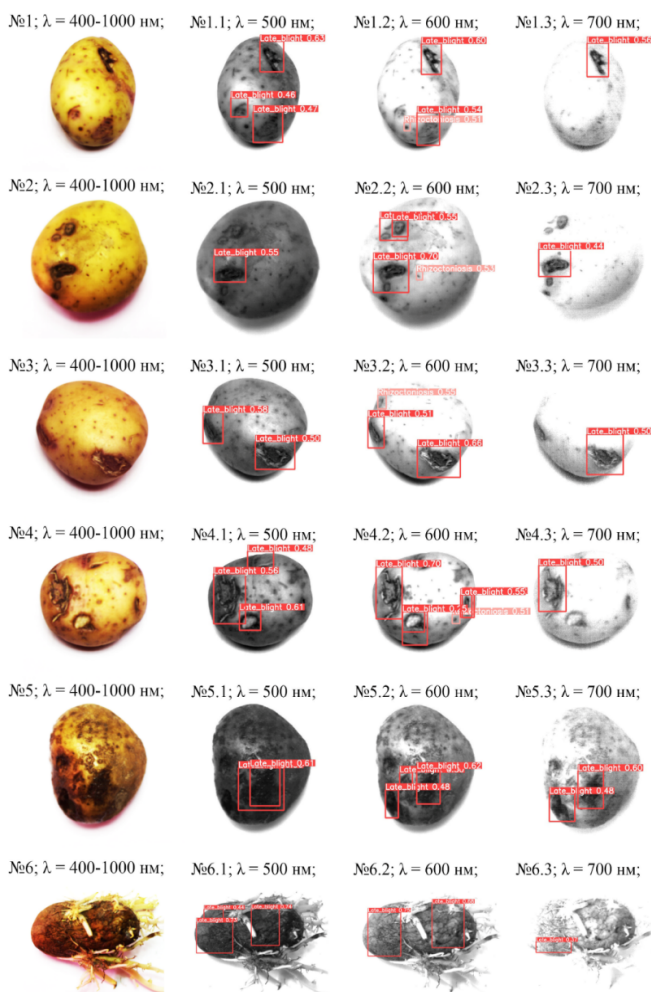


Рис. 6. Примеры распознавания областей поражения болезнями

Fig. 6. Examples of the recognition of disease-affected areas

Анализ графиков Precision-Recall позволил установить порог классификации, равный 0,38, который обеспечивает наилучшее соотношение между точностью и полнотой при распознавании болезней клубней картофеля.

Для оценки качества работы моделей нейронных сетей построили кривые Precision-Confidence и Recall-Confidence, отражающие зависимость точности и полноты предсказаний моделей от уровня уверенности, используемого для принятия решения о наличии объектов распознавания на изображениях (рис. 8).

F1-Confidence график показывает, как модель реагирует на различные уровни шума или наличие выбросов в данных. Полученный Вох-Ероч график отображает изменение метрики mAP, которая

оценивает качество определения координат ограничивающих рамок объектов на каждой эпохе обучения модели. Вох-Ероч график позволил определить оптимальное количество эпох обучения, при котором достигается наилучшее качество определения координат ограничивающих рамок объектов. Общее время обучения модели для распознавания комков почвы с длиной волны $\lambda = 500$ нм при использовании центрального процессора CPU составило 23 ч 17 мин 15 с; с $\lambda = 600$ нм – 24 ч 36 мин 35 с; с $\lambda = 700$ нм – 22 ч 32 мин 36 с. Общее время обучения модели для распознавания клубней картофеля с длиной волны $\lambda = 500$ нм при использовании CPU составило 24 ч 27 мин 20 с; с $\lambda = 600$ нм – 25 ч 14 мин 35 с; с $\lambda = 700$ нм – 23 ч 38 мин 12 с.

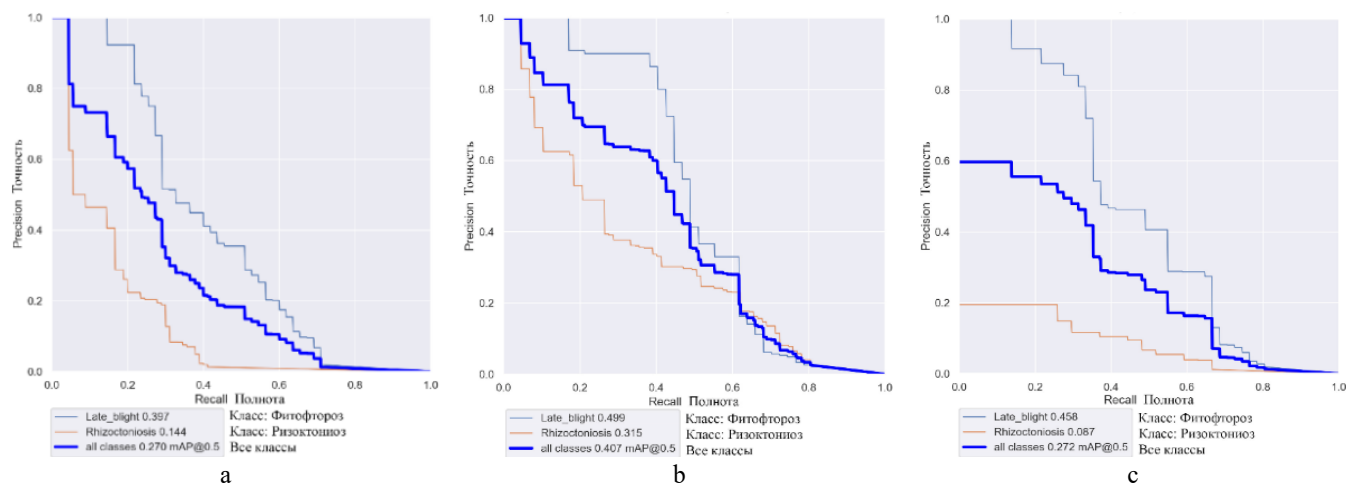


Рис. 7. Кривая оценки точности и полноты Precision-Recall при распознавании клубней картофеля:

a) $\lambda = 500$ нм; b) $\lambda = 600$ нм; c) $\lambda = 700$ нм

Fig. 7. Precision-Recall curve for potato tuber recognition:

a) $\lambda = 500$ nm; b) $\lambda = 600$ nm; c) $\lambda = 700$ nm

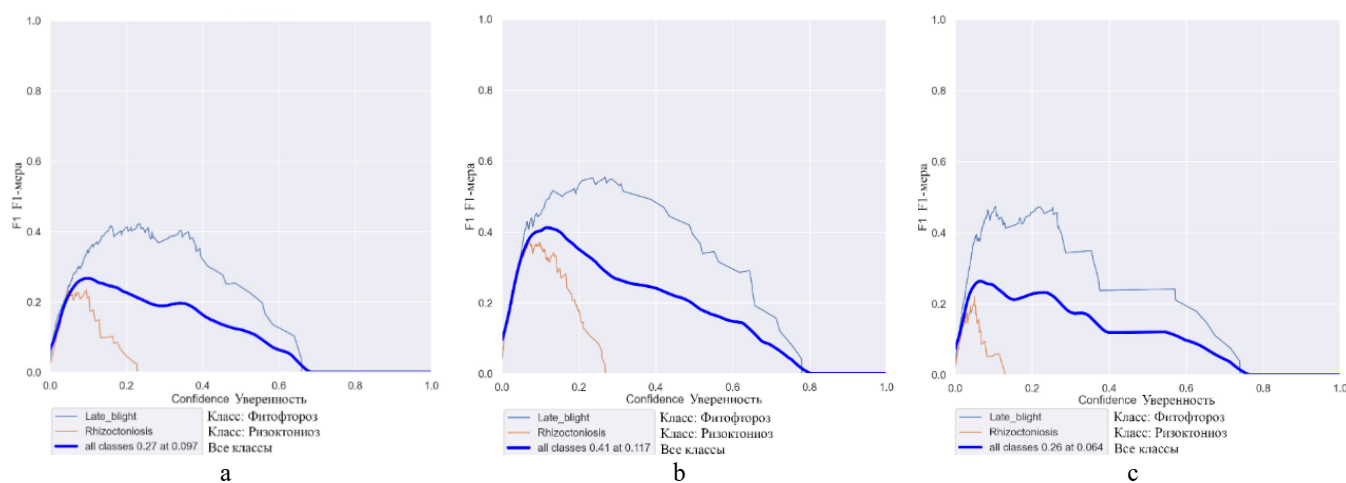


Рис. 8. Кривые оценки качества работы моделей нейронных сетей F1-Confidence при распознавании клубней картофеля:

a) $\lambda = 500$ нм; b) $\lambda = 600$ нм; c) $\lambda = 700$ нм

Fig. 8. Performance evaluation curves of F1-Confidence neural network models for potato tuber recognition:

a) $\lambda = 500$ nm; b) $\lambda = 600$ nm; c) $\lambda = 700$ nm

Анализ полученных графиков позволил установить оптимальные параметры настройки модели сверточной нейронной сети YOLOv8, выбрать порог уверенности, на котором модель показывает оптимальную точность и сбалансированную полноту с количеством обнаруженных объектов [12].

В результате проведенных исследований определили конфигурацию алгоритма машинного обучения модели YOLOv8 для распознавания областей комков почвы и клубней картофеля классов «Late-blight» (картофель), «Rhizoctoniosis» (почва на картофеле) и Spot (комки почвы): скорость обучения (learning rate) – 0,01 LR (learning rate); количество эпох (epochs) – 83; размер мини-пакета (batch size) – 16.

Коэффициенты трех основных метрик для каждого индивидуального класса и общего набора данных в диапазонах длин волн 500, 600 и 700 нм представлены в таблице 1.

Анализ полученных результатов позволил установить наиболее эффективное значение длины волны $\lambda = 600$ нм, при которой достигается наивысшая средняя точность распознавания комков почвы mAP 0,329 и клубней картофеля mAP 0,407.

Результаты расчетов средней абсолютной ошибки модели нейронной сети YOLOv8 представлены в таблице 2.

Среднее абсолютное отклонение результатов распознавания разработанной моделью сверточной нейронной сети (длина волны $\lambda = 600$ нм) изображений клубней картофеля, пораженных болезнями, от визуально идентифицированных экспертами-агрономами, не превысило 11,3%.

Искусственное увеличение объема обучающей выборки (изображений комков почвы и клубней картофеля, пораженных болезнями), использование таких инструментов, как горизонтальный и вертикальный повороты, вращение на заданный угол, искажение, размытие, изменение яркости и случайное добавление шума, позволили существенно повысить качество обучения нейронной сети, помогли адаптировать систему к реальным условиям определения биологических объектов, повысили точность обнаружения признаков поражения болезнями на 16% по сравнению с набором данных без увеличения объема выборки [13].

Определение клубней картофеля, пораженных заболеваниями, выполнялось с целью формирования базы данных, синхронизации полученных результатов исследований в технологии послеуборочной обработки картофеля и дальнейшего совершенствования системы идентификации.

Результаты расчета метрик бинарной и мультиклассовой классификации разработанных моделей сверточных нейронных сетей на различных диапазонах длин волн

Таблица 1

Results of calculating the metrics of binary and multiclass classification of the developed models of convolutional neural networks for different wavelength ranges

Table 1

Класс Class	Метрика точности Precision matrix	Метрика полноты Recall matrix	Метрика средней точности mAP matrix
«Late-blight» (картофель) / «Late-blight» (Potato)	0,261	0,314	0,283
«Spot» (комки почвы) / «Spot» (Soil Clod)	0,284	0,169	0,202
Все классы / All classes	0,304	0,157	0,277
Модель сверточной нейронной сети $\lambda = 500$ нм, клубни картофеля / Model of convolutional neural network $\lambda = 500$ nm, potato tubers			
«Late-blight» (картофель) / «Late-blight» (Potato)	0,270	0,527	0,397
«Spot» (комки почвы) / «Spot» (Soil Clod)	0,430	0,100	0,144
Все классы / All classes	0,353	0,314	0,270
Модель сверточной нейронной сети $\lambda = 600$ нм, клубни картофеля / Model of convolutional neural network $\lambda = 600$ nm, potato tubers			
«Late-blight» (картофель) / «Late-blight» (Potato)	0,491	0,489	0,499
«Spot» (комки почвы) / «Spot» (Soil Clod)	0,364	0,297	0,315
Все классы / All classes	0,428	0,393	0,407
Модель сверточной нейронной сети $\lambda = 700$ нм, клубни картофеля / Model of convolutional neural network $\lambda = 700$ nm, potato tubers			
«Late-blight» (картофель) / «Late-blight» (Potato)	0,367	0,549	0,458
«Spot» (комки почвы) / «Spot» (Soil Clod)	0,115	0,058	0,087
Все классы / All classes	0,241	0,304	0,272

Таблица 2

Средняя абсолютная ошибка разработанных моделей сверточных нейронных сетей на различных диапазонах длин волн

Table 2

Average absolute error of the developed models of convolutional neural networks on different wavelength ranges

Класс <i>Class</i>	Количество изображений тестовой выборки, шт. <i>Number of images of the test sample, pcs.</i>	Количество изображений, верно классифицированных с помощью модели сверточной нейронной сети, шт. <i>Number of images correctly classified using the convolutional neural network model, pcs.</i>	Средняя абсолютная ошибка, % <i>Average absolute error, %</i>
Модель сверточной нейронной сети $\lambda = 500$ нм, клубни картофеля / <i>Model of convolutional neural network $\lambda = 500$ nm, potato tubers</i>			
«Late-blight» (картофель) / «Late-blight» (Potato)	150	129	14,00
«Spot» (комоч почвы) / «Spot» (Soil Clod)	150	125	16,67
Все классы / All classes	300	254	15,33
Модель сверточной нейронной сети $\lambda = 600$ нм, клубни картофеля / <i>Model of convolutional neural network $\lambda = 600$ nm, potato tubers</i>			
«Late-blight» (картофель) / «Late-blight» (Potato)	150	137	8,67
«Spot» (комоч почвы) / «Spot» (Soil Clod)	150	130	13,30
Все классы / All classes	300	267	11,00
Модель сверточной нейронной сети $\lambda = 700$ нм, клубни картофеля / <i>Model of convolutional neural network $\lambda = 700$ nm, potato tubers</i>			
«Late-blight» (картофель) / «Late-blight» (Potato)	150	132	12,00
«Spot» (комоч почвы) / «Spot» (Soil Clod)	150	124	17,33
Все классы / All classes	300	256	14,67

Выводы

1. Разработана конструктивная схема картофелеуборочного комбайна для повышения качества очистки клубней картофеля от почвенных комков, в автоматизированном режиме с совершенствованием системы цифровой идентификации разделяемых биологических объектов от механических примесей, на основе гиперспектрального отражения обнаружения клубней картофеля и распознавания почвенных комков.

2. Выполнено формирование параметрической базы данных клубней картофеля и комков почвы с формированием файлов: JPEG (стандарт сжатия цифрового изображения, определенный в ИСО/МЭК 10918-1); TIFF с разрешением не менее 300 dpi

и цветовым пространством в RGB-диапазоне с занимаемой площадью не менее 35% площади изображения и размером цифровых фотографий не менее 3602×2480 пикселей при отсутствии засвеченных участков, резких теней и контрастов.

3. Неинвазивное распознавание клубней картофеля и комков почвы с использованием гиперспектральных изображений возможно с точностью, сравнимой с точностью экспертов-людей (отклонение – не более 11,3%).

4. Необходимость разработки высокопроизводительных алгоритмов и программных решений для обработки и интерпретации гиперспектральных данных является ключевой составляющей исследовательской работы в данной области.

Список источников / References

- 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;879:556-563. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0386-1_70
- Dai F., Guo X.H., Zhao W. et al. Design and experiment of canvas belt combined operation machine for potato 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>
- Wang L., Liu F., Wang Q. et al. 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>
- Mu G., Wang W., Zhang T. et al. Design and experiment with a double-roller sweet potato vine harvester. *Agriculture*. 2022;12(10):1559. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101559>
- Pasaman B., Zakharchuk V. The determination of the parameters of a ploughshare-rotor potato digger. *Econtechmod. An International Quarterly Journal*. 2012;01(2):43-47.
- Бышов Н.В., Якутин Н.Н., Ковешников Р.Ю. и др. Модернизация копателя КСТ-1,4 // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2016. № 2. С. 75-78. EDN: WYJNSX
- Byshov N.V., Yakutin N.N., Koveshnikov R.Yu. et al. Modernization of digging machine KST-1.4. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2016;2:75-78. (In Russ.)
- Indraja D., Ajkhilesh J., Vishal P. et al. A review paper based on design and development of an onion harvesting machine. *Journal of Information and Computational Science*. 2020;9(12):333-337.

8. 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.

9. El-Rahman A., Magda M. Development and performance evaluation of a simple grading machine suitable for onion sets. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2011;2(2):213-226. <https://doi.org/10.21608/jssae.2011.55418>

10. Lu K., Xie S., Gai X., Ji X. Design and experiment of toggle lever-type potato picker. *Agriculture*. 2024;14:826. <https://doi.org/10.21608/jssae.2011.55418>

11. Lü J.Q., Sun H., Dui H., Peng M.M., Yu J.Y. Design and experiment on conveyor separation device of potato digger under heavy

soil condition. *Transactions of the CSAM*. 2017;48(11):146-155. <https://doi.org/10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.018>

12. Jia B., Sun W., Zhao Z. et al. 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>

13. 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>

Информация об авторах

¹Дорохов Алексей Семёнович, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, академик РАН; dorokhov.vim@yandex.ru; SPIN-код: 6711-8971, AuthorID: 550644; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

²Ерохин Михаил Никитиевич, д-р техн. наук, профессор, академик РАН; n.erohin@rgau-msha.ru; SPIN-код: 3499-4405, AuthorID: 626708; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

³Сибирёв Алексей Викторович, д-р техн. наук, главный научный сотрудник; sibirev2011@yandex.ru; SPIN-код: 1726-5356, AuthorID: 794047; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

⁴Мосяков Максим Александрович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; maks.mosyakov@yandex.ru; SPIN-код: 3196-9443, AuthorID: 812688; <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

⁵Кынев Дмитрий Николаевич, младший научный сотрудник, аспирант; dnkynev@mail.ru; SPIN-код: 7681-9750, AuthorID: 959997

^{1,3,4,5}Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

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

Вклад авторов

А.С. Дорохов – формулирование основной концепции исследований;

М.Н. Ерохин – разработка методологии исследований;

А.В. Сибирёв – описание результатов и формирование выводов исследований, подготовка начального варианта текста;

М.А. Мосяков – представление результатов, подготовка графических материалов;

Д.А. Кынев – программная реализация алгоритма.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 05.03.2025, после рецензирования и доработки 06.05.2025; принята к публикации 07.05.2025

Author Information

Aleksei S. Dorokhov¹, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor; dorokhov.vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

Mikhail N. Erokhin², Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor; n.erohin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

Aleksei V. Sibirev³, DSc (Eng), Chief Research Engineer; sibirev2011@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>

Maksim A. Mosyakov⁴, CSc (Eng), maks.mosyakov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>

Dmitriy N. Kynev⁵, Junior Research Engineer, postgraduate student

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

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

Author Contribution

A.S. Dorokhov – conceptualization;

M.N. Erokhin – research methodology;

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

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

D.A. Kynev – software (algorithm implementation)

Conflict of interests

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

Received 05.03.2025; Revised 06.05.2025; Accepted 07.05.2025

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 62-838

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-15-24>**Лабораторные исследования МЭС сельскохозяйственного назначения с автономным электроприводом тягового класса 0,6****З.А. Годжаев¹, С.Е. Сенькевич^{2✉}, Н.А. Майстренко³, А.Г. Левшин⁴, И.С. Алексеев⁵, Е.Н. Ильченко⁶, С.Ю. Уютов⁷**^{1, 2, 5, 6, 7} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия^{3, 4} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ fic51@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1665-3730>² umo.viesh@list.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0001-6354-7220>³ nmaystrenko@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1268-713X>⁴ alevshin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8010-4448>⁵ dreeddog@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-5169-895X>⁶ kat-sama@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-3901-5706>⁷ s_uytov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9394-5916>

Аннотация. Создание мобильных энергетических средств с применением автоматизированного управления электропривода дает возможность увеличить производительность транспортных и механизированных работ в сельскохозяйственном производстве, повысить функциональные и эксплуатационные характеристики этих машин и уменьшить их негативное влияние на окружающую среду. Цель работы – провести экспериментальные лабораторные исследования мобильного энергетического средства (МЭС) с электродвигателем на базе колесного трактора тягового класса 0,6. Испытания трактора в почвенном канале и на бетонном основании проводили в соответствии с ГОСТ 25836-83. Рассмотрели равновесие трактора в поперечной в продольной плоскостях и относительно задней ведущей оси. Определили тяговые показатели машины и оценили тягово-сцепные и энергетические свойства трактора при прямолинейном поступательном движении. Эксплуатационная масса МЭС составила 1469,5 кг. Анализ полученных значений вертикальной и горизонтальной координат центра тяжести трактора показал повышение статической и динамической устойчивости трактора в результате изменений компоновочных решений агрегатных составляющих трактора. Характер изменения вертикальной и горизонтальной координаты направлен на повышение продольной и поперечной устойчивости МЭС. Опытный образец МЭС с электроприводом подтвердил свой тяговый класс 0,6: на твердой поверхности (бетонный трек) тяговое усилие на крюке фиксировали 8,0...9,0 кН, на слабонесущем грунте (почвенный канал) тяговое усилие составило 4,0...6,0 кН. Результаты исследований в дальнейшем позволят применять электроприводы на МЭС тягового класса 0,6.

Ключевые слова: экспериментальные исследования; испытания трактора; электродвигатель; трактор; исследования мобильного энергетического средства; равновесие трактора; тяговое усилие

Для цитирования: Годжаев З.А., Сенькевич С.Е., Майстренко Н.А., Левшин А.Г., Алексеев И.С., Ильченко Е.Н., Уютов С.Ю. Лабораторные исследования МЭС сельскохозяйственного назначения с автономным электроприводом тягового класса 0,6 // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 4. С. 15-24. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-15-24>

ORIGINAL ARTICLE

Laboratory studies of agricultural mobile power vehicles with an autonomous electric drive of traction class 0.6

Z.A. Godzhaev¹, S.E. Senkevich^{2✉}, N.A. Maistrenko³, A.G. Levshin⁴, I.S. Alekseev⁵, E.N. Ilchenko⁶, S.Yu. Uyutov⁷

^{1, 2, 5, 6, 7} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia

^{3, 4} Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; Moscow, Russia

¹ fic51@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1665-3730>

² umo.viesh@list.ru✉; <https://orcid.org/0000-0001-6354-7220>

³ nmaystrenko@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1268-713X>

⁴ alevshin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8010-4448>

⁵ dreeddog@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-5169-895X>

⁶ kat-sama@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-3901-5706>

⁷ s_uyutov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9394-5916>

Abstract. Designing mobile power vehicles using the automated control of an electric drive makes it possible to increase the productivity of transport and mechanized operations in agricultural production, improve the functional and operational characteristics of these machines and reduce their negative impact on the environment. The study purpose is to conduct experimental laboratory studies of a mobile power vehicle (MPV) with an electric motor based on a wheeled tractor of traction class 0.6. The authors carried out tractor tests in a soil channel and on a concrete foundation in accordance with GOST 25836-83. They analyzed the tractor balance in the transverse and longitudinal planes and relative to the rear drive axle. As a result, they determined the traction indicators, as well as the traction and energy properties of the tractor during its rectilinear translational motion. The operating weight of the MPV was 1469.5 kg. The analysis of the obtained values of the vertical and horizontal coordinates of the center of gravity of the tractor showed an increase in its static and dynamic stability due to the modified layout solutions of its components. The changes in vertical and horizontal coordinates tend to increase the longitudinal and transverse stability of MPVs. The prototype MPV with an electric drive confirmed its traction class of 0.6: on a hard surface (concrete track), the hitch bar traction force was recorded at 8.0 to 9.0 kN; for weak soil (soil channel), the traction force amounted to 4.0 to 6.0 kN. The results of the studies will further introduce the use of electric drives on MPVs of traction class 0.6.

Keywords: experimental research; autonomous electric drive; electric motor; mobile power equipment; traction tests; agricultural tractor

For citation: Godzhaev Z.A., Senkevich S.E., Maistrenko N.A., Levshin A.G., Alekseev I.S., Ilchenko E.N., Uyutov S.Yu. Laboratory studies of agricultural mobile power vehicles with an autonomous electric drive of traction class 0.6. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):15-24 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-15-24>

Введение

Совершенствование методов и средств определения основных показателей, характеризующих потребительские свойства машинно-тракторных агрегатов (МТА), является одним из важнейших направлений повышения эффективности сельскохозяйственного производства. Режим работы МТА создается сочетанием энергетических характеристик ее частей (двигателя, трактора и сельскохозяйственной машины). Вопросы эффективной эксплуатации МТА можно решить только при рассмотрении совокупности взаимодействия ее основных частей [1].

Создание мобильных сельскохозяйственных машин различного функционального назначения [2] с применением автоматизированного электропривода (ЭП) дает возможность увеличить

производительность МТА в сельскохозяйственном производстве [3], а также повысить функциональные и эксплуатационные характеристики этих агрегатов [4-10].

Высокие цены на энергоресурсы побуждают совершенствовать трактора с ДВС [11] и использовать стационарные и мобильные энергетические средства, работающие на электроприводе [12]. Несмотря на их высокую стоимость, применение ЭП в сельхозмашинах открывает новый уровень автоматизации процессов управления тракторной техникой и самоходными сельскохозяйственными машинами, улучшает экологию и условия труда в агропромышленном комплексе [6, 7]. Применение ЭП в трансмиссии может снизить себестоимость сельскохозяйственной продукции и вредное воздействие на окружающую среду [8].

Незначительное изменение конструкции машин приводит к модификации их эксплуатационных показателей. Основным эксплуатационным параметром трактора считается тяговая характеристика, которая определяется тяговыми испытаниями [1]. Но есть и альтернативные варианты: например, мгновенно увеличивая подачу топлива до максимальной, при свободном разгоне трактора можно измерить значение угловых скоростей коленчатого вала двигателя и путеизмерительного колеса на заданной передаче и соответствующем почвенном фоне с нагрузкой и без нее [3]. Однако этот метод приемлем только для тракторов с двигателями внутреннего сгорания.

Можем предположить, что улучшение будет наблюдаться после применения электропривода, так как это снизит энергопотребление и повысит КПД [12].

Цель исследований: провести экспериментальные лабораторные исследования мобильного энергетического средства (МЭС) с электроприводом на базе трактора тягового класса 0,6.

Материалы и методы

Объектом исследований стал трактор тягового класса 0,6 (самоходное шасси с электродвигателем на базе трактора Т-16). В рамках исследований на трактор Т-16 вместо классического дизельного двигателя внутреннего сгорания установили асинхронный электродвигатель мощностью 11 кВт (частота вращения ротора асинхронного электродвигателя – от 0 до 1450 мин⁻¹). Первичным источником энергии служит блок из 40 аккумуляторных батарей емкостью по 20 Ач, общей массой 160 кг. Максимальное напряжение – до 540 В. Вал электромотора напрямую соединен с первичным валом коробки переключения передач. Электродвигатель через векторный преобразователь частоты подключен к блоку аккумуляторных батарей.

Испытания трактора в почвенном канале и на бетонном основании проводили в соответствии с ГОСТ 25836-83 «Тракторы. Виды и программы испытаний». Определяли тяговые показатели машины и оценивали тягово-сцепные и энергетические свойства трактора при прямолинейном поступательном движении с целью оценки эксплуатационной надежности трактора и его элементов и разработки рекомендаций по его совершенствованию.

Экспериментальные данные для верификации коэффициентов математической модели, подтверждения ее адекватности, определения эффективности внедрения электрического привода в силовую передачу мобильного энергетического средства тягового класса 0,6 получили с помощью

разработанной программы-методики лабораторно-экспериментальных исследований макетного образца трактора.

Программа испытаний энергетического средства с электроприводом на базе самоходного шасси Т-16 тягового класса 0,6 включает в себя техническую экспертизу (ГОСТ Р 54784-2011) и энергетическую оценку (ГОСТ 30745-2001) с определением тягового усилия, скорости, мощности, буксования движителей (колес), удельного расхода энергии, снятия характеристик с узлов объекта испытаний.

Исследования проводили в разрезе некоторых характеристик МЭС.

Перед проведением испытаний экспериментально определили координаты центра тяжести макетного образца. Для этого установили специальные датчики давления, показывающие силу реакций опоры на каждом колесе трактора.

Суммарные реакции на колесах трактора определили по зависимостям:

$$\text{а) на передних колесах } Y_{\text{п}} = Y_{\text{пл}} + Y_{\text{спр}};$$

$$\text{б) на задних колесах } Y_{\text{з}} = Y_{\text{зл}} + Y_{\text{зпр}};$$

$$\text{в) общий вес трактора } G_{\text{а}} = Y_{\text{п}} + Y_{\text{з}},$$

где $Y_{\text{пл}}$, $Y_{\text{спр}}$ – соответственно реакции на переднем левом и переднем правом колесах; $Y_{\text{зл}}$, $Y_{\text{зпр}}$ – соответственно реакции на заднем левом и заднем правом колесах, Н.

Значения, полученные при измерении параметров реакции соответствующего датчика давления, представлены в таблице 1.

Суммарные силы на заднюю и переднюю оси трактора равны, соответственно, $Y_{\text{з}} = 7508,317$ Н, $Y_{\text{п}} = 6908,081$ Н, а общий вес при этом составил $G_{\text{а}} = 14416,398$ Н.

Схемы сил для расчета продольной координаты центра тяжести и поперечной координаты приведены на рисунке 1.

Таблица 1

Значения реакций колес, полученные при измерении

Table 1

Wheel reaction values obtained during measurement

№ датчика Sensor No.	Реакции колес Wheel reactions	Значения, Н Values, N
1	$Y_{\text{пл}}$	3929,024
2	$Y_{\text{спр}}$	2979,057
3	$Y_{\text{зпр}}$	4176,760
4	$Y_{\text{зл}}$	3331,557

Условие равновесия трактора в продольной плоскости относительно задней оси:

$$\sum M_B = 0$$
$$Y_{\text{п}} \cdot L - G_m \cdot a = 0.$$

Откуда

$$a = \frac{Y_{\text{п}} L}{G_m}.$$

(1)

Рассматривая условие равновесия трактора относительно передней оси, получаем:

$$b = \frac{Y_3 L}{G_m},$$

(2)

где $L_0 = 2,485$ м.

Таким образом, $a = 1,191$ м, $b = 1,294$ м.

Значения параметров трактора представлены в таблице 2.

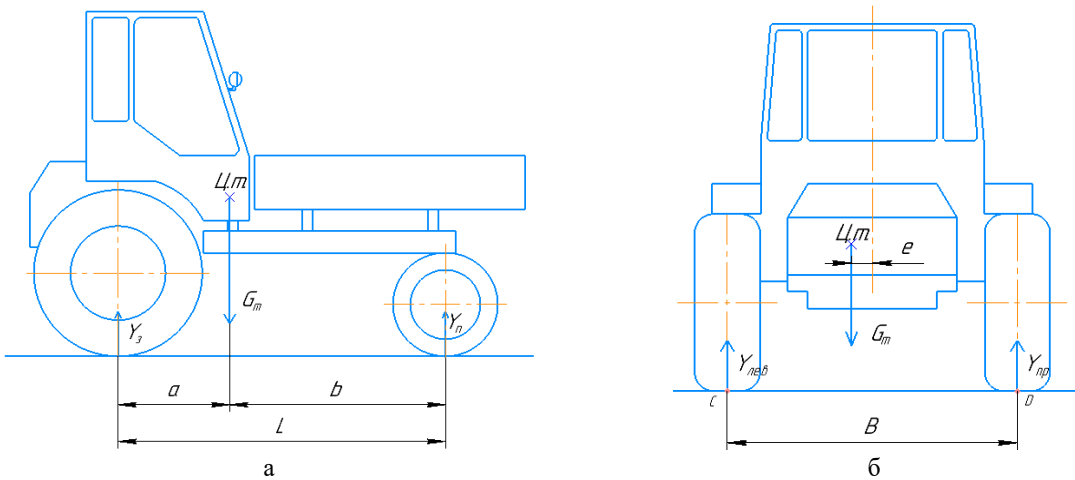


Рис. 1. Схемы сил для расчета продольной координаты центра тяжести (а) и поперечной координаты (б):
L – колесная база; a – расстояние от оси заднего колеса до центра тяжести трактора;
b – расстояние от оси переднего колеса до центра тяжести трактора;
Y₃ – суммарная реакция на заднем мосту от колес трактора;
Y_п – суммарная реакция на переднем мосту от колес трактора; G_м – общий вес трактора;
B – колея трактора; e – смещение центра тяжести от центральной оси трактора;
Y_{лев} – реакции по левому борту; Y_{прав} – реакции на по правому борту

Fig. 1. Force diagram for calculating the longitudinal coordinate of the center of gravity and force diagram to calculate the transverse coordinate
L – wheelbase; a – distance from the rear wheel axis to the tractor’s center of gravity;
b – distance from the front wheel axis to the tractor’s center of gravity;
Y₃ – total reaction on the rear axle from the tractor’s wheels; Y_п – total reaction on the front axle from the tractor’s wheels;
G_м – total weight of the tractor; B – tractor’s track; e – displacement of the center of gravity from the central axis of the tractor;
Y_{лев} – reactions on the left side; Y_{прав} – reactions on the right side

Измеряемые величины по протоколу испытаний

Таблица 2

Table 2

Measured values according to test records

Измеряемые величины / Measured values	Значение / Value
Колесная база, L, мм / Wheelbase, L, mm	2485
Колея трактора, B, мм / Tractor’s track, B, mm	1275
Радиус заднего колеса, r _з , мм / Rear wheel radius, r _з , mm	585
Угол поднятия трактора относительно горизонта α, град. / Tractor lifting angle relative to the horizon α, deg	7,274
Реакция на переднем левом колесе, Y _{пл} , Н / Reaction on the front left wheel, Y _{пл} , N	3929,02
Реакция на переднем правом колесе, Y _{ппр} , Н / Reaction on the front right wheel, Y _{ппр} , N	2979,06
Реакция на заднем левом колесе, Y _{зл} , Н / Reaction on the rear left wheel, Y _{зл} , N	3331,56
Реакция на заднем правом колесе, Y _{зпр} , Н / Reaction on the rear right wheel, Y _{зпр} , N	4176,76
Усилие на переднюю ось при поднятии трактора на угол α к горизонту, Y _п [*] , Н Force on the front axle when lifting the tractor at an angle α to the horizon, Y _п [*] , N	5200

Для определения поперечной координаты центра тяжести рассмотрим равновесие трактора в поперечной плоскости (рис. 1).

Условие равновесия трактора:

$$\sum M_0 = 0$$
$$Y_{\text{пр}} \cdot B - G_m (0,5B - e) = 0.$$

Откуда

$$e = \frac{B}{G_m} (0,5G_m - Y_{\text{пр}}), \tag{3}$$

где $B = 1,275$ м; $Y_{\text{пр}}$ – суммарная сила, действующая на правый борт трактора, Н.

Получаем $e = 0,004$ м.

Для определения вертикальной координаты центра тяжести одну из осей (обычно переднюю) поднимают на высоту H_1 с помощью подъемного устройства ($H_1 = 0,925$ м) в соответствии с данными рисунка 2.

Рассматривая равновесие трактора относительно задней ведущей оси, колеса которой остаются внизу при подъеме передней оси, получим:

$$Y'_n \cdot L' - G_m \cdot \cos \alpha \cdot a + G_m \cdot \sin \alpha \cdot h = 0. \tag{4}$$

Из этого выражения определим значение h :

$$h = a \cdot \operatorname{ctg} \alpha - \frac{Y'_n \cdot L'}{G_m \sin \alpha}, \tag{5}$$

где Y'_n – усилие, прикладываемое к оси передних колес при поднятии трактора с поворотом на угол α к горизонту; L' – проекция продольной базы на опорную поверхность, измеряемая по отвесам.

Вертикальная координата определяется выражением:

$$H = h + r_3. \tag{6}$$

Для определения вертикальной координаты центра тяжести или центра тяжести в таблице 3 приведены значения необходимых величин.

После подстановки числовых значений в уравнения (5) и (6) получили вертикальную координату центра тяжести трактора $H = 0,302$ м (табл. 4).

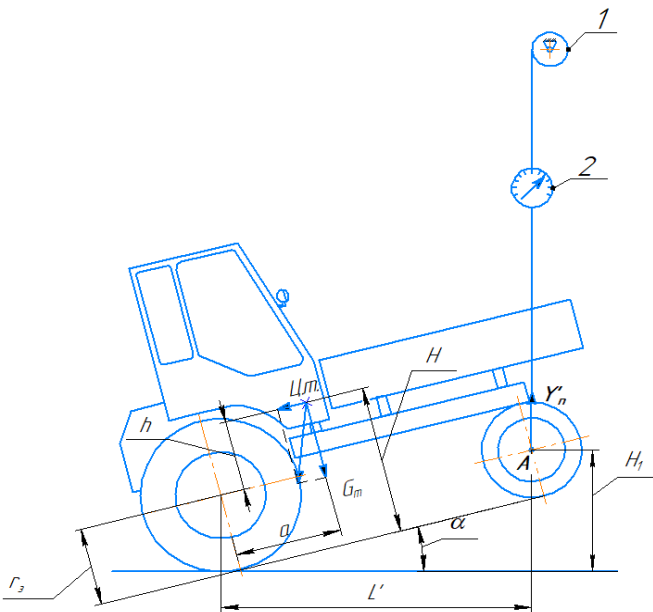


Рис. 2. Расчетная схема для определения вертикальной координаты:
1 – подъемник; 2 – динамометр;
 H – высота от центра тяжести трактора до оси, проходящей через пятно контакта переднего и заднего колес;
 H_1 – высота, на которую поднята передняя ось трактора;
 Y'_n – усилие, прикладываемое к оси передних колес при поднятии трактора с поворотом на угол α ;
 h – расстояние от центра тяжести до центра ведущей оси;
 G_m – общий вес трактора;
 L' – проекция продольной базы на опорную поверхность;
 α – угол к горизонту, на который поднят трактор;
 r_3 – радиус заднего колеса

Fig. 2. Calculation diagram for determining the vertical coordinate:
1 – hoist, 2 – dynamometer;
 H – height from the tractor's center of gravity to the axle passing through the contact patch of the front and rear wheels;
 H_1 – height to which the front axle of the tractor is raised;
 Y'_n – force applied to the axle of the front wheels when lifting the tractor with a turn at an angle α ;
 h – distance from the center of gravity to the center of the drive axle; G_m – total weight of the tractor;
 L' – projection of the longitudinal base onto the supporting surface;
 α – angle to the horizon to which the tractor is raised;
 r_3 – radius of the rear wheel

Измеряемые величины по протоколу испытаний для определения вертикальной координаты центра тяжести

Table 3

Measured values according to the test records for determining the vertical coordinate of the center of gravity

Измеряемые величины / Measured values	Значение / Value
Усилие на переднюю ось при поднятии трактора на угол α ; Y'_n , Н <i>Force on the front axle when lifting the tractor by an angle α; Y'_n, N</i>	5200
Проекция продольной базы на опорную поверхность, L' , м <i>Projection of the longitudinal base on the supporting surface, L', m</i>	2,465
Высота поднятия передней оси трактора, H_1 , м / Height of lifting the front axle of the tractor, H_1 , m	0,925
Угол поднятия трактора относительно горизонта, α , град. / Angle of lifting the tractor relative to the horizon, α , deg.	7,274

Таблица 4

Вычисляемые величины

Table 4

Calculated values	
Величина / Measured values	Значение / Value
Расстояние от оси заднего колеса до центра тяжести трактора, a , мм <i>Distance from the rear wheel axis to the tractor's center of gravity, a, mm</i>	1191,0
Расстояние от оси переднего колеса до центра тяжести трактора, b , мм <i>Distance from the front wheel axis to the tractor's center of gravity, b, mm</i>	1294,0
Смещение центра тяжести от центральной оси трактора, e , мм <i>Displacement of the center of gravity from the central axis of the tractor, e, mm</i>	4,0
Расстояние от ЦМ до центра ведущей оси, h , мм / <i>Distance from the center of mass to the center of the drive axle, h, mm</i>	-283,0
Вертикальная координата центра тяжести трактора, H , мм <i>Vertical coordinate of the tractor's center of gravity, H, mm</i>	302,0

Вертикальная и горизонтальная координаты центра тяжести трактора показали, что в результате установки электропривода произошло его смещение и, как следствие, повысилась устойчивость МЭС.

Тяговые испытания проводили в лабораторных условиях на двух фонах: почва в почвенном канале и бетонное основание.

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные исследования макетного образца МЭС на базе трактора Т-16 тягового

класса 0,6 провели при вероятностном характере внешних воздействий.

Смещение центра тяжести к позиции позволило повысить устойчивость всего трактора. Эксплуатационная масса МЭС после внесения изменений в конструкцию составила 1469,5 кг.

В результате лабораторных испытаний в почвенном канале и на бетонном основании получили экспериментальные осциллограммы тяговой нагрузки и фазных токов (рис. 3, 4).



Рис. 3. Осциллограмма тяговой нагрузки при испытаниях на бетонном основании
Fig. 3. Oscillogram of traction load during tests on a concrete base

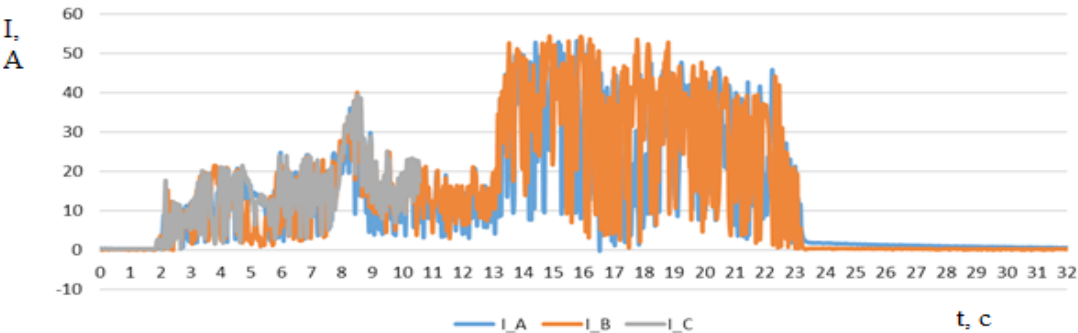


Рис. 4. Осциллограмма фазных токов при испытаниях на бетонном основании
Fig. 4. Oscillogram of phase currents during tests on a concrete base

Пиковые значения усилия на крюке МЭС, фиксированные датчиками, достигали величин свыше 10 кН, средние показатели не превышали 9 кН.

На бетонном покрытии, ввиду лучшего сцепления с опорной поверхностью, МЭС с электроприводом может преодолеть большее тяговое сопротивление (на 37%), чем на почве.

По осциллограммам провели анализ вероятностных характеристик измеренных параметров. Осциллограмму разбили на участки с установившимся режимом движения под нагрузкой. Ввиду добавления нагрузки в процессе опыта на бетонном основании таких участков два: первый – 19,56-30,56 с; второй – 30,56-41,56 с. В почвенном канале такой участок один: 7,5-9,0 с.

Параметры вероятностных характеристик фазных токов (I_A , I_B , I_C) и фазных напряжений (V_A , V_B , V_C) при испытаниях на бетонном основании и в почвенном канале приведены в таблице 5.

Гистограммы вероятностных характеристик фазных токов и фазных напряжений при испытаниях

в почвенном канале, построенные по данным таблицы 5, представлены на рисунке 5.

Параметры вероятностных характеристик тягового сопротивления при испытаниях на бетонном основании и в почвенном канале приведены в таблице 6.

Параметры вероятностных характеристик тягового сопротивления при испытаниях на бетонном основании и в почвенном канале, построенные по данным таблицы 6, представлены на рисунке 6.

Нормированная взаимная корреляционная функция (ВКФ) силы тягового сопротивления на крюке ($R_{кр}$) и силы тока фазы А при испытаниях на бетонном основании показана на рисунке 7.

Получили высокую переменную взаимную корреляцию между силой тока фазы А и силой тягового сопротивления на крюке ($R_{кр}$). При испытаниях во время разгона и торможения она положительна и отрицательна в процессе установившегося движения.

Таблица 5

Параметры вероятностных характеристик фазных токов и фазных напряжений при испытаниях на бетонном основании и в почвенном канале

Table 5

Parameters of probabilistic characteristics of phase currents and phase voltages during tests on a concrete base and in a soil channel

Параметр <i>Parameter</i>	Математическое ожидание <i>Mathematical expectation</i>	Дисперсия <i>Variance</i>	Среднее квадратическое отклонение <i>Standard square deviation</i>	Коэффициент вариации <i>Variation coefficient</i>
На бетонном основании / On a concrete base				
Участок 1 / Site 1				
I_A	12,98	51,05	7,15	0,550
I_B	12,94	57,37	7,58	0,585
I_C	14,41	53,62	7,32	0,508
V_A	226,74	6104,30	78,13	0,345
V_B	238,08	8562,72	92,54	0,389
V_C	183,99	6314,72	79,47	0,432
Участок 2 / Site 2				
I_A	26,04	238,82	15,45	0,593
I_B	27,90	266,01	16,31	0,5846
I_C	24,24	225,99	15,03	0,620
V_A	192,32	7327,32	85,56	0,445
V_B	210,21	9840,51	99,20	0,472
V_C	165,18	6244,41	79,02	0,478
В почвенном канале / In a soil channel				
I_A	34,16	153,12	12,37	0,362
I_B	27,03	195,99	13,99	0,518
I_C	28,47	144,98	12,04	0,423
V_A	182,99	7161,45	84,63	0,462
V_B	202,46	5238,52	72,38	0,357
V_C	175,27	10197,37	100,98	0,576

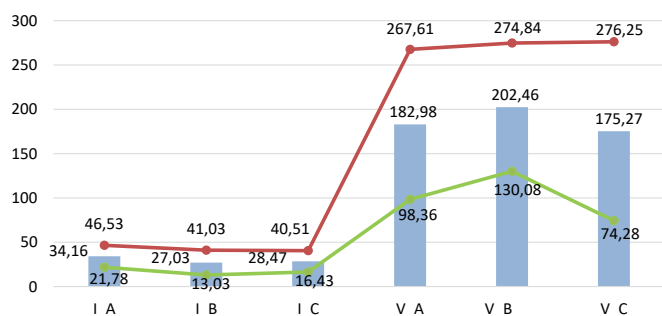


Рис. 5. Гистограмма математических ожиданий фазных токов (I, А) и фазных напряжений (V, В) при испытаниях в почвенном канале и границы среднего квадратического отклонения математического ожидания (— нижняя; — верхняя)

Fig. 5. Histogram of phase currents (I, A) and phase voltages (V, V) during tests in a soil channel and the boundaries of the average square deviation of the mathematical expectation (— lower; — upper)

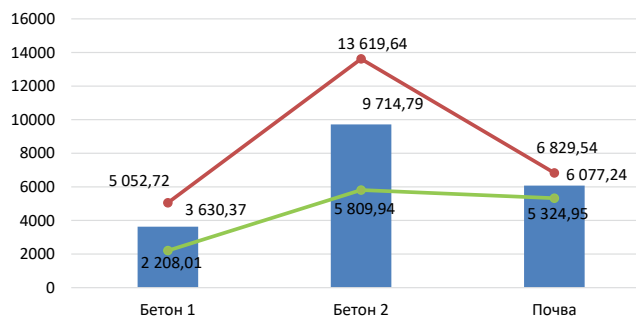


Рис. 6. Параметры вероятностных характеристик тягового сопротивления (Н) и границы среднего квадратического отклонения математического ожидания (— нижняя; — верхняя)

Fig. 6. Parameters of probabilistic characteristics of traction resistance in laboratory tests on a concrete base and in a soil channel and the boundaries of the average square deviation of the mathematical expectation (— lower; — upper)

Параметры вероятностных характеристик тягового сопротивления при испытаниях на бетонном основании и в почвенном канале

Таблица 6

Parameters of probabilistic characteristics of traction resistance during tests on a concrete base and in a soil channel

Table 6

Условия испытаний <i>Test conditions</i>	Математическое ожидание <i>Mathematical expectation</i>	Дисперсия <i>Variance</i>	Среднее квадратическое отклонение <i>Standard square deviation</i>	Коэффициент вариации <i>Variation coefficient</i>
Бетон, участок 1 <i>Concrete, site 1</i>	3630,37	2023100,02	1422,36	0,391
Бетон, участок 2 <i>Concrete, site 2</i>	9714,79	15247855,19	3904,85	0,402
Почва / Soil	6077,24	565947,71	752,29	0,124

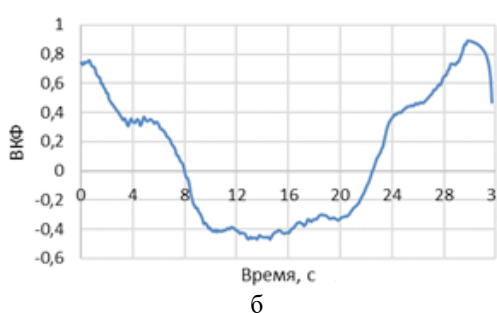
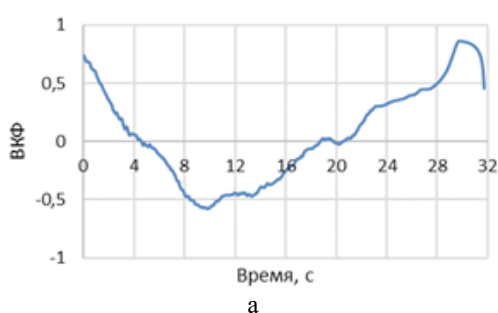


Рис. 7. Нормированная взаимная корреляционная функция при испытаниях на бетонном основании:
а – анализ сигнала от $P_{кр}$ к силе тока фазы А; б – анализ сигнала от силы тока фазы А к $P_{кр}$

Fig. 7. Normalized mutual correlation function for tests on concrete base:

а – analysis of the signal from the drawbar pull to the current intensity of Phase A;
б – analysis of the signal from the current intensity of Phase A to the drawbar pull

Нормированная взаимная корреляционная функция силы тягового сопротивления на крюке $P_{кр}$ и силы тока фазы А (анализ сигнала от $P_{кр}$ к I_a) при испытаниях на бетонном основании показывает быстрое убывание функции (до 4,0 с), в диапазоне

4,0-20,0 с наблюдается отрицательная корреляция исследуемых процессов, после 20,0 с – нарастающая положительная корреляция (рис. 7а).

Нормированная взаимная корреляционная функция силы тягового сопротивления на крюке $P_{кр}$

и силы тока фазы А (анализ сигнала от I_a к $P_{кр}$) при испытаниях на бетонном основании также показывает быстрое убывание функции (до 8,0 с), в диапазоне 8,0-20,0 с наблюдается отрицательная корреляция исследуемых процессов, после 22,0 с – нарастающая положительная корреляция (рис. 76).

Выводы

1. Результаты испытаний показали повышение устойчивости трактора в результате смещения центра тяжести.

Список источников

1. Арженовский А.Г., Козлов Д.С., Петрищев Н.А. Метод получения тяговой характеристики трактора в эксплуатационных условиях // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12, № 5. С. 25-30. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-5-25-30>
2. Юфев Л.Ю., Споров А.П. Конструкция и компоновка электрического мобильного транспортного средства для фермерского хозяйства // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69, № 3 (48). С. 89-94. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2022-69-3-89-94>
3. Трухачев В.И., Дидманидзе О.Н., Девянин С.Н. Перспективы тракторостроения в России // Чтения академика В.Н. Болтинского: Сборник статей. Москва, 17-18 января 2024 г. М.: Российский государственный аграрный университет; ООО «Сам Полиграфист», 2024. С. 43-53. EDN: BTKXKH
4. Воронников И.Л., Муравьева К.А., Петров К.А. Импортзамещение в сельскохозяйственном машиностроении России: состояние и проблемы // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 8. С. 52-57. EDN: VAIJTC
5. Годжаев З.А., Сенькевич С.Е., Алексеев И.С. и др. Математическое моделирование динамических процессов сельскохозяйственного мобильного энергетического средства на электроприводе // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25, № 1. С. 112-122. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.112-122>
6. Годжаев З.А., Сенькевич С.Е., Алексеев И.С. и др. Обоснование выбора параметров электромеханической трансмиссии для трактора тягового класса 0,6-0,9 и согласование тяговых характеристик // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 1. С. 63-70. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-63-70>
7. Юфев Л.Ю., Споров А.П., Гусаров В.А., Писарев Д.Ю. Тенденции развития сельскохозяйственной электрифицированной мобильной техники // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69, № 1 (46). С. 3-8. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2022-69-1-3-8>
8. Дидманидзе О.Н., Федоткин Р.С., Крючков В.А. и др. Предпосылки создания сельскохозяйственного трактора с гибридным и электрическим приводом // Транспортное дело России. 2024. № 1. С. 307-311. EDN: ZINYKV
9. Сенькевич С.Е., Ильченко Е.Н., Алексеев И.С. Результаты проведения экспериментальных исследований трактора, оснащенного упруго-демпфирующим механизмом при агрегатировании с сеялкой // Тракторы и сельхозмашины. 2021. Т. 88, № 4. С. 33-44. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-4-33-44>
10. Чаплыгин М.Е., Попов Р.А., Сенькевич С.Е. Расчет мощностного баланса мобильного энергетического средства с навесным адаптером для уборки лубяных культур // Аграрный научный журнал. 2023. № 9. С. 144-151. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i9pp144-151>

2. Параметры вероятностных характеристик тягового сопротивления при испытаниях на бетонном основании и в почвенном канале показали в среднем превышение до 30% среднеквадратичного отклонения на фоне «бетон» в сравнении с «почвой».

3. Макетный (опытный) образец МЭС с электроприводом подтвердил свой тяговый класс 0,6: на твердой поверхности (бетонный трек) тяговое усилие на крюке фиксировалось как 8,0...9,0 кН, на слабонесущем грунте (почвенный канал) тяговое усилие составило 4,0...6,0 кН.

References

1. Arzhenovskiy A.G., Kozlov D.S., Petrishchev N.A. Determining the traction characteristic of a tractor in operating conditions. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018;12(5):25-30. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-5-25-30>
2. Yuferev L.Yu., Sporov A.P. Design and layout of an electric mobile vehicle for farming. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2022;69(3):89-94. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2022-69-3-89-94>
3. Trukhachev V.I., Didmanidze O.N., Devyanin S.N. Prospects for tractor manufacturing in Russia. *Readings of Academician V.N. Boltinsky: Collection of papers*. Moscow, January 17-18, 2024. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; ООО “Sam Polygraphist”, 2024. Pp. 43-53. (In Russ.)
4. Vorotnikov I.L., Muraveva M.V., Petrov K.A. Import substitution in agricultural machinery in Russia: state and problems. *Science and Business: Ways of Development*. 2018;8:52-57. (In Russ.)
5. Godzhaev Z.A., Senkevich S.E., Alekseev I.S., Ilchenko E.N. Mathematical modeling of dynamic processes of agricultural mobile energy vehicles on an electric drive. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(1):112-122. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.112-122>
6. Godzhaev Z.A., Senkevich S.E., Alekseev I.S. et al. Justification of the choice of parameters of an electromechanical transmission for a tractor of traction class of 0.6-0.9 traction class and coordination of traction characteristics. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(1):63-70. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-63-70>
7. Yuferev L.Yu., Sporov A.P., Gusarov V.A. et al. Trends in the development of agricultural electrified mobile equipment. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2022;69(1):3-8. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2022-69-1-3-8>
8. Didmanidze O., Fedotkin R., Kryuchkov V. et al. Prerequisites for creation of agricultural tractors with hybrid and electric drive. *Transport Business of Russia*. 2024;1:307-311. (In Russ.)
9. Sen'kevich S.E., Il'chenko Y.N., Alekseyev I.S. Results of experimental studies of a tractor equipped with an elastic-damping mechanism when aggregated with a seeder. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2021;88(4):33-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-4-33-44>
10. Chaplygin M.E., Popov R.A., Senkevich S.E. Power balance calculation of a mobile energy vehicle with a mounted adapter for harvesting bast crops. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*. 2023;(9):144-151. (In Russ.) <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i9pp144-151>
11. Sorokin M.S., Lisychenko N.L., Yasak V.V. Conception of development of agricultural technique with the use

11. Сорокин М.С., Лисиченко М.Л., Ясак В.В. Концепция развития сельскохозяйственной техники с использованием гибридного привода // Инженерия природопользования. 2016 № 2 (6). С. 25-28. EDN: XWQUNN

12. Гусаров В.А. Силовая установка для мобильного транспортного средства класса 0,6-0,8 на базе тракторного самоходного шасси Т-16 // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15, № 2. С. 26-32. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-2-26-32>

Информация об авторах

- ¹ **Годжаев Захид Адыгезалович**, член-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор, заведующий отделом № 2 «Мобильных энергосредств»; fic51@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1665-3730>; SPIN-код: 1892-8405.
- ² **Сенькевич Сергей Евгеньевич**, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией № 2.2 «Автоматизированного привода СХТ»; umo.viesh@list.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6354-7220>; SPIN-код: 7766-6626.
- ³ **Майстренко Николай Александрович**, канд. техн. наук, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка; nmaystrenko@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1268-713X>; SPIN-код: 4636-5800.
- ⁴ **Левшин Александр Григорьевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка; alevshin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8010-4448>; SPIN-код: 1428-5710.
- ⁵ **Алексеев Илья Сергеевич**, инженер; dreeddog@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-5169-895X>; SPIN-код: 9832-7848.
- ⁶ **Ильченко Екатерина Николаевна**, инженер; kat-sama@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-3901-5706>; SPIN-код: 5672-1313.
- ⁷ **Уютлов Сергей Юрьевич**, младший научный сотрудник; s_uytov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9394-5916>; SPIN-код: 7350-1489.
- ^{1, 2, 5, 6, 7} Федеральний научний агроінженерний центр ВІМ; 109428, Російська Федерація, г. Москва, 1-й Інститутський проїзд, 5
- ^{3, 4} Російський державний аграрний університет – МСХА імені К.А. Тимирязєва; 127434, Російська Федерація, г. Москва, Тимирязєвська ул., 49

Вклад авторов:

З.А. Годжаев – руководство исследованиями, методология, верификация данных;
С.Е. Сенькевич – анализ предметной области, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;
Н.А. Майстренко – проведение исследований;
А.Г. Левшин – руководство исследованиями, методология, ресурсы. концептуализация;
И.С. Алексеев – проведение исследований;
Е.Н. Ильченко – проведение исследований, визуализация;
С.Ю. Уютлов – формальный анализ, администрирование данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 20.01.2025, после рецензирования и доработки 20.06.2025, принята к публикации 23.06.2025

of hybrid-drive. *Engineering of Nature Management*. 2016;2:25-28. (In Russ.)

12. Gusarov V.A. Power plant for a 0.6-0.8 class mobile vehicle based on the T-16 self-propelled tractor chassis. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021;15(2):26-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-2-26-32>

Author Information

- Zakhid A. Godzhaev**¹, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor, Head of Department No. 2 of Mobile Power Vehicles; fic51@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1665-3730>
- Sergey E. Senkevich**², PhD (Eng), Associate Professor, Senior Researcher, Head of Laboratory No. 2.2 of Automated Drive of the Chemical Transportation System; umo.viesh@list.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6354-7220>
- Nikolay A. Maistrenko**³, CSc (Eng), Associate Professor, Department of Machine and Tractor Fleet Operation; nmaystrenko@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1268-713X>
- Aleksandr G. Levshin**⁴, DSc (Eng), Professor, Department of Machine and Tractor Fleet Operation; alevshin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8010-4448>
- Ilya S. Alekseev**⁵, Engineer; dreeddog@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-5169-895X>
- Ekaterina N. Ilchenko**⁶, Engineer; kat-sama@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-3901-5706>
- Sergey Yu. Uytov**⁷, Junior Research Engineer; s_uytov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9394-5916>
- ^{1, 2, 5, 6, 7} Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM; 109428, Russia, Moscow, 1st Institutsky Proezd Str., 5
- ^{3, 4} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

Author Contribution

Z.A. Godzhaev – research supervision, methodology, data curation;
S.E. Senkevich – conceptualization; literature review, writing – review and editing of the manuscript conclusions;
N.A. Maistrenko – investigation;
A.G. Levshin – research supervision, formal analysis, writing – original draft;
I.S. Alekseev – investigation;
E.N. Ilchenko – investigation; visualization;
S.Yu. Uytov – formal analysis, data curation.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest and are responsible for plagiarism.

Received 20.01.2025; Revised 20.06.2025; Accepted 23.06.2025

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.3-1/-9:631.365.22

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-25-33>

Влияние конструктивных параметров приемного устройства пневмотранспортера сушилки аэродинамического нагрева на его производительность

А.И. Купреенко^{1✉}, Х.М. Исаев², А.Г. Ялоза³, О.А. Купреенко⁴, С.Х. Исаев⁵^{1, 2, 3, 4, 5} Брянский государственный аграрный университет; Брянская область, Россия¹ kupreenkoai@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>² haf-is@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>³ yalozaag@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4295-2419>⁴ 89996212885@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1765-7282>⁵ Samir.isaev.94@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>

Аннотация. Сушильная шахта модульной сушилки аэродинамического нагрева оснащена выпускным устройством в виде комбинации бесприводного выпускного устройства механического типа и пневмотранспортера. Установлено, что большое влияние на производительность пневмотранспортера оказывает конструкция его приемного устройства. Целью исследований является оценка влияния конструктивных параметров приемного устройства пневмотранспортера на его производительность. При транспортировании зерна пшеницы испытали 5 вариантов конструкций приемных устройств для материалопровода прямоугольного сечения размером 120 × 60 мм и материалопровода круглого сечения диаметром 110 мм. Установили, что максимальную производительность 422,3 кг/ч и массовую концентрацию смеси 0,9 кг/кг обеспечивает материалопровод прямоугольного сечения с защитной вставкой. Прямой выпуск и прямоугольное сечение материалопровода размером 120 × 60 мм с пассивным вибратором обеспечивают максимальную производительность 416,4 кг/ч и массовую концентрацию смеси 0,7 кг/кг. Использование выпуска длиной 3 см вместо 6 см позволяет получить производительность пневмотранспортера 466,8 кг/ч и массовую концентрацию смеси 0,89 кг/кг. Приемное устройство пневмотранспортера экспериментальной модульной сушилки аэродинамического нагрева для обеспечения его стабильной работы и производительности до 450 кг/ч должно быть снабжено прямым выпуском сечением 60 × 60 мм длиной не более 3 см, соединяющим выпускное отверстие сушилки с входным отверстием материалопровода прямоугольного сечения размером 120 × 60 мм, оборудованным пассивным вибратором. Скорость воздушного потока на входе пневмотранспортера должна быть в пределах 15,7...17,0 м/с. Использование защитной вставки в выпуске является перспективным направлением повышения производительности пневмотранспортера при условии повышения начальной скорости воздушного потока на его входе.

Ключевые слова: сушильная шахта; пневмотранспортер; приемное устройство пневмотранспортера; выпуск; выпускное отверстие; пассивный вибратор; производительность

Для цитирования: Купреенко А.И., Исаев Х.М., Ялоза А.Г., Купреенко О.А., Исаев С.Х. Влияние конструктивных параметров приемного устройства пневмотранспортера сушилки аэродинамического нагрева на его производительность // *Агроинженерия*. 2025. Т. 27, № 4. С. 25-33. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-25-33>

ORIGINAL ARTICLE

Influence of the design parameters of the intake of a pneumatic conveyor of an aerodynamic heating dryer on its efficiency

A.I. Kupreenko¹✉, Kh.M. Isaev², A.G. Yaloza³, O.A. Kupreenko⁴, S.K. Isaev⁵

^{1,2,3,4,5} Bryansk State Agrarian University; Bryansk, Russia

¹ kupreenkoai@mail.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>

² haf-is@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>

³ yalozaag@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4295-2419>

⁴ 89996212885@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1765-7282>

⁵ Samir.isaev.94@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>

Abstract. Drying shaft of the modular dryer of aerodynamic heating is equipped with an outlet in the form of a combination of a non-driven mechanical outlet and a pneumatic conveyor. It is established that the design of its intake has a great impact on the performance of the pneumatic conveyor. The research purpose was to assess the influence of design parameters of the intake of a pneumatic conveyor on its performance. When studying the transportation of wheat grain, the authors tested five design options of the intake for a material pipeline of a 120 × 60 mm rectangular cross-section and a material pipeline of a 110 mm circular cross-section. It was found that the maximum capacity of 422.3 kg/h and mass concentration of the mixture 0.9 kg/kg are provided by the rectangular cross-section material pipeline with a protective insert. The direct discharge and the rectangular cross-section of the 120 × 60 mm material pipeline with a passive vibrator ensure the maximum capacity of 416.4 kg/h and a mass concentration of the mixture of 0.7 kg/kg. When using the outlet with a length of 3 cm instead of 6 cm, one can obtain a capacity of 466.8 kg/h and a mass concentration of the mixture of 0.89 kg/kg. To ensure stable operation and a capacity up to 450 kg/h, the intake of the pneumatic conveyor of the experimental modular dryer of aerodynamic heating should be equipped with a direct outlet of a 60 × 60 mm cross-section with a length of not more than 3 cm, connecting the dryer outlet with the intake of the material pipeline of a rectangular 120 × 60 mm cross-section, equipped with a passive vibrator. The air flow velocity at the intake of the pneumatic conveyor should be within 15.7 to 17.0 m/s. The use of a protective insert in the outlet is a promising way to increase the capacity of the pneumatic conveyor under the condition of increasing the initial air flow velocity at its intake.

Keywords: drying shaft; pneumatic conveyor; pneumatic conveyor intake; outle; outlet pipe; passive vibrator; performance

For citation: Kupreenko A.I., Isaev K.M., Yaloza A.G., Kupreenko O.A., Isaev S.K. Influence of the design parameters of the intake of a pneumatic conveyor of an aerodynamic heating dryer on its efficiency. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):25-33 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-25-33>

Введение

Пневмотранспорт широко используется в технологиях послеуборочной обработки и переработки зерна¹ [1, 2] для обеспечения процесса сепарирования² [3] и транспортировки зерна [4, 5].

Аэрожелоба как разновидность пневмотранспорта применяются и в качестве сушильных установок [6-8], а также как выгрузное устройство шахтной сушилки³.

¹ Дзядзио А.М., Кеммер А.С. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях. М.: Колос, 1967. 295 с. <https://m.eruditor.one/file/1653977/>

² Терехова О.Н. Пневмоинерционное сепарирование дисперсных материалов в процессах переработки зерна: Монография. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. 200 с. EDN: QNIVSD.

³ Атаназевич В.И. Сушка зерна. М.: Агропромиздат, 1989. 240 с. <http://ilmiy.bmti.uz/blib/files/79/Сушка%20зерна.PDF>.

При разработке модульной сушилки аэродинамического нагрева на базе экспериментальной плодово-ягодной сушилки ПАПРКТО дополнительный модуль сушильной шахты для зерна был оснащен выпускным устройством в виде комбинации бесприводного выпускного устройства механического типа и пневмотранспортера с отбором воздушного потока из рабочей камеры ротора-нагревателя [9].

Испытания выпускного устройства показали его работоспособность [10]. Конструкция приемного устройства пневмотранспортера оказывает большое влияние на его производительность и другие характеристики [11-13]. Установлено, что характер истечения зерна в выпуске бесприводного выпускного устройства механического типа определяется аэродинамикой воздушного потока в зоне приемного

устройства пневмотранспортера [14]. Предложено также для снижения вихреобразования в зоне выпуска уменьшить его длину [15].

На аэродинамику в зоне выпуска можно повлиять установкой в нем защитной вставки или изменением угла наклона выпуска относительно материалопровода пневмотранспортера. В связи с этим необходимо проведение дальнейших исследований.

Цель исследований: оценить влияние конструктивных параметров приемного устройства пневмотранспортера на его производительность.

Материалы и методы

При разработке новых образцов машин для снижения их стоимости желательно использовать стандартные детали и узлы. Поэтому исследовали 2 типа производимых промышленностью материалопроводов: круглый из пластмассовых канализационных труб диаметром 110 мм и прямоугольный из пластмассовых вентиляционных воздуховодов сечением 120×60 мм.

Предварительные испытания показали, что при использовании материалопроводов меньшего сечения производительность снижается. Материалопровод большего сечения способствует снижению скорости воздушного потока и возможному нарушению работоспособности пневмотранспортера, а также увеличению удельного расхода воздуха на транспортировку зерна, снижению массовой концентрации смеси. При этом увеличение сечения заборного патрубка вследствие особенностей рабочего процесса сушки аэродинамического нагрева ведет к увеличению сброса сушильного агента через пневмотранспортер, необходимости увеличения подсоса атмосферного

воздуха и, соответственно, понижению температуры сушильного агента.

Сечение выпуска бесприводного выпускного устройства механического типа приняли как 60×60 мм – аналогично ширине выпускного отверстия выпускного механизма зерносушилки А1-УЗМ.

Защитную вставку изготовили из отвода с углом 45° канализационной трубы диаметром 50 мм путем разреза по сгибу отвода под углом 45° .

Ширина пластины вибратора (рис. 1) равна ширине профиля материалопровода в среднем его сечении с зазором 1 мм по краям. Длина пластины вибратора была принята равной 150 мм исходя из экспертной оценки характера его работы, и в дальнейшем требуется соответствующее обоснование.

Скорость воздушного потока на входе пневмотранспортера не регулировалась и определялась характеристиками работы ротора-нагревателя и сопротивлением пневмотранспортера. Без пневмотранспортера на обрезе заборного патрубка максимальная скорость воздушного потока на выходе из рабочей камеры ротора-нагревателя составляла 20 м/с.

В материалопроводе выполнили смотровые окна из листового поликарбоната, через которые осуществляли видеосъемку процесса движения зерна в приемное устройство пневмотранспортера. Исследовали 5 вариантов конструкции приемных устройств:

1 – прямой выпуск и прямоугольное сечение материалопровода размером 120×60 мм (рис. 2а);

2 – прямой выпуск с защитной вставкой и прямоугольное сечение материалопровода размером 120×60 мм (рис. 2б);

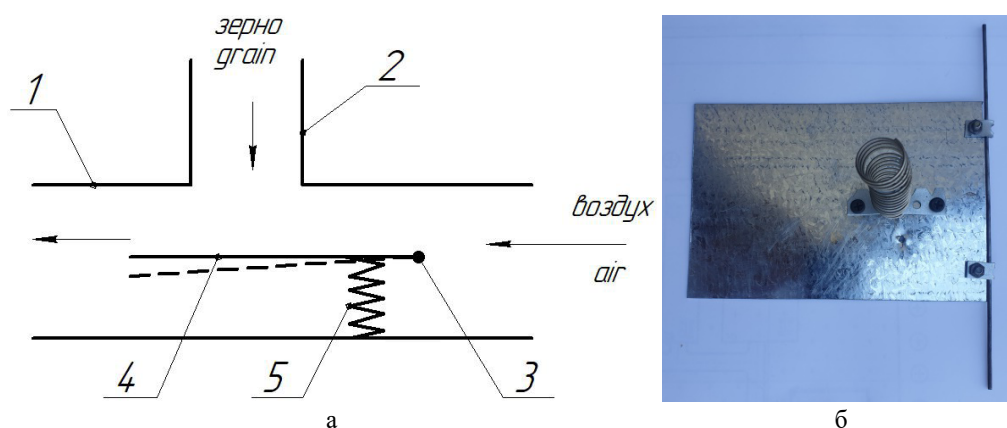


Рис. 1. Схема установки пассивного вибратора (а) и его общий вид (б):

1 – материалопровод; 2 – выпуск; 3 – ось крепления вибратора; 4 – пластина вибратора; 5 – пружина

Fig. 1. Installation diagram of the passive vibrator (a) and a general view of the vibrator (б):

1 – material line; 2 – outlet; 3 – vibrator mounting axis; 4 – vibrator plate; 5 – spring

3 – прямой выпуск и прямоугольное сечение материалопровода размером 120×60 мм с пассивным вибратором (рис. 2в);

4 – наклонный выпуск, круглое сечение материалопровода диаметром 110 мм с пассивным вибратором (рис. 3а);

5 – прямой выпуск, круглое сечение материалопровода диаметром 110 мм с пассивным вибратором (рис. 3б).

Общий вид компоновки сушилки при исследовании материалопровода прямоугольного сечения представлен на рисунке 4.

Принцип работы сушилки следующий (рис. 5). Зерно загрузочным шнековым транспортером подается в зерновой бункер сушильной шахты 8 и, распределяясь между подающими и отводящими сушильный агент коробами, под действием силы тяжести движется вниз к бесприводному выгрузному устройству. Засасываемый вследствие работы ротора-нагревателя 5 атмосферный воздух проходит через каналы комбинированного теплообменника 1,

подогревается за счет солнечной энергии и через патрубки верхнего и нижнего подсосов 3 поступает в сушильную камеру 4.

В сушильной камере 4 подогретый атмосферный воздух смешивается с отработанным сушильным агентом, поступающим из сушильной шахты 8 по отводящему воздуховоду 9, проходит через ротор-нагреватель и направляется по подводящему воздуховоду 7 в сушильную шахту 8. Часть сушильного агента отводится в материалопровод пневмотранспортера 10, обеспечивая транспортировку зерна, поступающего через зерновые заслонки, регулирующие сечение выпускного отверстия бесприводного выгрузного устройства, в выпуск, и далее – в материалопровод пневмотранспортера. В зависимости от влажности зерна на выходе пневмотранспортера оно направляется или обратно в сушильную шахту, или на выгрузку.

Испытание пневмотранспортера проводили для четырех сечений выпускного отверстия бесприводного выгрузного устройства сушильной шахты (рис. 6).

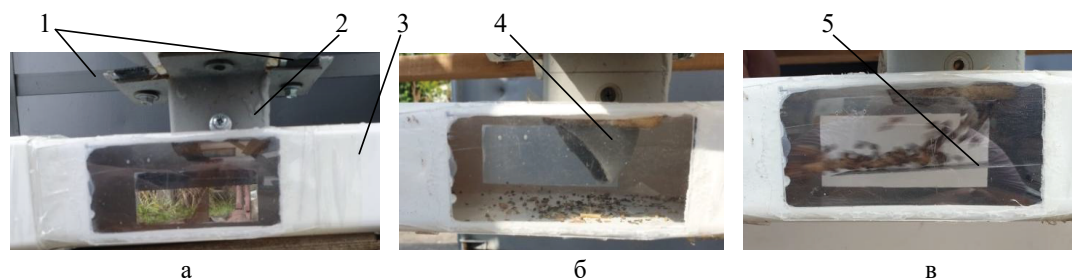


Рис. 2. Приемное устройство пневмотранспортера для материалопровода сечением 120×60 мм:

а – прямой выпуск без защитной вставки; б – прямой выпуск с защитной вставкой;
в – прямой выпуск с пассивным вибратором; 1 – зерновые заслонки; 2 – прямой выпуск;
3 – материалопровод; 4 – защитная вставка; 5 – пластина вибратора

Fig. 2. Intake of the pneumatic conveyor for a material pipeline with a cross-section of 120×60 mm:

а – direct outlet without a protective insert; б – direct outlet with a protective insert; в – direct outlet with a passive vibrator;
1 – grain flaps; 2 – direct outlet; 3 – material pipeline; 4 – protective insert; 5 – vibrator plate

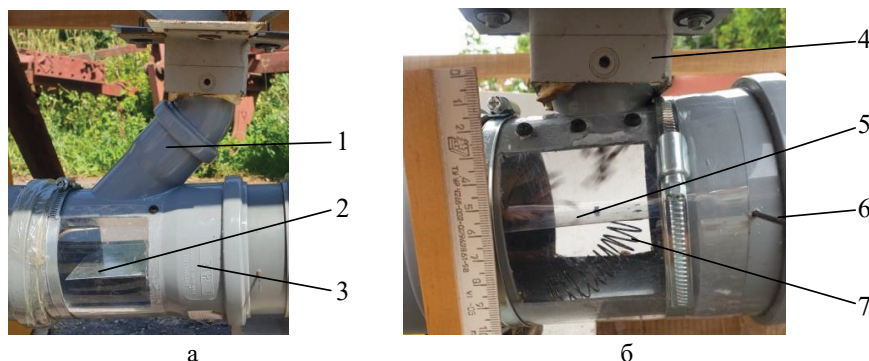


Рис. 3. Приемное устройство с пассивным вибратором для материалопровода диаметром 110 мм:

а – наклонный выпуск под углом 45° ; б – прямой выпуск под углом 90° ; 1 – наклонный выпуск; 2, 5 – пластина вибратора;
3 – материалопровод; 4 – прямой выпуск; 6 – ось крепления вибратора; 7 – пружина вибратора

Fig. 3. Intake a with passive vibrator for a 110 mm diameter material pipeline:

а – inclined discharge at an angle of 45° ; б – direct outlet at an angle of 90° ; 1 – inclined outlet;
2, 5 – vibrator plate; 3 – material pipeline; 4 – direct outlet; 6 – vibrator mounting axis; 7 – vibrator spring



Рис. 4. Сушилка с материалопроводом пневмотранспортера прямоугольного сечения 120×60 мм:

- 1 – комбинированный теплообменник; 2 – сушильная камера; 3 – отводящий воздуховод;
 4 – шкаф привода ротора-нагревателя; 5 – подводящий воздуховод; 6 – заборный патрубок пневмотранспортера;
 7 – бесприводное выгрузное устройство механического типа; 8 – материалопровод пневмотранспортера;
 9 – сушильная шахта; 10 – фильтрующее ограждение

Fig. 4. Dryer with a pneumatic conveyor line of 120×60 mm rectangular cross section:

- 1 – combined heat exchanger; 2 – drying chamber; 3 – outlet air duct; 4 – rotor-heater drive cabinet;
 5 – inlet air duct; 6 – intake pipe of the pneumatic conveyor; 7 – non-water discharge device of a mechanical type;
 8 – material pipeline of the pneumatic conveyor; 9 – drying shaft; 10 – filter enclosure

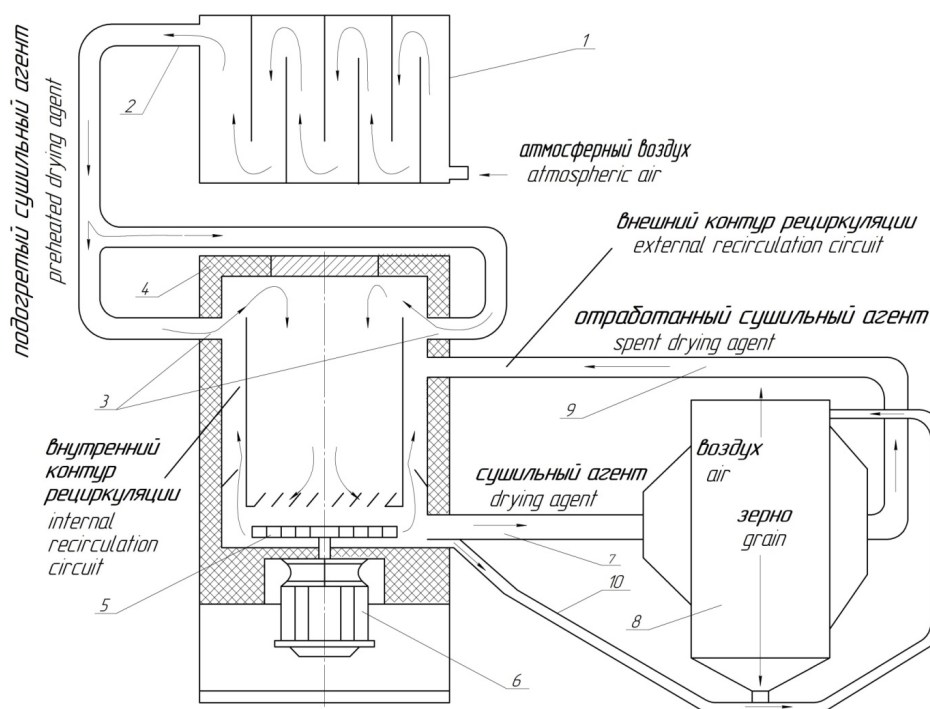


Рис. 5. Конструктивно-технологическая схема модульной сушилки:

- 1 – комбинированный теплообменник; 2 – воздуховод; 3 – патрубки верхнего и нижнего подсосов;
 4 – сушильная камера; 5 – ротор-нагреватель; 6 – приводной электродвигатель; 7 – подводящий воздуховод;
 8 – сушильная шахта; 9 – отводящий воздуховод; 10 – материалопровод пневмотранспортера

Fig. 5. Design and technological diagram of the modular dryer:

- 1 – combined heat exchanger; 2 – air duct; 3 – upper and lower suction pipes; 4 – drying chamber;
 5 – rotor-heater; 6 – driven electric motor; 7 – supply air duct; 8 – drying shaft;
 9 – exhaust air duct; 10 – material pipeline of the pneumatic conveyor

Проходное сечение выпускного отверстия формировалось открытием двух оппозитных заслонок до зазора в выпуске 18, 28, 38, 48 мм соответственно.

Производительность пневмотранспортера оценивали массой зерна, поступившей из пневмотранспортера в фильтровальный мешок в бункере сушильной шахты при различных сечениях выпускного отверстия за фиксированное время. Для определения массовой концентрации транспортируемой зерно-воздушной смеси с помощью метеометра МЭС-200 выполняли замер скорости воздушного потока на входе пневмотранспортера и с учетом площади сечения материалопроводов производили пересчет на массовый расход воздуха.

Результаты и их обсуждение

На входе пневмотранспортера скорость воздушного потока в материалопроводе круглого сечения составляла от 15,7 м/с, для прямоугольного – до 17,0 м/с.

Результаты определения производительности пневмотранспортера и массовой концентрации смеси при различной ширине выпускного отверстия в зависимости от конструкции приемного устройства представлены на рисунках 7, 8.

Анализ рисунков 7, 8 показывает, что максимальную производительность 422,3 кг/ч и массовую концентрацию смеси 0,9 кг/кг обеспечивает вариант 2 (материалопровод прямоугольного сечения с защитной вставкой). Однако при максимальном сечении выпускного отверстия происходит завал материалопровода вследствие большой подачи зерна и недостаточной в этом случае скорости воздушного потока.

Увеличить скорость воздушного потока можно за счет увеличения притока воздуха на вход ротора-нагревателя, однако в этом случае снижается температура сушильного агента. Другой вариант – использование отдельного нагнетательного вентилятора для пневмотранспортера, что связано с дополнительными затратами. Однако в процессе сушки от пневмотранспортера не требуется обеспечения максимальной производительности. Время сушки зерна в дополнительном модуле составляет порядка 60...120 мин в зависимости от влажности зерна и температуры сушильного агента [13]. Данное время сушки при вместимости сушильной шахты 450 кг соответствует производительности пневмотранспортера 225...450 кг/ч. Поэтому задача пневмотранспортера – обеспечить надежную циркуляцию зерна по сушильной шахте либо его разгрузку в течение этого времени при минимальных затратах на процесс и механических воздействиях на зерно.

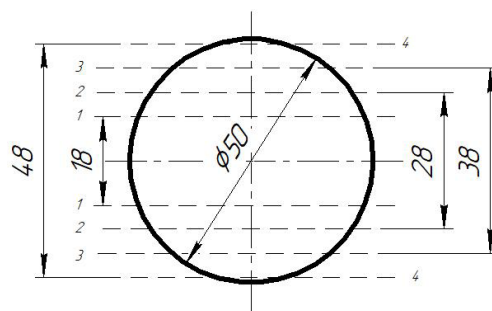


Рис. 6. Сечения выпускного отверстия (размеры, мм)

Fig. 6. Outlet cross-sections (dimensions in mm)

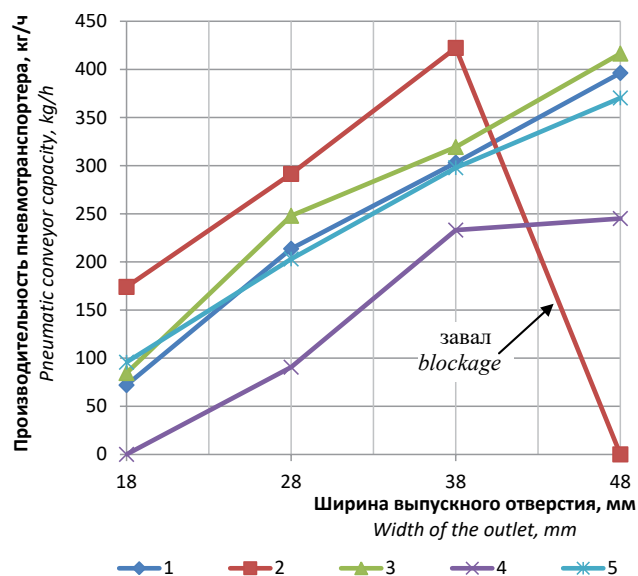


Рис. 7. Производительность пневмотранспортера в зависимости от варианта исполнения приемного устройства материалопровода

Fig. 7. Performance of the pneumatic conveyor depending on the pipeline intake design

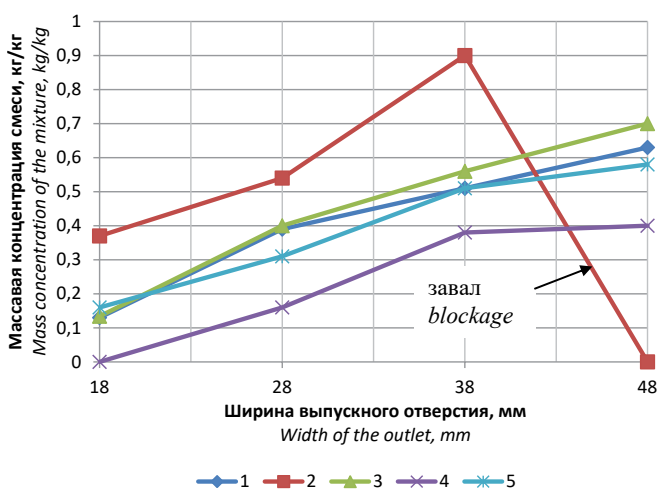


Рис. 8. Массовая концентрация смеси в зависимости от варианта исполнения приемного устройства материалопровода

Fig. 8. Mass concentration of the mixture depending on the pipeline intake design

Максимальная производительность пневмотранспортера требуется при разгрузке последней партии зерна из сушильной шахты. В данном случае при открытии двери сушильной камеры обеспечивается максимальный приток воздуха на вход ротора-нагревателя, скорость воздушного потока в материалопроводе составляет порядка 20 м/с, и производительность пневмотранспортера достигает своего максимального значения в зависимости от конструкции приемного устройства.

Кроме выпуска с защитной вставкой, максимальную производительность 416,4 кг/ч и массовую концентрацию смеси 0,7 кг/кг обеспечивает вариант 3 (прямой выпуск и прямоугольное сечение материалопровода размером 120 × 60 мм с пассивным вибратором).

Примерно равные характеристики с вариантом 1 (прямой выпуск и прямоугольное сечение материалопровода размером 120 × 60 мм) имеет вариант 5 (прямой выпуск и круглое сечение материалопровода диаметром 110 мм с пассивным вибратором).

Наименьшую производительность и массовую концентрацию смеси показал вариант 4 (наклонный выпуск с круглым сечением материалопровода диаметром 110 мм и пассивным вибратором). Здесь определяющую негативную роль сыграл наклонный выпуск, создающий большее сопротивление истечению зерна. Тем не менее наличие пассивного вибратора и в этом случае повышает производительность пневмотранспортера за счет улучшения условий истечения зерна из выпуска.

С целью снижения турбулентности воздушного потока в зоне выпускного отверстия длину выпуска уменьшили с 6 до 3 см так, чтобы оставалась возможность для крепления приемного устройства материалопровода круглого сечения.

Проведенные исследования (рис. 9) показали, что использование выпуска длиной 3 см и пассивного вибратора позволяет получить максимальную производительность пневмотранспортера 466,8 кг/ч и максимальную массовую концентрацию смеси 0,9 кг/кг, что больше на 8,8 и 23,8% соответствующих значений выпуска длиной 6 см с пассивным вибратором.

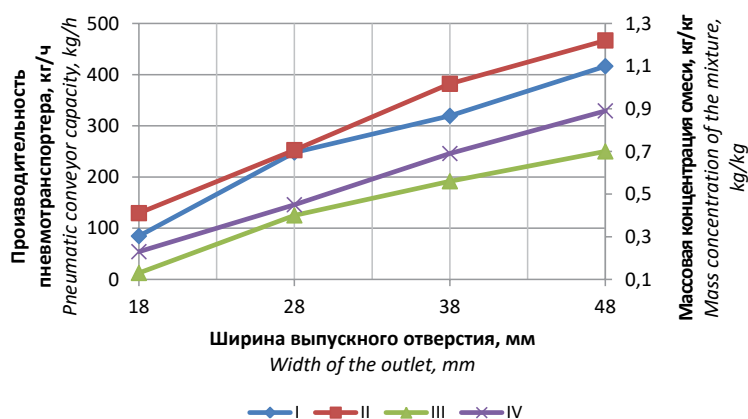


Рис. 9. Зависимость производительности пневмотранспортера и массовой концентрации смеси от ширины выпускного отверстия:

I – производительность при длине выпуска 6 см; II – производительность при длине выпуска 3 см;
III – массовая концентрация смеси при длине выпуска 6 см; IV – массовая концентрация смеси при длине выпуска 3 см

Fig. 9. Dependency of the pneumatic conveyor performance and the mass concentration of the mixture on the outlet width:

I – performance with an outlet length of 6 cm; II – performance with an outlet length of 3 cm;

III – mass concentration of the mixture with an outlet length of 6 cm;

IV – mass concentration of the mixture with an outlet length of 3 cm

Выводы

Приемное устройство пневмотранспортера экспериментальной модульной сушилки аэродинамического нагрева производительностью до 450 кг/ч должно быть снабжено прямым выпуском сечением 60 × 60 мм длиной не более 3 см, соединяющим выпускное отверстие сушилки с входным отверстием материалопровода прямоугольного сечения размером 120 × 60 мм, оборудованным пассивным вибратором. Скорость воздушного потока на входе

пневмотранспортера должна быть в пределах 15,7...17,0 м/с. При отмеченных параметрах приемного устройства пневмотранспортера обеспечиваются его стабильная работа и требуемая производительность.

Использование защитной вставки в выпуске является перспективным направлением повышения производительности пневмотранспортера при условии повышения начальной скорости воздушного потока на его входе.

Список источников

1. Kazakbaev S.Z., Karymsakov N.S. Progressive machines for pre-cleaning of grain. *ISJ Theoretical & Applied Science*. 2022;5(109):870-879. <https://doi.org/10.15863/TAS.2022.05.109.84>
2. Сычуготов Ю.В., Казаков В.А. Новые технологии и технические средства после уборочной обработки и переработки зерна // Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза. Варшава: Технологический институт, национальный исследовательский институт, 2021. Т. XXVII. С. 199-205. EDN: WYWDYL
3. Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А., Мокиев В.Ю. Исследование инерционного отделителя пневмозагрузчика клеверотерки // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 4-10. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-4-10>
4. Непочатой В.Н., Черныш А.П., Дубоделов Р.Н. Исследование изменения скорости течения псевдоожиженного зернового слоя от угла наклона плоскости рабочего органа зерносушилки // Тенденции сельскохозяйственного производства в современной России: Материалы XII Международной научно-практической конференции. Кемерово: Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт, 2013. С. 14-18. EDN: RJONKV
5. Афанасьев А.И., Потапов В.Я., Костюк П.А. Основы расчета пневматических устройств (ПУ) для транспортирования сыпучих смесей // Фундаментальные исследования. 2015. № 10-1. С. 9-11. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39115> (дата обращения: 24.02.2025).
6. Волженцев А.В., Коношин И.В., Булавинцев Р.А. и др. Псевдоожижение как система агент сушки – зерно // Агротехника и энергообеспечение. 2020. № 1 (26). С. 14-19. EDN: HTZHSI
7. Волженцев А.В., Коношин И.В., Булавинцев Р.А., Звекон А.М. Сушка зерна в псевдоожиженном слое // Агротехника и энергообеспечение. 2020. № 4 (29). С. 42-48. EDN: HLOLZY
8. Кузнецов Ю.А., Кравченко И.Н., Сиротов А.В. и др. Проектирование зерносушилок с псевдоожиженным зерновым слоем // Сельский механизатор. 2018. № 5. С. 22-23. EDN: UWPJLW
9. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Михайличенко С.М. и др. Сушилка аэродинамического нагрева модульного типа // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2022. № 1 (21). С. 218-222. EDN: XMSPYM
10. Ожерельев В.Н., Купреенко А.И., Исаев Х.М.О., Купреенко О.А. Сравнительная эффективность использования модульной сушилки аэродинамического нагрева // Современные тенденции развития аграрной науки: Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. Брянск, 2023. С. 199-203. EDN: NPYJLF
11. Тарасов В.П., Мухопад К.А. Влияние характеристик приемно-питающих устройств на устойчивость пневмотранспортирования сыпучих материалов // Ползуновский вестник. 2012. № 2-2. С. 127-130. EDN: PADXUD
12. Тарасов В.П., Левин О.Л. Влияние способа загрузки материалопровода на параметры процесса пневмотранспортирования // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2003. № 4 (275). С. 92-94. EDN: QCPJOJ
13. Купреенко А.И., Исаев Х.М.О., Ялоза А.Г., Купреенко О.А. К определению скорости истечения зерна из сушильной шахты в пневмотранспортер сушилки // Современные тенденции развития аграрной науки: Сборник научных трудов

References

1. Kazakbaev S.Z., Karymsakov N.S. Progressive machines for pre-cleaning of grain. *ISJ Theoretical & Applied Science*. 2022;5(109):870-879. <https://doi.org/10.15863/TAS.2022.05.109.84>
2. Sychugov Yu.V., Kazakov V.A. New technologies and technical means of post-harvesting grain treatment and processing. *Problems of Intensification of Animal Production including Environment Protection and Alternative Energy Production as well as Biogas*. Vol. XXVII. Warsaw: Institute of Technology and Life Sciences, National Research Institute. 2021. Pp. 199-205. (In Russ.)
3. Burkov A.I., Glushkov A.L., Lazykin V.A., Mokiev V.Yu. Study of the inertial separator of the clover thresher with a pneumatic loader. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(5):4-10. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-4-10>
4. Nepchatoy V.N., Chernysh A.P., Dubodelov R.N. Study of changes in the flow velocity of a fluidized grain layer depending on the inclination angle of the plane of the working tool of the grain dryer. *Trends in Agricultural Production in Modern Russia*. Proceedings of XII International Scientific and Practical Conference. Kemerovo. 2013. Pp. 14-18. (In Russ.)
5. Afanasyev A.I., Potapov V.Ya., Kostyuk P.A. Basis of calculation of a pneumatic device (pd) for transporting bulk mixtures. *Fundamental Research*. 2015;10-1:9-11. <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39115> (accessed: 02/24/2025). (In Russ.)
6. Volzhentsev A.V., Konoshin I.V., Bulavintsev R.A. et al. Fluidization as a system of the drying agent grain. *Agrotehnika i Energoobespechenie*. 2020;1(26):14-19. (In Russ.)
7. Volzhentsev A.V., Konoshin I.V., Bulavintsev R.A., Zvekov A.M. Drying of wheat grain in a fluidized bed. *Agrotehnika i Energoobespechenie*. 2020;4(29):42-48. (In Russ.)
8. Kuznetsov Yu.A., Kravchenko I.N., Siroto A.V. et al. Designing grain dryers with fluidized grain layer. *Selskiy Mekhanizator*. 2018;5:22-23. (In Russ.)
9. Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Mikhailichenko S.M. et al. Modular type aerodynamic heating dryer. *Konstruirovaniye, Ispolzovanie i Nadezhnost Mashin Selskokhozyaystvennogo Naznacheniya = Design, Use and Reliability of Agricultural Machinery*. 2022;1(21):218-222. (In Russ.)
10. Ozherelev V.N., Kupreenko A.I., Isaev Kh.M.O., Kupreenko O.A. Comparative efficiency of using a modular dryer for aerodynamic heating. *Current Trends in the Development of Agricultural Science. Proceedings of the II International scientific and practical conference*. Bryansk, 2023. Pp. 199-203. (In Russ.)
11. Tarasov V.P., Mukhopad K.A. The influence of characteristics of receiving and feeding devices on the stability of pneumatic conveying of bulk materials. *Polzunovskiy Vestnik*. 2012;2-2:127-130. (In Russ.)
12. Tarasov V.P., Levin O.L. Influence of the material pipeline loading method on the parameters of the pneumatic conveying process. *Izvestiya Vuzov. Food technology*. 2003;4(275):92-94. (In Russ.)
13. Kupreenko A.I., Isaev Kh.M.O., Yaloza A.G., Kupreenko O.A. On determining the rate of grain outflow from the drying shaft into the pneumatic conveyor of the dryer. *Current Trends in the Development of Agricultural Science. Proceedings of the II International scientific and practical conference*. Bryansk, 2023. Pp. 203-208. (In Russ.)
14. Kupreenko A.I., Isaev H.M., Isaev S.H. Comparative tests of the pneumatic conveyor of the aerodynamic heating dryer. *Konstruirovaniye, Ispolzovanie i Nadezhnost Mashin Selskokhozyaystvennogo Naznacheniya = Design, Use and Reliability of Agricultural Machinery*. 2024;1(23):35-41. (In Russ.)

II Международной научно-практической конференции. Брянск, 2023. С. 203-208. EDN: DCDGNY

14. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Исаев С.Х. и др. Сравнительные испытания пневмотранспортера сушилки аэродинамического нагрева // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2024. № 1 (23). С. 35-41. EDN: CVJSKX

15. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Ялоза А.Г., Купреенко О.А. К обоснованию конструкции приемного устройства пневмотранспортера сушилки аэродинамического нагрева // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 1 (107). С. 58-61. EDN: DBEGES

Информация об авторах

¹ Купреенко Алексей Иванович, д-р техн. наук, профессор; kupreenkoai@mail.ru[✉];

<https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>;
SPIN-код: 9985-0975, AuthorID: 702385

² Исаев Хафиз Мубариз-оглы, канд. экон. наук, доцент, заведующий кафедрой; haf-is@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>;
SPIN-код: 1420-4155, AuthorID: 332446

³ Ялоза Андрей Григорьевич, инженер; yalozaag@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-4295-2419>

⁴ Купреенко Олег Алексеевич, аспирант; 89996212885@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-1765-7282>;
SPIN-код: 7925-2899, AuthorID: 1247347

⁵ Исаев Самир Хафизович, канд. техн. наук, доцент; Samir.isaev.94@inbox.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>;
SPIN-код: 3228-5096, AuthorID: 1128147

^{1, 2, 3, 4, 5} Брянский государственный аграрный университет; 243365, Российская Федерация, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, д. 2а

Вклад авторов

А.И. Купреенко – разработка общей концепции, проведение исследований;

Х.М. Исаев – формальный анализ и верификация данных;

А.Г. Ялоза – создание черновика рукописи, проведение исследований;

О.А. Купреенко – визуализация, проведение исследований;

С.Х. Исаев – доработка рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 25.02.2025, после рецензирования и доработки 06.03.2025; принята к публикации 10.03.2025

15. Kupreenco A.I., Isaev Kh.M., Yaloza A.G. To substantiation of the design of the pneumatic conveyor receiver of an aerodynamic heating dryer. *Vestnik Bryanskoy GSKhA*. 2025;1(107):58-61. (In Russ.)

Author Information

Aleksey I. Kupreenco¹, DSc (Eng), Professor;

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

Khafiz M. Isaev², CSc (Econ), Associate Professor;

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

Andrey G. Yaloza³, engineer; yalozaag@mail.ru;

<https://orcid.org/0000-0002-4295-2419>

Oleg A. Kupreenco⁴, PhD student; 89996212885@mail.ru;

<https://orcid.org/0000-0002-1765-7282>

Samir Kh. Isaev⁵, CSc (Eng); Associate Professor;

Samir.isaev.94@inbox.ru;

<https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>

^{1,2,3,4,5} Bryansk State Agrarian University; Russia, 243365, Bryansk region, Vygonichi district, Kokino, Sovetskaya Str., 2a

Author Contribution

A.I. Kupreenco – conceptualization, investigation;

Kh.M. Isaev – formal analysis and data verification;

A.G. Yaloza – writing – original draft, investigation;

O.A. Kupreenco – visualization, investigation;

S.H. Isaev – writing – review 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 25.02.2025; Revised 06.03.2025; Accepted 10.03.2025

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.365.22

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-34-39>**Хозяйственная проверка технологии осциллирующей сушки зерна****М.Г. Загоруйко¹, И.А. Башмаков²**^{1,2} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия¹ zagorujko.misha2013@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7826-3773>² i-go-r-2015@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0511-2880>

Аннотация. Осциллирующая сушка в зерносушилках позволяет повышать температуру сушильного агента без изменения конечной температуры материала. Исследования осциллирующего режима сушки в основном ограничены псевдоожиженным и плотным неподвижным слоем. Режимы осциллирующей сушки в опускающемся плотном слое, характерном для большинства колонковых и шахтных зерносушилок, практически не изучены. Исследования проведены с целью определения эффективности осциллирующей сушки и адекватности основных параметров работы зерносушилки СЗТ-16. Хозяйственную проверку зерносушилки провели в фермерском хозяйстве Саратовской области. В шахтной зерносушилке СЗТ-16 исследовали 6 режимов сушки зерна при постоянной и переменной температуре агента. Зерно высушивали от исходной влажности 19% до 12...13%. Осциллирующий режим организовывали отключением топki, через которую подавали агент сушки в сушилку. В рамках исследуемых режимных параметров обнаружили, что при осциллирующем режиме обеспечивается безопасная и энергоэффективная сушка: температура зерна изменяется в пределах $\pm 2...4^{\circ}\text{C}$ от его предельно допустимых значений, а средняя температура отработанного агента сушки – на $2...3^{\circ}\text{C}$ ниже, чем при использовании постоянного температурного режима. Для реализации безопасной работы жидкостной топki с периодами нагрева и охлаждения не менее 8 мин допускается охлаждение топki до температуры не выше 45°C при ступенчатой подаче топлива во время пуска. Применение осциллирующего режима сушки на зерносушилках с постоянным температурным режимом (при постоянной подаче агента сушки) позволит увеличить их производительность за счет интенсификации процесса сушки, а также снизить удельные затраты топлива (до 13%). Результаты исследований позволят решить проблему снижения энергоемкости процесса сушки зерна за счет модернизации зерносушилок с постоянным температурным режимом работы.

Ключевые слова: зерносушилка; осциллирующая сушка; зерно; влажность зерна; температура зерна; температура агента

Для цитирования: Загоруйко М.Г., Башмаков И.А. Хозяйственная проверка технологии осциллирующей сушки зерна // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 4. С. 34-39. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-34-39>

ORIGINAL ARTICLE

On-farm test of the oscillating grain drying technique**M.G. Zagoruiko¹, I.A. Bashmakov²**^{1,2} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia¹ zagorujko.misha2013@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7826-3773>² i-go-r-2015@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0511-2880>

Abstract. Oscillating drying in grain dryers implies that the temperature of the drying agent can be increased without changing the final temperature of the material. Research on oscillating drying modes is mainly limited to fluidized and dense fixed beds. There still have been little studies on the oscillating drying modes in descending dense beds, which are typical for most column and shaft grain dryers. The study aimed to determine the effectiveness of oscillating drying and the adequacy of the main operating parameters of the SZT-16 grain dryer. The grain dryer was tested on a farm in the Saratov region. Six grain drying modes were studied in the SZT-16 shaft grain dryer at constant and variable agent temperatures. The grain was dried from an initial moisture content of 19% to 12-13%. The oscillating mode was actuated by switching off the furnace unit, through which the drying agent was fed into the dryer. Within the studied mode parameters, it was found that the oscillating mode ensures safe and energy-efficient drying: the grain temperature varies within ± 2 to 4°C from its maximum permissible values,

and the average temperature of the spent drying agent is 2-3°C lower than when using a constant temperature mode. To ensure safe operation of the liquid furnace with heating and cooling periods of at least eight minutes, the furnace unit may be cooled to a temperature not exceeding 45°C with a stepwise fuel supply during the start-up. The use of an oscillating drying mode in grain dryers operating at a constant temperature (with the constant supply of a drying agent) will increase their throughput capacity by intensifying the drying process and reducing specific fuel consumption (up to 13%). The study results will help solve the problem of reducing the energy intensity of grain drying by modernizing grain dryers with a constant temperature mode.

Keywords: grain dryer; oscillating drying; grain; moisture content of grain; grain temperature; agent temperature

For citation: Zagoruiko M.G., Bashmakov I.A. On-farm test of the oscillating grain drying technique. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):34-39 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-34-39>

Введение

Сушка повышает качество зерна и семян и является обязательным этапом технологического процесса производства сельскохозяйственной продукции в условиях повышенной влажности. Зерно, высушенное до оптимального уровня влажности, способно храниться в течение длительного времени, обеспечивая тем самым сохранность продукта и возможность его дополнительного производства и консервации. Это в свою очередь позволяет использовать часть посевных площадей для выращивания альтернативных культур, что дает значительный экономический эффект в масштабах страны [1, 2].

Инновационные технологии сушки предусматривают переменный теплоподвод, который по сравнению с постоянным характеризуется существенным снижением удельных затрат теплоты [3, 4]. Одной из таких применяемых технологий является осциллирующая сушка, позволяющая повышать температуру сушильного агента без увеличения конечной температуры материала [5, 6].

Известные исследования осциллирующего режима сушки в основном ограничены рассмотрением псевдоожиженного и плотного неподвижного слоя [7-9]. Режимы осциллирующей сушки в опускающемся плотном слое, характерном для большинства колонковых и шахтных зерносушилок, практически не исследованы. Однако эти режимы могут внести наибольший вклад в разработку энергосберегающей технологии сушки семян и зерна наряду с двухэтапной и изотермическими технологиями [10, 11].

Необходимо определить эффективность осциллирующего режима сушки в рамках экономических параметров, уделив особое внимание сушилке СЗТ-16. Отметим, что на эффективность режимов сушки влияет множество факторов, которые сложно спрогнозировать. Например, при неисправности топki (забивание горелки) возможны колебания в подаче агента сушки, что вызывает перегрев зерна либо его недогрев и увеличение времени сушки. Нарушение эксплуатации, механические повреждения, забивание

решет зерносушилки тоже отрицательно сказываются на процессе сушки и его результатах.

Цель исследований: определить эффективность осциллирующей сушки и адекватность основных параметров работы зерносушилки СЗТ-16.

Материалы и методы

Хозяйственную проверку осциллирующей сушки провели в фермерском хозяйстве «КФХ Вязов В.В.» Екатериновского района Саратовской области. В шахтной зерносушилке СЗТ-16 исследовали 6 режимов сушки зерна при постоянной и переменной температуре агента.

Зерно высушивали от исходной влажности ~19% до конечной 12...13%. Осциллирующий режим организовывали периодическим отключением топki, через которую подавали сушильный агент в сушилку. Характеристики исследуемых режимов при проведении испытаний представлены в таблице 1.

При осциллирующей сушке этап цикла «Сушка» включает в себя нагрев и охлаждение, а далее, по окончании процесса сушки, – охлаждение зерна и выгрузка.

Циклическая сушка подразумевает очередность этапов: загрузка – сушка – охлаждение – выгрузка зерна.

Продолжительность циклического процесса сушки (опыты 1, 2, 4, 5), включающего в себя сушку и охлаждение, в среднем составляет около 2-3 ч. Для осциллирующей сушки цикл 16 мин (8 мин нагрев и 8 мин охлаждение) выбран согласно расчету по эксперименту на лабораторной установке, а цикл в 40 мин (20 мин нагрев и 20 мин охлаждение) – из условий повторного включения жидкостной топki по достижении температуры ее топочной камеры не более 35°C. Анализ включал в себя измерение влажности зерна, а также влажность и температуру поступающего и отработанного агента сушки в процессе нагрева (τ_n) и охлаждения (τ_{ox}). Отметим, что во время циклического процесса сушки охлаждающий вентилятор не работал, и зерно оставалось охлаждаться в охладительной камере.

Таблица 1

Исходные данные для проведения исследований

Table 1

Initial data for conducting research

№ опыта <i>No. of experiments</i>	Режим работы сушилки <i>Grain dryer operating mode</i>		Температура агента сушки, °С <i>Drying agent temperature, °C</i>
1	При постоянной температуре <i>At constant temperature</i>	Циклическая сушка / <i>Cyclic drying</i>	65
2		Циклическая сушка / <i>Cyclic drying</i>	85
3		Поточная сушка / <i>In-line drying</i>	75
4	Осциллирующая сушка <i>Oscillating drying</i>	Циклическая сушка (20 мин нагрев + 20 мин охлаждение) <i>Cyclic drying (20 min heating + 20 min cooling)</i>	$t_{max}/t_{min} = 85/26$
5		Циклическая сушка (8 мин нагрев + 8 мин охлаждение) <i>Cyclic drying (8 min heating + 8 min cooling)</i>	$t_{max}/t_{min} = 85/26$
6		Поточная сушка (8 мин нагрев + 8 мин охлаждение) <i>In-line drying (8 min heating + 8 min cooling)</i>	$t_{max}/t_{min} = 90/26$

Продолжительность поточной сушки партии зерна (опыты 3, 6) составляла в среднем 3,5 ч. В течение 2,0-2,5 ч этого времени при установившемся режиме проводили измерения и исследования, аналогичные циклической сушке.

Расход жидкого топлива измеряли по степени его уменьшения в баке (каждые 0,5 ч с погрешностью $\pm 2...3\%$).

Уровень влажности зерна, как предварительно очищенного, так и высушенного, измеряли с интервалом 5-10 мин. Аналогично температура агента сушки и зерна на выходе из сушильной камеры измерялась с интервалом 5-10 мин. Замеры температуры и относительной влажности отработанного агента сушки проводили в 4 точках по высоте сушилки с фиксацией показаний каждые 20 мин прибором «Терем-4». Расход агента сушки составлял 57 тыс. м³/ч.

Схема движения зерна и агента сушки в зерносушилке СЗТ-16 представлена на рисунке 1.

Процесс работы сушилки выглядит следующим образом.

Предварительно очищенное зерно подается в надсушильный бункер 2 через норию 1. Отсюда зерно поступает в сушильные секции 3, проходит через инвертор 4 и затем поступает в охлаждающие секции 5. Затем зерно подается роторами 6 в разгрузочное устройство 9 и на разгрузочную норию 10. Распределитель потока 14 направляет зерно либо на циркуляцию (работа в режиме «На себя»), либо на дальнейшую обработку. Приготовленный в нагревателе 8 агент сушки подается вентилятором в пространство между шахтами. Затем он проходит через движущийся слой зерна и выводится наружу. Процесс охлаждения осуществляется вентилятором 7,

Работа в режиме рециркуляции / Recirculation mode

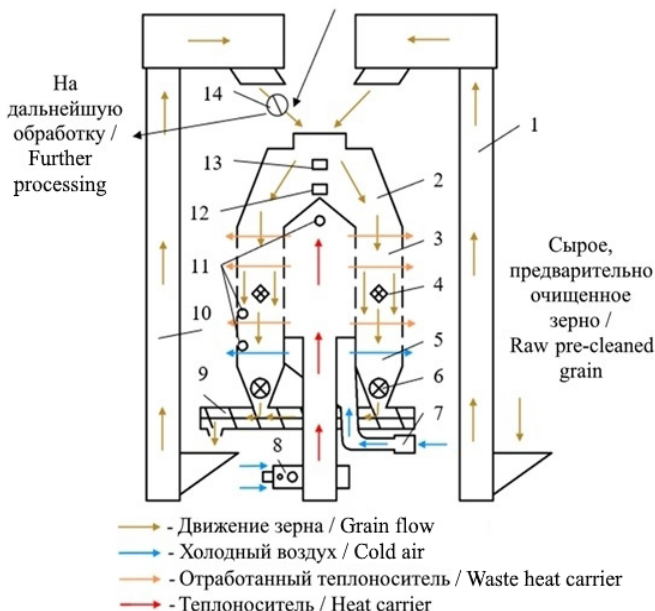


Рис. 1. Технологическая схема сушилки СЗТ-16:

- 1 – загрузочная нория; 2 – надсушильный бункер;
3 – сушильные секции; 4 – инвертор;
5 – охлаждающие секции;
6 – ротор разгрузочного устройства;
7 – вентилятор охлаждения; 8 – нагреватель;
9 – разгрузочное устройство; 10 – разгрузочная нория;
11 – датчик термопреобразователя сопротивления TCM;
12 – датчик нижнего уровня зерна;
13 – датчик верхнего уровня зерна;
14 – распределитель потоков зерна

Fig. 1. Technological design of a SZT-16 dryer:

- 1 – grain elevator; 2 – drying hopper; 3 – drying sections;
4 – inverter; 5 – cooling sections; 6 – rotor of unloading device;
7 – cooling fan; 8 – heater; 9 – unloading device;
10 – delivery elevator; 11 – sensor of a copper thermal resistance converter (CTRC); 12 – sensor of lower grain level;
13 – sensor of upper grain level; 14 – flow distributor

который подает в секции охлаждения внешний холодный воздух. После охлаждения зерна отработанный теплоноситель выводится из системы.

Результаты и их обсуждение

Основные результаты испытаний приведены на рисунках 2-4 и в таблице 2.

Процесс сушки происходил в период падения скорости сушки (достижения критического

влагосодержания). Характер кривых оставался неизменным в экспериментах, где агент сушки подавался непрерывно или периодически. При осциллирующей сушке колебания максимальной температуры агента сушки составили $\pm 2...3^{\circ}\text{C}$ относительно температуры агента сушки (t_1), а колебания минимальной температуры – $\pm 3...4^{\circ}\text{C}$ относительно наружного воздуха.

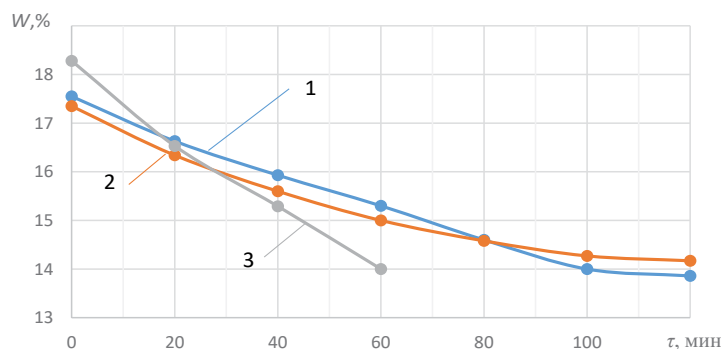


Рис. 2. Зависимость влажности зерна W от времени сушки τ (1, 2, 3 – номера опытов)

Fig. 2. Relationship between grain moisture content W and drying time τ (1, 2, 3 – numbers of experiments)

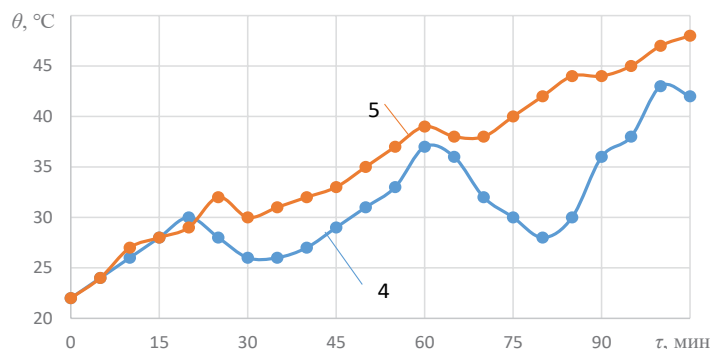


Рис. 3. Температура нагрева зерна θ в зависимости от времени сушки τ (4, 5 – номера опытов)

Fig. 3. Grain heating temperature θ as a function of drying time τ (4, 5 – numbers of experiments)

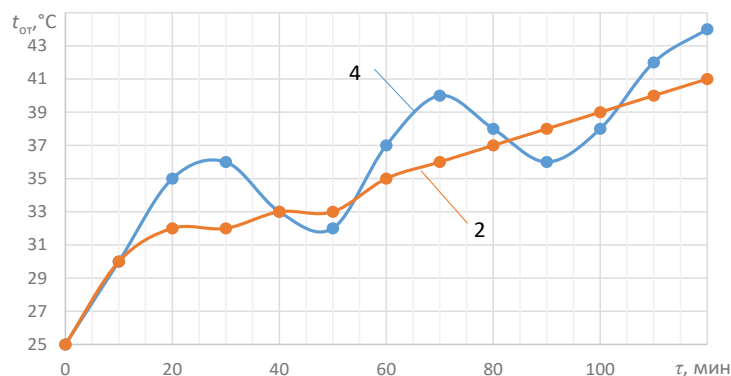


Рис. 4. Изменение температуры отходящего агента сушки t_{ox} от времени сушки τ (2, 4 – номера опытов)

Fig. 4. Variation of removed drying agent temperature t_{ox} depending on drying time τ (2, 4 – numbers of experiments)

Таблица 2

Основные показатели процесса сушки

Table 2

Main indicators of experiments

Показатель Parameter	№ опыта / No. of experiment					
	1	2	3	4	5	6
	Постоянная температура Constant temperature			Осциллирующий режим Oscillating mode		
Производительность, т/ч / Dryer capacity, t/h	12,2	12,4	12,2	11,5	12,8	12,2
Длительность сушки, ч / Drying time, h	1,9	1,25	–	2	2	–
Влажность зерна, % / Grain moisture content, %						
– до сушки / before drying	17,4	18,1	18,1	17,2	17,3	17,3
– после сушки / after drying	13,6	14,1	13,6	14,0	13,9	13,8
Температура зерна после сушки, °C Grain temperature after drying, °C	42	47	44	39	40	41
Температура зерна после охлаждения, °C Grain temperature after cooling, °C	30	30	34	30	31	29
Снижение влажности зерна, % Reduction of grain moisture content, %	3,6	3,9	4,4	3,2	3,4	3,5
Количество испаренной влаги, кг/ч Amount of evaporated moisture, kg/h	500	635	619	430	466	490
Расход топлива, кг/ч / Fuel consumption, kg/h	58,9	72,0	72,0	45,5	48,0	51,3
Плановая производительность, т/ч / Planned capacity, t/h	17,6	15,6	14,5	15,6	16,3	17,3
Снижение удельного расхода топлива, % Specific fuel consumption, %		–	–	12,8	12,0	11,4

При цикле 16 мин температура топочной камеры достигала 45...48°C и пуск топки осуществляли по специальной программе с первоначальным пониженным расходом топлива, при этом хлопья отсутствовали.

Зависимости температуры зерна θ от длительности сушки приведены на рисунке 3.

Из графика следует, что 40-минутный цикл допускает более глубокое охлаждение зерна ($\Delta\theta \approx 10^\circ\text{C}$) по сравнению с 16-минутным ($\Delta\theta \approx 3^\circ\text{C}$), соответственно при этом режиме снижается производительность и повышаются удельные затраты тепла (табл. 2).

Изменение температуры отходящего агента сушки ($t_{\text{от}}$) происходит циклически, и с каждым циклом колебания снижаются (рис. 4). Температура $t_{\text{от}}$ для постоянного температурного режима занимает место между крайними значениями $t_{\text{от}}$, смещаясь к наименьшему значению.

Выводы

1. Для реализации осциллирующего режима сушки в зерносушилках типа СЗТ достаточно периодического прекращения подачи агента сушки путем отключения топки. Рекомендуем цикл «8 мин нагрев – 8 мин охлаждение». Допускается повышение

температуры агента сушки до 20°C при осциллирующем режиме сушки в сравнении с постоянным температурным режимом.

2. Осциллирующий режим обеспечивает безопасную и энергоэффективную сушку: температура зерна изменяется в диапазоне $\pm 2...4^\circ\text{C}$ от его предельно допустимой температуры, а средняя температура отработанного агента сушки на 2...3°C ниже, чем при постоянном температурном режиме.

3. Осциллирующий режим эффективен при сушке семенного и продовольственного зерна. Целесообразно охладительную камеру и надсушильный бункер использовать как емкость для отлежки с дополнительным эффектом по снижению удельных затрат тепла.

4. Установленные осциллирующие режимы сушки обеспечивают увеличение пропускной способности сушилки, работающей на постоянном температурном режиме, и при этом удельные затраты топлива снижаются до 13%.

5. Для реализации безопасной работы жидкостной топки с периодами нагрева и охлаждением не менее 8 мин допускается охлаждение топки до температуры не выше 45°C при ступенчатой подаче топлива во время пуска.

Список источников

1. Способ сушки зерна крупносеменных культур и устройство для его осуществления: Патент RU2777161 C1 / М.Г. Загоруйко, С.А. Павлов, И.А. Башмаков, К.А. Степанов. № 2022109194; заявл. 07.04.2022; опубл. 01.08.2022; Бюл. № 22. EDN: CRJLWO
2. Ильюшин Ю.В., Еремеева А.М., Новожилов И.М. Повышение эффективности процесса сушки зерна за счет модернизации сушильных камер // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2023. Т. 16, № 3. С. 25-36. <https://doi.org/10.32603/2071-8985-2023-16-3-25-36>
3. Пучков Е.М., Перов Г.А., Соловьев С.В. Инновационная технология сушки семян мелкосеменных культур // Аграрная наука. 2023. № 9. С. 161-165. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-161-165>
4. Ключников А.С. Исследование влияния новой технологии сушки на посевные качества семян зерновых культур // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2020. № 1. С. 49-60. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-1-49-60>
5. Павлов С.А., Пехальский И.А., Марин Р.А. Экспериментальные исследования массопереноса в зерновке при осциллирующей сушке зерна // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 4. С. 32-37. EDN: WLZXQR
6. Зимин И.Б., Солятьтэ В.Ю., Смирнов Д.А., Чигулита Е.В. Эффективность применения осциллирующих режимов при сушке элитных семян зерновых культур // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3 (44). С. 46-55. EDN: LFFVZNK
7. Рудобашта С.П., Зуева Г.А., Бабичева Е.Л. Кинетический расчет сушки периодического действия с псевдоожиженным слоем // Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». 2024. Т. 67, № 6. С. 109-118. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20246706.6968>
8. Карпенко Г.В., Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Карпенко М.А. Особенности процесса сушки зерна пшеницы в элементарном слое // Пермский аграрный вестник. 2021. № 4 (36). С. 4-13. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_36_4
9. Kuznetsov Yu.A., Volzhentsev A.V., Kolomeichenko A.V., Kalashnikova L.V. Influence of technological parameters of pseudofluidized layer grain dryer on the grain drying quality // INMATEH – Agricultural Engineering. 2018. Т. 54, № 1. С. 81-86. EDN: XOFSSD
10. Лобачевский Я.П., Пехальский И.А., Павлов С.А. Расчет изотермической сушки зерна // Сельский механизатор. 2019. № 8. С. 22-23. EDN: OQXPRO
11. Загоруйко М.Г., Башмаков И.А., Степанов К.А. Исследование процесса сушки растительных отходов в изотермической модели // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17, № 4. С. 49-54. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-49-54>

Информация об авторах

- ¹ Загоруйко Михаил Геннадьевич, д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник; zagorujko.misha2013@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7826-3773>; SPIN-код: 2738-5137, AuthorID: 323776
- ² Башмаков Игорь Андреевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник; i-go-r-2015@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0511-2880>; SPIN-код: 2713-9912, AuthorID: 1130809
- ^{1,2} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 21.01.2025, после рецензирования и доработки 11.06.2025; принята к публикации 16.06.2025

References

1. Zagoruiko M.G., Pavlov S.A., Bashmakov I.A., Stepanov K.A. Method for drying grain of large-seed crops and device for its implementation: Pat. No. 2777161 C1 Russian Federation / No. 2022109194; IPC F26B3/14, 2022. (In Russ.)
2. Ilyushin Yu.V., Eremeyeva A.M., Novozhilov I.M. Increasing the efficiency of grain drying using modernized drying chambers. *LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science*. 2023;16(3):25-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.32603/2071-8985-2023-16-3-25-36>
3. Puchkov E.M., Perov G.A., Solovoyov S.V. Innovative technology of drying seeds of small-seeded crops. *Agrarian Science*. 2023;9:161-165. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-161-165>
4. Klyuchnikov A.S. Study of the influence of new drying technology on the quality of grain seeds. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2020;1:49-60. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-1-49-60>
5. Pavlov S.A., Pekhal'skiy I.A., Marin R.A. Experimental studies of mass transfer in caryopsis at grain oscillating drying. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2016;4:32-37. (In Russ.)
6. Zimin I.B., Soolatte V.Yu., Smirnov D.A., Chigulita E.V. The practical effectiveness of oscillating modes in drying grain crop elite seeds. *Izvestiya Velikolukskoy Gosudarstvennoy Selskokhozyaystvennoy Akademii*. 2023;3(44):46-55. (In Russ.)
7. Rudobashta S.P., Zueva G.A., Babicheva E.L. Kinetics of drying of dispersed material in the apparatus of periodic action with fluidized bed. *ChemChemTech*. 2024;67(6):109-118. (In Russ.) <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20246706.6968>
8. Karpenko G.V., Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A., Karpenko M.A. Features of drying wheat grain process in the elementary layer. *Perm Agrarian Journal*. 2021;4(36):4-13. (In Russ.) https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_36_4
9. Kuznetsov Yu.A., Volzhentsev A.V., Kolomeichenko A.V., Kalashnikova L.V. Influence of technological parameters of pseudofluidized layer grain dryer on the grain drying quality. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2018;54(1):81-86.
10. Lobachevsky Ya.P., Pekhalsky I.A., Pavlov S.A. Calculation of isothermal drying of grain. *Selskiy Mekhanizator*. 2019;8:22-23. (In Russ.)
11. Zagoruyko M.G., Bashmakov I.A., Stepanov K.A. Plant waste drying in an isothermal model. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023;17(4):49-54. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-4-49-54>

Author Information

- Mikhail G. Zagoruiko¹, DSc (Eng), Associate Professor, Lead Research Engineer; zagorujko.misha2013@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7826-3773>
- Igor A. Bashmakov², CSc (Eng), Senior Research Engineer; i-go-r-2015@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0511-2880>
- ^{1,2} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russia, Moscow, 1st Institutskiy Proezd Str., 5

Conflict of interests

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

Received 21.01.2025; Revised 11.06.2025; Accepted 16.06.2025

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.331

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-40-46>

Математическое моделирование работы конусного высевающего аппарата селекционной сеялки

А.С. Чулков¹, М.М. Шайхов²^{1,2} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия¹ andrei.chulkov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1178-451X>² mars.shaihov@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0008-9959-8474>

Аннотация. При посеве зерновых и зернобобовых культур на 2-м и 3-м этапах селекционных работ используют конусный порционный высевающий аппарат. Для согласования движения сеялки по делянке и работы конусного высевающего аппарата необходимо установить зависимость параметров работы высевающего аппарата от параметров селекционного посева. С целью установления этой зависимости с помощью физико-математического аппарата исследовали параметры работы конусного высевающего аппарата селекционной сеялки для 2-го и 3-го этапов работ от параметров посева зерновых и зернобобовых культур на делянке. Вывели формулу функциональной зависимости угловой скорости вращения конуса высевающего аппарата от рабочей скорости движения сеялки и длины делянки, а также формулу для нахождения линейной скорости перемещения обводной ленты конусного высевающего аппарата. Рассчитали, что для сеялки СКС-6-10 на 2-м этапе работ на делянке длиной от 1 до 5 м и рабочей скорости сеялки от 1,0 до 2,0 км/ч угловая скорость вращения конуса высевающего аппарата варьируется от 0,35 до 3,49 с⁻¹, для 3-го этапа работ на делянке протяженностью 2...20 м и рабочей скорости сеялки от 1,0 до 3,0 км/ч – от 0,09 до 2,62 с⁻¹. Рассчитали, что в конусных высевающих аппаратах сеялок Wintersteiger AG линейная скорость перемещения обводной ленты для 2-го этапа работ на делянке длиной от 1 до 5 м и рабочей скорости сеялки от 1,0 до 2,0 км/ч составила от 0,025 до 0,25 м/с, для 3-го этапа работ на делянке протяженностью от 2 до 20 м и рабочей скорости сеялки от 1,0 до 3,0 км/ч – от 0,013 до 0,38 м/с. Представленные математические модели могут использоваться при разработке селекционной сеялки с конусным высевающим аппаратом, оснащенной электронным управлением и контролем высева, а также системой навигации для повышения качества посева.

Ключевые слова: посев; конусный порционный высевающий аппарат; математическое моделирование; селекционная сеялка; скорость вращения конуса высевающего аппарата; линейная скорость перемещения обводной ленты

Для цитирования: Чулков А.С., Шайхов М.М. Математическое моделирование работы конусного высевающего аппарата селекционной сеялки // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 4. С. 40-46. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-40-46>

ORIGINAL ARTICLE

Mathematical modeling of the operation of a cone-type seeding unit of a crop breeding seeder

A.S. Chulkov¹, M.M. Shaykhov²^{1,2} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia¹ andrei.chulkov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1178-451X>² mars.shaihov@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0008-9959-8474>

Abstract. When sowing cereals and leguminous crops at the 2nd and 3rd stages of the crop breeding process, use is made of a cone-type batch seeding unit. In order to coordinate the seeder movement on the plot and the operation of the cone-type seeding unit, it is necessary to establish the relationship between the seeding unit parameters and the parameters of crop breeding sowing. To establish this relationship with the use of physical and mathematical tools, they authors studied the operating parameters of the cone-type seeding unit of the crop breeding seeder for the 2nd and 3rd technological stages using the parameters of sowing grain and leguminous crops on the plot. They have obtained the formula of functional dependency of the angular rotation speed of the cone-type seeding unit on the operating speed of the seeder and the length of the plot, as well as the formula for finding the linear speed of the bypass belt of the cone-type seeding unit. The calculations have shown that for the planter SKS-6-10 at the 2nd technological stage on the plot

with a length of 1 to 5 m and the working speed of the seeder from 1.0 to 2.0 km/h, the angular rotation speed of the cone-type seeding unit varies between 0.35 and 3.49 s⁻¹. For the 3rd technological stage on the plot with a length between 2 and 20 m and the working speed of the seeder between 1.0 and 3.0 km/h, this indicator ranges between 0.09 and 2.62 s⁻¹. Cone-type seeding units of Wintersteiger AG planters have proved to have the linear speed of the bypass belt movement ranging between 0.025 to 0.25 m/s for the 2nd technological stage on the plot with a length between 1 and 5 m and working speed of the seeder between 1.0 and 2.0 km/h. For the 3rd technological stage on the plot with a length between 2 and 20 m and a working speed of the planter between 1.0 and 3.0 km/h, the speed ranges between 0.013 and 0.38 m/s. The presented mathematical models can be used in designing a crop breeding seeder with a cone-type seeding unit, equipped with electronic control and seeding control, as well as a navigation system to improve the quality of sowing.

Keywords: sowing; cone-type batch seeding unit; mathematical modeling; crop breeding seeder; rotation speed of the seeder cone; linear speed of the bypass belt movement

For citation: Chulkov A.S., Shaykhov M.M. Mathematical modeling of the operation of a cone-type seeding unit of a crop breeding seeder. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):40-46 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-40-46>

Введение

При посеве зерновых и зернобобовых культур на 2-м и 3-м этапах селекционных работ широко применяют многорядные селекционные сеялки с конусными высевальными аппаратами [1, 2]: для 2-го этапа – с автономными порционными аппаратами¹, например, СКС-6-10, СССР-2 (Россия), Rowseed S (Wintersteiger AG, Австрия), SR-30 (Haldrup, Германия) [3, 4]; для 3-го этапа – с порционным аппаратом центрального распределения², например, ССН-7 (Россия), Plotseed S (Wintersteiger AG, Австрия), SB-25 (Haldrup, Германия) [5, 6].

Работа конусного высевающего аппарата должна быть согласована с перемещением сеялки по селекционной деланке.

Математическими моделями по согласованию работы конусного высевающего аппарата и передвижения селекционной сеялки по деланке заданной длины занимались в разное время многие ученые.

В 80-е гг. XX в. Н.Н. Ульрих и другие ученые рассматривали взаимосвязь технических и технологических параметров с учетом изменяемого передаточного отношения механической коробки передач привода высевающего аппарата [6, 7].

В 2019 г. М.Н. Московский, М.А. Литвинов и другие ученые представили математическое моделирование процесса селекционного посева с учетом возможного буксования и изменения рабочей скорости сеялки на фоне нестабильных внешних погодных и почвенных условий. При этом использовались энкодеры, установленные на ведомых колесах сеялки [8, 9].

В 2021 г. китайский ученый Х.Р. Cheng и другие ученые оптимизировали рабочие параметры

высевающего аппарата (высота подъема стакана-дозатора, частота вращения конуса и др.) в сеялке с системой управления посевом [10].

При разработке новых технических средств и технологий в различных отраслях сельского хозяйства, в том числе для селекционного посева, стали широко внедрять цифровизацию и роботизацию. Однако при разработке роботизированных селекционных сеялок с высевальным аппаратом конусного типа учитываются не все требования.

В связи с повышенными требованиями к контролю за качеством выполнения посева зерновых и других культур в селекции и семеноводстве в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разрабатываются селекционные сеялки с электронным управлением и контролем посева, в том числе с роботизированным кассетным загрузочным устройством для подачи семян в высевальный аппарат [11-13]. Для согласования работы высевающего аппарата и движения сеялки по деланке необходимо составить математическую модель для программного обеспечения управления работой высевающего аппарата.

Цель исследований: построить математическую модель для исследования зависимости параметров работы конусного высевающего аппарата селекционной сеялки для 2-го и 3-го этапов работ от параметров посева зерновых и зернобобовых культур на деланке.

Материалы и методы

Методика математического моделирования представляет собой установление взаимосвязи через физико-математические зависимости базового параметра длины деланки (в соответствии с ГОСТ 4673-78), на которой должно быть посеяно необходимое количество семян, входящего параметра рабочей скорости движения сеялки и выходного параметра скорости вращения конуса высевающего аппарата или скорости движения обводной ленты.

¹ Анискин В.И., Некипелов Ю.Ф. Механизация опытных работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве зерновых и зернобобовых культур. М.: ВИМ, 2004. 200 с.

² То же.

Расчеты параметров работы конусного высев-ающего аппарата по выведенным формулам вы-полнены с использованием приложения Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Конусные высев-ающие аппараты применяются на селекционных сеялках для 2-го и 3-го этапов посе-ва семян сельскохозяйственных культур на делянках определенной длины. Семенной материал подается в аппарат ограниченными порциями, соответствующими заданной норме высева, из кассет при помощи

кассетного загрузочного устройства или вручную оператором, и равномерно распределяется по осно-ванию конуса³ [3].

Параметры селекционного посева согласно ОСТ 4673-78 представлены в таблице.

Конусные высев-ающие аппараты автономного высева и центрального распределения (рис. 1) име-ют следующие основные элементы конструкции: распределительный конус 1, стакан-дозатор 2, за-грузочную воронку 3, корпус или обводную ленту 4, семяпровод 5, привод высев-ающего аппарата 6 (ме-ханический или электрический).

Таблица

Параметры посева на 2-м и 3-м этапах селекционных работ по ОСТ 4673-78

Table

Sowing parameters at the 2nd and 3rd stages of crop breeding operations according to OST 4673-78

Параметр посева / Sowing parameter	2-й этап / 2nd stage	3-й этап / 3rd stage
Длина делянки, L_d , м / Plot length, L_d , m	1...5	2...20
Ширина междурядной дорожки, м / Width of a tier track, m	не более 2 м / not more than 2 m	не более 6 м / not more than 6 m
Число рядков в делянке / Number of rows in the plot	1...6	3...10
Количество семян в делянке / Number of seeds in the plot: – зерновых культур / cereal crops – зернобобовых культур / leguminous crops	до 500 шт. / up to 500 pcs до 300 шт. / up to 300 pcs	до 1,0 кг / up to 1.0 kg до 1,7 кг / up to 1.7 kg

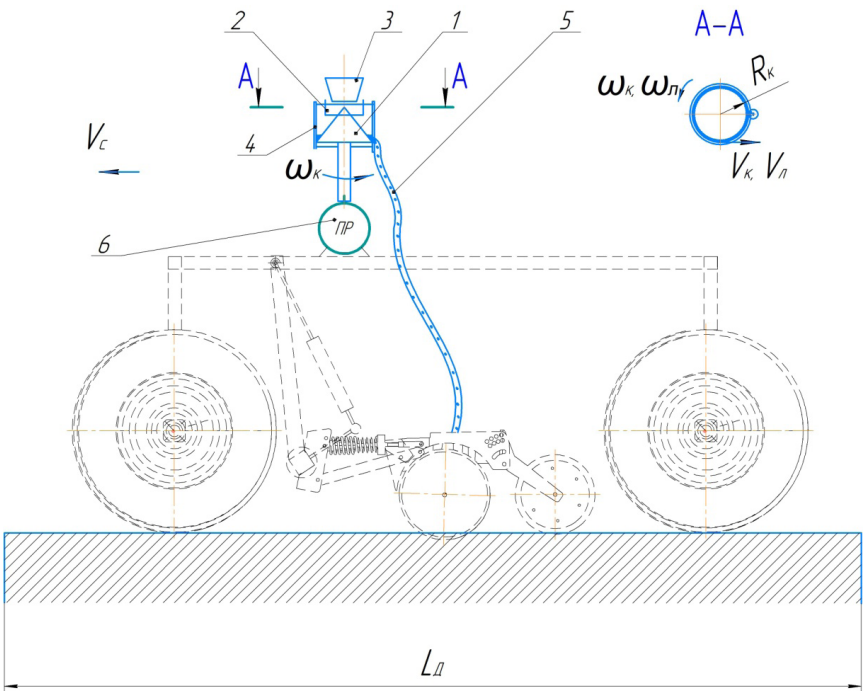


Рис. 1. Схема работы конусного высев-ающего аппарата селекционной сеялки при посеве на делянке:

- 1 – распределительный конус; 2 – стакан-дозатор; 3 – загрузочная воронка;
 - 4 – корпус или обводная лента; 5 – семяпровод; 6 – привод высев-ающего аппарата
- Fig. 1. Operation flowchart of a cone-type seeding unit of the crop breeding seeder when sowing on the plot:
- 1 – distribution cone; 2 – metering nozzle; 3 – feeding funnel; 4 – housing or bypass belt;
 - 5 – seed tube; 6 – drive of the sowing unit

³ Анискин В.И., Некипелов Ю.Ф. Механизация опытных работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве зерновых и зернобобовых культур. М.: ВИМ, 2004. 200 с.

Конусные аппараты могут быть с вращающимся или неподвижным конусом. Например, в сеялке СКС-6-10, оборудованной механическим приводом высевающего аппарата, подвижный конус приводится во вращение от коробки перемены передач и перемещает семена к выгрузному отверстию, а в сеялках Wintersteiger AG с электроприводом конус высевающего аппарата неподвижен, при этом семена перемещаются при помощи обводной ленты [9, 10].

Перед началом движения сеялки по делянке или при проезде междярусной дорожки семена из стакана-дозатора подаются на конус и равномерно распределяются вдоль окружности его основания. При основании конуса находится отверстие, через которое семена сходят с конуса и попадают в семяпровод, по которому они подаются в сошник, направляющий их в борозду.

Для получения математической модели работы конусного высевающего аппарата определим зависимости параметров его работы от параметров посева зерновых и зернобобовых культур на селекционных делянках 2-го и 3-го этапов работ.

При составлении уравнений в ходе математического моделирования скорость вращения конуса во время высева семян на делянке принята постоянной, без учета его начального разгона и конечного торможения. Данное допущение связано с его небольшой скоростью вращения и малой инертностью.

В высевающем аппарате с вращающимся конусом один оборот конуса соответствует по времени, прохождению сеялкой расстояния, равного длине делянки. При этом время (t_k , с), в течение которого конус совершает один оборот, должно быть равным времени засева делянки (t_d , с):

$$t_k = t_d. \quad (1)$$

Время засева делянки определяется по выражению:

$$t_d = L_d / v_c \quad (2)$$

где L_d – длина делянки, м; v_c – рабочая скорость движения сеялки при посеве делянки, м/с.

Частота вращения конуса высевающего аппарата (n_k , об/с) с учетом (1) –

$$n_k = 1 / t_d. \quad (3)$$

Из (3) с учетом (2) получим:

$$n_k = v_c / L_d. \quad (4)$$

Угловая скорость (ω_k , рад/с) вращения конуса высевающего аппарата –

$$\omega_k = 2\pi \cdot n_k. \quad (5)$$

Из (5) с учетом (4) получим следующее выражение для определения угловой скорости вращения конуса:

$$\omega_k = 2\pi \cdot v_c / L_d. \quad (6)$$

Математическая модель (6) работы высевающего аппарата с вращающимся конусом представляет собой функциональную зависимость угловой скорости ω_k от двух технологических параметров селекционного посева – длины делянки L_d и рабочей скорости v_c движения сеялки:

$$\omega_k = f(L_d, v_c).$$

В конусных высевающих аппаратах с неподвижным конусом семена перемещаются вдоль окружности основания конуса при помощи обводной ленты. Элементы ленты при огибании конуса движутся по дуге окружности с угловой скоростью (ω_l , рад/с). При этом линейная скорость (v_l , м/с) перемещения ленты отвечает выражению:

$$v_l = \omega_l \cdot R_k, \quad (7)$$

где ω_l – угловая скорость движения элементов обводной ленты вдоль дуги основания конуса, рад/с; R_k – радиус основания конуса высевающего аппарата, м.

Формула для определения ω_l совпадает с выражением (6):

$$\omega_l = 2\pi \cdot v_c / L_d. \quad (8)$$

С учетом (8) выражение (7) примет вид:

$$v_l = 2\pi \cdot R_k \cdot v_c / L_d. \quad (9)$$

Математическая модель (9) работы высевающего аппарата с неподвижным конусом представляет собой функциональную зависимость линейной скорости обводной ленты v_l от трех параметров – длины делянки L_d , рабочей скорости v_c движения сеялки и радиуса R_k основания конуса высевающего аппарата:

$$v_l = f(L_d, v_c, R_k).$$

Скорость перемещения семян по дуге окружности основания конуса, совпадающая с линейной скоростью перемещения ленты или линейной скоростью точек кромки основания вращающегося конуса, определяется также по формуле (9).

С использованием приложения Microsoft Excel по выведенным формулам (6) и (9) выполнены расчеты параметров работы конусного высевающего аппарата.

Расчет угловой скорости ω_k вращения конуса по формуле (6) выполнен для конусных высевающих аппаратов сеялки СКС-6-10, которая может применяться в комплектации для 2-го этапа работ с высевающим аппаратом автономного высева и касетным загрузочным устройством или для 3-го этапа работ с высевающим аппаратом центрального распределения.

Зависимость угловой скорости ω_k вращения конуса от длины делянки L_d и рабочей скорости v_c движения сеялки представлена на рисунке 2.

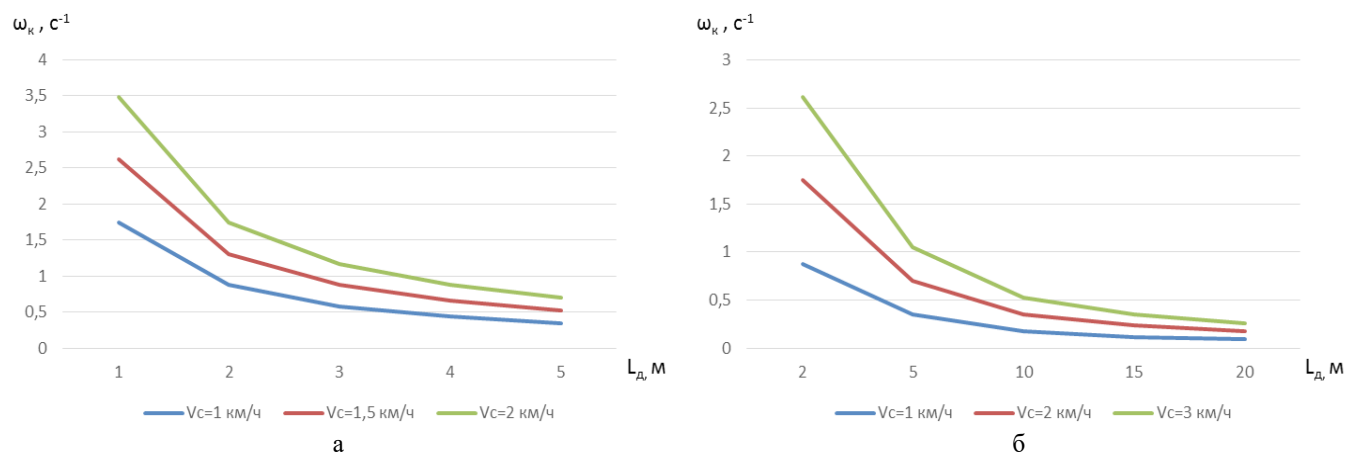


Рис. 2. Зависимость угловой скорости вращения конуса (ω_k) от длины делянки (L_d) при различных рабочих скоростях сеялки (v_c):

а – для высевающего аппарата автономного высева на 2-м этапе работ;
б – для высевающего аппарата центрального распределения на 3-м этапе работ

Fig. 2. Relationship between the angular speed of cone rotation (ω_k) and the length of the plot (L_d) at different working speeds of the seeder (v_c):

а – for a seeding unit of autonomous seeding at the 2nd technological stage;
б – for a seeding unit of central distribution at the 3rd technological stage

Угловая скорость ω_k вращения конуса высевающего аппарата сеялки СКС-6-10 варьируется: для 2-го этапа работ – от 0,35 до 3,49 с^{-1} (рад/с) на делянке длиной от 1 до 5 м при рабочей скорости движения сеялки от 1,0 до 2,0 км/ч, для 3-го этапа работ – от 0,09 до 2,62 с^{-1} (рад/с) на делянке от 2 до 20 м при рабочей скорости движения сеялки от 1,0 до 3,0 км/ч.

Расчет линейной скорости перемещения обводной ленты v_l выполнен для конусных высевающих аппаратов сеялок Wintersteiger AG: модели Rowseed S –

для 2-го этапа работ с аппаратом автономного высева и кассетным загрузочным устройством, модели Plotseed S – для 3-го этапа работ с аппаратом центрального распределения.

Зависимости линейной скорости перемещения обводной ленты v_l от длины делянки L_d , рабочей скорости v_c движения сеялки и радиуса R_k основания конуса высевающего аппарата (для аппарата автономного высева $R_k = 0,072$ м, для аппарата центрального распределения $R_k = 0,145$ м) представлены на рисунке 3.

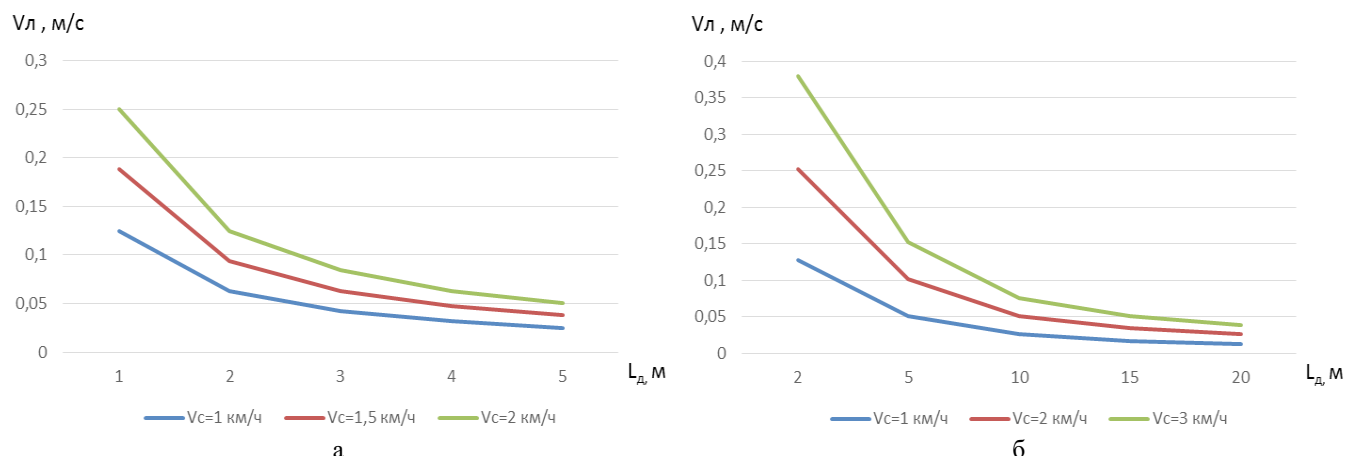


Рис. 3. Зависимость линейной скорости перемещения обводной ленты (v_l) от длины делянки (L_d), рабочей скорости сеялки (v_c) и радиуса основания конуса высевающего аппарата (R_k):

а – для высевающего аппарата автономного высева на 2-м этапе работ;
б – для высевающего аппарата центрального распределения на 3-м этапе работ

Fig. 3. Relationship between the linear speed of bypass belt movement (v_l), plot length (L_d), seeder working speed (v_c), and seeder cone base radius (R_k):

а – for a seeding unit of autonomous seeding at the 2nd technological stage;
б – for a seeding unit of central distribution at the 3rd technological stage

Линейная скорость перемещения обводной ленты (v_n) в конусных высевальных аппаратах сеялок Wintersteiger AG варьируется: для 2-го этапа работ – от 0,025 до 0,25 м/с на делянке длиной от 1 до 5 м при рабочей скорости движения сеялки от 1,0 до 2,0 км/ч, для 3-го этапа работ – от 0,013 до 0,38 м/с на делянке от 2 до 20 м при рабочей скорости движения сеялки от 1,0 до 3,0 км/ч.

Полученные детерминированные математические модели (6) и (9) зависимости параметров работы конусных высевальных аппаратов от рабочей скорости движения селекционной сеялки, длины делянки и радиуса основания конуса необходимы при разработке селекционных сеялок с электронным управлением и контролем высева с использованием системы навигации.

Выводы

1. Для согласования движения сеялки по делянке и работы конусного высевального аппарата

установлена зависимость параметров работы высевального аппарата от параметров селекционного посева.

2. Угловая скорость вращения конуса высевального аппарата сеялки SKC-6-10 для 2-го этапа работ варьируется от 0,35 до 3,49 с⁻¹ (рад/с) при рабочей скорости сеялки 1,0...2,0 км/ч, для 3-го этапа работ – от 0,09 до 2,62 с⁻¹ при скорости сеялки 1,0...3,0 км/ч.

3. Линейная скорость перемещения обводной ленты в конусных высевальных аппаратах сеялок Wintersteiger AG для 2-го этапа работ изменяется в диапазоне 0,025...0,25 м/с при рабочей скорости сеялки 1,0...2,0 км/ч, для 3-го этапа работ – от 0,013 до 0,38 м/с при скорости сеялки 1,0...3,0 км/ч.

4. Полученные результаты помогут разработать селекционную сеялку с электронным управлением и контролем высева с использованием системы навигации.

Список источников

1. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15, № 4. С. 6-10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Измайлов А.Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89, № 5. С. 536-538. <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>
3. Чулков А.С., Шайхов М.М., Текушев А.Х. Селекционная сеялка на базе самоходного шасси с роботизированным кассетным загрузочным устройством // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2025. Т. 19, № 1. С. 49-54. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2025-19-1-49-54>
4. Чулков А.С., Шайхов М.М., Чаплыгин М.Е., Текушев А.Х. Кассетные загрузочные устройства для высевальных аппаратов селекционных сеялок // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70, № 2 (51). С. 74-81. EDN: TUJELT
5. Несмиян А.Ю., Ценч Ю.С. Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12, № 3. С. 45-52. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-3-45-52>
6. Ульрих Н.Н. Механический посев на селекционных делянках // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1982. № 3. С. 4-8.
7. Ульрих Н.Н. Новые селекционные сеялки // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1982. № 2. С. 53-59.
8. Московский М.Н., Литвинов М.А., Пахомов И.В. Обоснование расположения селекционной сеялки с интеллектуальной системой управления высеком в межосевом пространстве самоходного шасси // Инновационные технологии в науке и образовании (ИТНО-2019): Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ДГТУ (РИСХМ), с. Дивноморское, 4-14 сентября 2019 г. Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-ПРИНТ», 2019. С. 339-342. EDN: LMLKMG

References

1. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021;15(4):6-10. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Izmaylov A.Yu. Smart technologies and robotic means in agricultural production. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk*. 2019;89(5):536-538. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>
3. Chulkov A.S., Shaykhov M.M., Tekushev A.Kh. Selection seeder with a robotic cassette loading device mounted on self-propelled chassis. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025;19(1):49-54. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2025-19-1-49-54>
4. Chulkov A.S., Shaykhov M.M., Chaplygin M.E., Tekushev A.H. Cassette loading units for hanging devices of breeding seeders. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2023;70(2):74-81. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2023-70-2-74-81>
5. Nesmian A.Yu., Tsench Yu.S. Tendencies and prospects for the development of domestic machinery for sowing grain crops. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018;12(3):45-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-3-45-52>
6. Ulrich N.N. Mechanical sowing on selective plots. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*. 1982;3:4-8. (In Russ.)
7. Ulrich N.N. New plant-breeding seeders. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*. 1982;2:53-59. (In Russ.)
8. Moskovskiy M.N., Litvinov M.A., Pakhomov I.V. Justification of the location of the selection seeder with an intelligent seed control system in the center space of the self-propelled chassis. *Innovative technologies in science and education (ITNO-2019): Proceedings of the VII International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of DSTU (RISHM)*, Divnomorskoye, September 04-14, 2019. OOO "DGTU-PRINT", 2019. Pp. 339-342. EDN: LMLKMG. (In Russ.)
9. Moskovskiy M.N., Litvinov M.A., Belousov S.V. Theoretical bases of a course motion for a two axles agricultural vehicle according to wheels slipping. *Polythematic Online Scientific Journal*

9. Московский М.Н., Литвинов М.А., Белоусов С.В. Теоретические основы курсового движения двухосного сельскохозяйственного транспортного средства с учетом скольжения колес // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 154. С. 94-103. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-154-010>

10. Cheng X.P., Li H.W., He J. et al. Optimization of operating parameters of seeding device in plot drill with seeding control system. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2021;14(3):72-80. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211403.6218>

11. Чулков А.С., Шайхов М.М. Роботизированное кассетное загрузочное устройство конвейерного типа для селекционной сеялки // Техника и оборудование для села. 2024. № 6 (324). С. 20-22. EDN: ZMIJSQ

12. Чулков А.С., Чаплыгин М.Е., Шайхов М.М. Роботизированное кассетное загрузочное устройство карусельного типа для селекционной сеялки // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 3 (82). С. 99-107. EDN: UREWAC

13. Чулков А.С., Чаплыгин М.Е., Шайхов М.М. Обоснование параметров работы роботизированного кассетного загрузочного устройства карусельного типа для селекционной сеялки // Инженерные технологии и системы. 2024. Т. 34, № 4. С. 549-562. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202404.549-562>

Информация об авторах

¹ Чулков Андрей Сергеевич, канд. техн. наук; andrei.chulkov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1178-451X>; SPIN-код: 1726-9749, AuthorID: 740463

² Шайхов Марсель Марселевич, ведущий специалист; mars.shaihov@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0008-9959-8474>; SPIN-код: 1076-9502, AuthorID: 574003

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

Вклад авторов

А.С. Чулков – написание рукописи статьи и оформление материалов, методология, анализ источников литературы, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи; М.М. Шайхов – анализ источников литературы, формирование общих выводов, итоговая доработка текста.

Конфликт интересов

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

Статья поступила 05.03.2025, после рецензирования и доработки 22.05.2025; принята к публикации 22.05.2025

of Kuban State Agrarian University. 2019;154:94-103. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1990-4665-154-010>

10. Cheng X.P., Li H.W., He J. et al. Optimization of operating parameters of seeding device in plot drill with seeding control system. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2021;14(3):72-80. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211403.6218>

11. Chulkov A.S., Shaykhov M.M. Conveyor-type robotic cassette loading device for a selection seeder. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024;6(324):20-22. (In Russ.)

12. Chulkov A.S., Chaplygin M.E., Shaykhov M.M. Carousel type robotic cassette loading device for breeding seeder. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(3):99-107. (In Russ.)

13. Chulkov A.S., Chaplygin M.E., Shaykhov M.M. Justifying the operation parameters of a robotic cassette loading device of the carousel type for a selection seeder. *Engineering Technologies and Systems*. 2024;34(4):549-562. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202404.549-562>

Author Information

Andrey S. Chulkov¹, PhD (Eng); andrei.chulkov@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1178-451X>; Researcher ID: JOZ-1910-2023

Marsel M. Shaikhov², lead specialist; mars.shaihov@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0008-9959-8474>

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

Author Contribution

A.S. Chulkov – writing – original draft, design of materials, research supervision, literature review, writing – general conclusions, review and editing of the manuscript;

M.M. Shaikhov – literature review, writing – general conclusions, review and editing of the manuscript.

Conflict of interest

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

Received 05.03.2025; Revised 22.05.2025; Accepted 22.05.2025

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.53.024

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-47-53>

Параметры работы фотосепаратора для эффективной очистки семян люцерны от повилики

*Д.С. Тарабрин^{1✉}, В.А. Гулевский²*¹ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений; п. ВНИИСС, Россия² Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I; г. Воронеж, Россия¹ tarabrinds@ya.ru[✉]; <https://orcid.org/0009-0004-7944-5674>² gulevsky_va@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1637-304X>

Аннотация. Фотосепараторы демонстрируют высокую эффективность при очистке посевного материала от засорителей. Однако при обработке мелкосемянных культур разрешение камер фотосепараторов не позволяет эффективно детектировать трудноотделимые примеси. Исследования проведены с целью определения оптимальных настроек систем фотосепаратора SmartSort C для удаления семян карантинной повилики при конечной очистке люцерны сорта «Артемиды» урожая 2024 г. Сортировку образцов с последующим анализом очищенной фракции и отходов производили при следующих параметрах работы фотосепаратора: задержка эжекторов – 2,6, 27 и 3,3 мс; давление – 1 и 2 бар; освещение – белый свет и белый свет совместно с инфракрасным излучением. Эффективность выделения семян повилики определяли при засоренности семенами люцерны 0,63; 0,32; 0,14%. При сравнении изображений снимков с RGB камер фотосепаратора, полученных при инфракрасном освещении совместно с белым светом на фоне инфракрасного спектра, обнаружили, что семена люцерны с более гладкой текстурой оболочки засвечены и выглядят как белые пятна, тогда как семена повилики с шероховатой оболочкой контрастируют черными точками. При инфракрасном освещении совместно с белым светом контрастность семян повилики увеличилась на 40%. Увеличение засоренности семенами повилики на 0,1% приводит к снижению качества очистки семян люцерны фотосепаратором в среднем на 1,16%. Полного удаления семян повилики из семян люцерны удалось достичь при использовании ИК-фона и подсветкой белым светом, давлении пневмосистемы 2,0 бар, задержке срабатывания эжекторов 2,6 мс, удельной загрузке машины на 1 лоток 85 кг/ч и при уровне засоренности 0,14%. Результаты исследований могут быть использованы при внедрении систем машинного обучения и искусственного интеллекта в программное обеспечение разрабатываемых отечественных фотосепараторов.

Ключевые слова: фотосепаратор; очистка семян; семена люцерны; семена повилики; удаление семян повилики; ИК-фон; параметры работы фотосепаратора

Для цитирования: Тарабрин Д.С., Гулевский В.А. Параметры работы фотосепаратора для эффективной очистки семян люцерны от повилики // *Агроинженерия*. 2025. Т. 27, № 4. С. 47-53. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-47-53>

ORIGINAL ARTICLE

Operating parameters of a color sorter used for effective cleaning alfalfa seeds from dodder

*D.S. Tarabrin^{1✉}, V.A. Gulevskiy²*¹ All-Russian Scientific Research Institute of Plant Protection; VNISS, Russia² Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I; Voronezh, Russia¹ tarabrinds@ya.ru[✉]; <https://orcid.org/0009-0004-7944-5674>² gulevsky_va@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1637-304X>

Abstract. Color sorters demonstrate high efficiency in cleaning seed material from contaminants. However, when processing small-seeded crops, the resolution of color sorter cameras does not ensure the effective detection of hard-to-separate impurities. The study aimed to determine the optimal settings for the SmartSort C color sorter systems for removing quarantine dodder seeds during the final cleaning of the Artemida alfalfa variety harvested in 2024. The authors used the following operating parameters of a color sorter to sort samples and subsequently analyze the cleaned purified fraction and waste: an ejector response delay of 2.6, 27 and 3.3 ms, a pressure of 1 and 2 bar, illumination – white light and white light combined with infrared (IR) radiation. The efficiency of dodder seed

separation was determined for alfalfa seed contamination of 0.63, 0.32, and 0.14%. When comparing the images from the RGB cameras of the color sorter obtained with IR illumination together with white light against the background of the IR spectrum, it was found that alfalfa seeds with a smoother shell texture are overexposed and look like white spots, while dodder seeds with a rough shell contrast with black dots. When IR illumination was combined with white light, the contrast of dodder seeds increased by 40%. An increase in dodder seed contamination by 0.1% leads to a decrease in the quality of alfalfa seed cleaning by the color sorter, on average, by 1.16%. The complete removal of dodder seeds from alfalfa seeds by means of an IR background and white light illumination was observed at a pneumatic system pressure of 2.0 bar, an ejector response delay of 2.6 milliseconds, a specific machine load per one tray of 85 kg/h and a contamination level of 0.14%. The study results can be used in the implementation of machine learning and artificial intelligence systems in the software of domestic color sorters.

Keywords: color sorter; seed cleaning; alfalfa seeds; dodder seeds; dodder seed removal4 IR-background; operating parameters of a color sorter

For citation: Tarabrin D.S., Gulevskiy V.A. Operating parameters of a color sorter used for effective cleaning alfalfa seeds from dodder. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):47-53 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-47-53>

Введение

Очистка семян люцерны от семян повилики – критически важная задача в сельском хозяйстве, так как повилика является карантинным сорняком [1]. Современные фотосепараторы, несмотря на доказанную высокую эффективность при сортировке сыпучих материалов по цвету [2], не всегда могут обеспечить полное удаление трудноотделимых примесей по причине ограниченного разрешения камер [3-4]. Несмотря на то, что многие фотосепараторы для повышения контрастности изображений имеют камеры, работающие в инфракрасном спектре, а также инфракрасную подсветку рабочей области [5], производители не дают рекомендаций по их применению при сортировке семян сельскохозяйственных культур [6, 7].

В 2023 г. в лаборатории механизации защиты растений ФГБНУ «ВНИИЗР» разработали агрегат для очистки семян люцерны, в состав которого входит фотосепаратор (патент РФ № 2819437) [8]. При этом в рамках НИР установили, что при рекомендуемых производителем настройках не удастся полностью удалять семена повилики при очистке семян люцерны.

Можно предположить, что рациональная настройка систем фотосепаратора позволит достигнуть максимальной степени очистки семян люцерны от повилики.

Цель исследований: определение оптимальных параметров работы фотосепаратора для максимально эффективной очистки семян люцерны от семян повилики.

Материалы и методы

Проведен ряд эмпирических исследований процесса очистки семян люцерны от повилики. Опыты проводили на фотосепараторе SmartSort C¹ (рис. 1)

¹ Фотосепаратор SmartSort C3. URL: https://c-sort.ru/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=poisk-lending&utm_content=16844441236&utm_term=сисорт&yclid=6558984344868225023 (дата обращения: 14.03.2025).

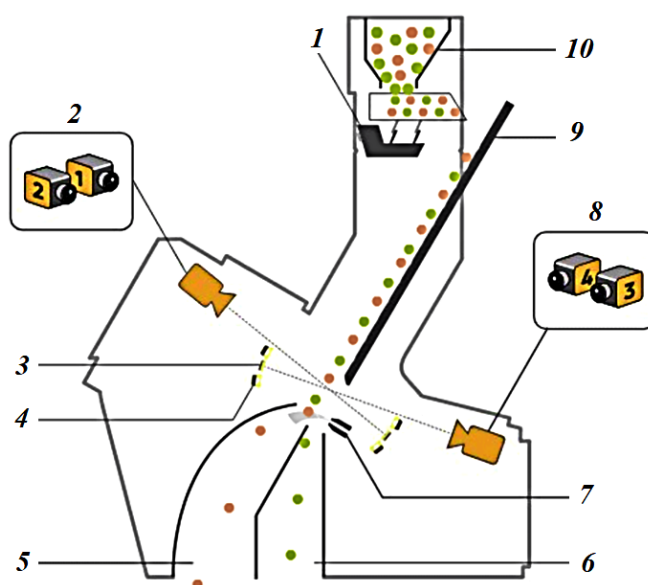


Рис. 1. Схема фотосепаратора SmartSort C.

Основные компоненты:

- 1 – вибропитатель; 2 – передние камеры;
- 3 – фоновый экран; 4 – лампы освещения;
- 5 – патрубок негодного продукта;
- 6 – патрубок годного продукта; 7 – эжекторы;
- 8 – задние камеры; 9 – наклонный лоток;
- 10 – загрузочный бункер

Fig. 1. Main Components of the SmartSort C Color Sorter Diagram:

- 1 – vibrating feeder; 2 – front chambers;
- 3 – background screen; 4 – illumination lamps;
- 5 – pipe for unusable products;
- 6 – pipe for usable products; 7 – ejectors;
- 8 – rear chambers; 9 – inclined tray; 10 – loading hopper

обособленного подразделения ООО «СиСорт», г. Воронеж. Определение оптимальных параметров и настройку фотосепаратора проводили на исходном ворохе люцерны сорта «Артемиды» урожая 2024 г. с содержанием семян повилики в диапазоне 0,006...0,010%.

Подлежащий сортировке материал из загрузочного бункера 10 вибропитателем 1 подается на наклонный лоток 9 (рис. 1). Под действием силы тяжести частицы скатываются по наклонной поверхности лотка 9, при этом за счет трения о поверхность расстояние между частицами увеличивается, что позволяет снизить погрешность сортировки. Далее частицы попадают в зону детекции, где с помощью камер 2, 8 определяются наличие и местоположение засорителя (частиц негодного продукта). При снятии изображения камерами для большей контрастности используются фоновые экраны 3 и дополнительная подсветка 4. Обработав информацию с камер, электронный блок управления открывает необходимый эжектор 7 пневмосистемы, откуда под определенным давлением вырывается воздушная струя, точно удаляя частицу засорителя в отход. Частицы основного продукта без внешнего воздействия двигаются по траектории свободного падения в основной сборник [9, 10].

Определение оптимальных настроек систем фотосепаратора для очистки семян люцерны от повилики проводили в 2 этапа.

На первом этапе установили возможность определения семян повилики камерами фотосепаратора при трех режимах работы систем фиксации изображения при рекомендуемых режимах работы пневмосистемы (табл. 1).

Для определения эффективности выделения семян повилики из семян люцерны использовали смесь: в очищенный образец семян весом 300 г добавили 1000 шт. семян повилики, что соответствовало 0,17% засоренности.

Установив возможность различать семена повилики от семян люцерны на изображениях с камер фотосепаратора, мы провели исследования по определению оптимальных настроек систем фотосепаратора для эффективного удаления семян повилики. Для этого подготовили образец семян с засоренностью семенами повилики 0,14% и приняли ее как базовую.

Качество процесса фотосепарации определяли при различных настройках SmartSort C (табл. 2).

После каждой корректировки параметров из очищенной и отходовой фракций отбирали образцы весом 30 г и в лаборатории механизации защиты растений ФГБНУ «ВНИИЗР» устанавливали количество семян повилики в них.

Эффективность выделения семян повилики определяли при засоренности семенами люцерны 0,63; 0,32; 0,14%.

Результаты и их обсуждение

По рекомендуемым производителем параметрам произвели сортировку подготовленного образца семян люцерны с содержанием повилики 0,17% с фотофиксацией процесса (рис. 2).

Отметим, что семена люцерны и повилики, запечатленные стандартной камерой фотосепаратора, визуально трудноразличимы. Кроме того, разрешение камер является недостаточным, чтобы уловить имеющиеся между ними различия в форме, не говоря уже о текстуре оболочек этих семян, имеющих значительные отличия (рис. 3).

Режимы процесса фотосепарации, рекомендуемые производителем

Таблица 1

Table 1

Color sorting modes recommended by the manufacturer

Вариант Option	Задержка эжектора, мс Ejector delay, ms	Давление, бар Pressure, bar	Освещение Lighting	Фон Background
A	3,2	2	ИК + белый свет / IR + white light	цветной / Color
B	3,2	2	ИК + белый свет / IR + white light	ИК / IR
C	3,0	2	белый свет / white light	ИК / IR

Таблица 2

Предлагаемые режимы процесса фотосепарации

Table 2

Proposed color sorting modes

Вариант Option	Задержка эжектора, мс Ejector delay, ms	Давление, бар Pressure, bar	Освещение Lighting	Фон Background
I	3,2	2	ИК + белый свет / IR + white light	цветной / Color
II	3,2	1	ИК + белый свет / IR + white light	ИК / IR
III	2,7	2	белый свет / white light	ИК / IR
IV	2,6	2	белый свет / white light	ИК / IR

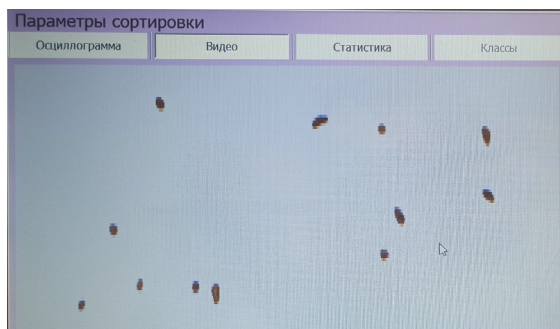
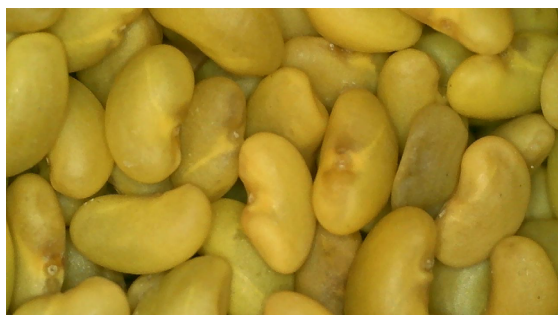


Рис. 2. Захват изображения с камер фотосепаратора в процессе очистки семян люцерны, вариант А

Fig. 2. Image capture from the cameras of the color sorter during the cleaning of alfalfa seeds – Version A



a



b

Рис. 3. Семена люцерны (a) и повилики (b)

Fig. 3. Alfalfa seeds (a), dodders (b)



Рис. 4. Фотоснимок семян RGB камерой на инфракрасном фоне при инфракрасном освещении, совмещенном с белым светом, вариант В

Fig. 4. Photo of seeds with an RGB camera on an infrared background with infrared light combined with white light – Version B

На фотографиях люцерны и повилики хорошо заметны различия не только в размере и оттенке семян этих видов, но и в текстуре внешней оболочки. Семена люцерны имеют более гладкую и глянцевую оболочку (3a), в то время как семена повилики – шершавую неоднородную, внешне напоминающую поверхность абразивной бумаги (3b). Несмотря на столь очевидные различия, высокоскоростные камеры существующих фотосепараторов, используемых на сельхозпредприятиях, имеют недостаточное разрешение, чтобы эти различия уловить.

На основе анализа изображений сравниваемых семян провели исследования процесса фотосепарирования в инфракрасном (ИК) спектре (варианты В и С). Когда настроили инфракрасное освещение совместно с белым светом, семена получили контрастность на снимках с RGB камер фотосепаратора (рис. 4).

Отметим, что семена с более гладкой текстурой оболочки засвечены и выглядят как белые пятна, тогда как семена с шероховатой оболочкой контрастируют черными точками.

При данных параметрах были определены семена повилики, но в результате сортировки производилось некорректное разделение материала в образцах годного продукта: семян повилики было больше, чем в отходах. При этом регулировка задержки эжекторов влияла незначительно: так, при задержке в 3,2 мс в отход выносилось на 22% меньше семян засорителя в сравнении с образцом, где задержка составляла 3,0 мс. При этом в варианте II содержание семян повилики в очищенном образце и в отходе было примерно равным. Образцы варианта III показали содержание семян повилики в очищенном образце больше, чем в отходе.

Дальнейшие исследования проводили, отталкиваясь от результатов предыдущего опыта. При этом после каждой корректировки параметров отбирали образцы по 30 г из очищенной и отходовой фракций и вычисляли количество семян повилики в них. Для каждого варианта настроек (табл. 2) проводили сортировку образцов с последующим анализом очищенной фракции и отходов. Количество семян повилики фиксировали в трех повторностях.

В результате разбора образцов весом 30 г получили следующие результаты: в I варианте в отход вынеслось около 65 шт. семян повилики, а в очищенной массе их обнаружено 10 шт.; во II варианте в отходе было на 60% меньше семян повилики, а в очищенной части их количество осталось на том же уровне; в III варианте вынос в отход семян повилики увеличился на 48%, а в очищенной части их количество снизилось на 33%, или до 6 шт.;

в IV варианте количество семян повилики в очищенной части не превышало 1 шт. (обнаружено в одном образце из трех исследуемых) (табл. 3).

По результатам выделения семян повилики из вороха люцерны установили наиболее эффективные параметры фотосепаратора: фон инфракрасного спектра в совокупности с освещением белым светом; фиксация изображения RGB камерой; давление в системе 2,0 бар; задержка срабатывания эжекторов – 2,6 мс. При этом стоит учитывать, что определение параметров настройки фотосепаратора проводилось на смеси семян, где содержание повилики в несколько раз превышало ее наличие в исследуемом ранее комбайновом ворохе.

Установив оптимальные настройки фотосепаратора, далее определяли влияние засоренности исходного вороха и производительности агрегата на эффективность сортировки.

Дальнейшее исследование возможности повышения эффективности выделения семян сорняков

на фотосепараторе основывалось на определении влияния исходной засоренности очищаемого материала на эффективность очистки. Для этого в семена люцерны добавили различное количество семян повилики и получили 3 образца: 1 – с засоренностью повиликой 0,63%; 2 – с засоренностью 0,32%; 3 – с засоренностью 0,14%.

Зависимость полноты выделения примесей от исходной чистоты вороха люцерны при установленных ранее параметрах и стандартной производительности фотосепаратора 100 кг/ч представлена на рисунке 5.

При незначительном снижении чистоты исходного вороха происходит значительное снижение полноты выделения. При этом повышение чистоты исходного вороха на 0,1% позволяет повысить полноту выделения на 1% и более (рис. 5). Это особенно важно в случае выделения семян повилики из вороха люцерны, что является исключительным процессом по своим характеристикам.

Таблица 3

Сравнение параметров настроек и их эффективности

Table 3

Comparison of settings and their effectiveness

Вариант <i>Option</i>	Задержка эжектора, мс <i>Ejector delay, ms</i>	Давление, бар <i>Pressure, bar</i>	Освещение <i>Lighting</i>	Фон <i>Background</i>	Содержание семян повилики в образцах, шт. <i>Dodder seed content in samples, pcs.</i>	
					очищенный <i>Cleaned</i>	отход <i>Waste</i>
I	3,2	2	ИК + белый свет / IR + white light	цветной / Color	10	65
II	3,2	1	ИК + белый свет / IR + white light	ИК / IR	9	26
III	2,7	2	белый свет / white light	ИК / IR	6	50
IV	2,6	2	белый свет / white light	ИК / IR	≤1	98

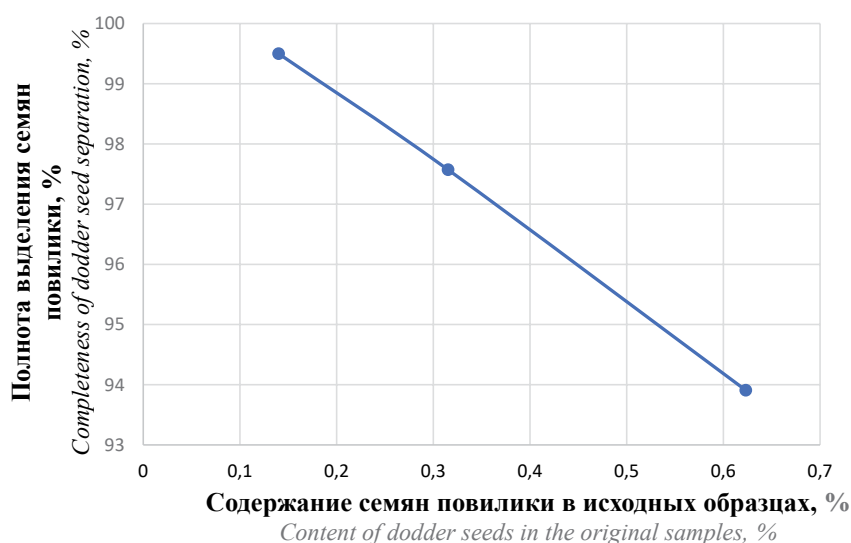


Рис. 5. Зависимость полноты выделения от содержания семян повилики в исходном ворохе

Fig. 5. Relationship between the completeness of separation and the content of dodder seeds in the initial heap

Далее провели исследование влияния уровня удельной подачи фотосепаратора на эффективность удаления семян повилики из люцерны. При этом, отталкиваясь от рекомендуемой производителем подачи на уровне 100 кг/ч, для сравнения установили производительность агрегата ниже и выше рекомендуемого производителем параметра и провели очистку материала с базовой засоренностью повиликой в 0,14%.

Результаты обработки данных представлены на рисунке 6.

Отметим, что при минимальной производительности фотосепаратора 85 кг/ч мы получили 100%-ную полноту выделения семян повилики. Повышение производительности до 130 кг/ч приводит к снижению полноты выделения примесей до 99%. Такое снижение имеет большое значение, когда засорителем являются семена карантинного сорняка.

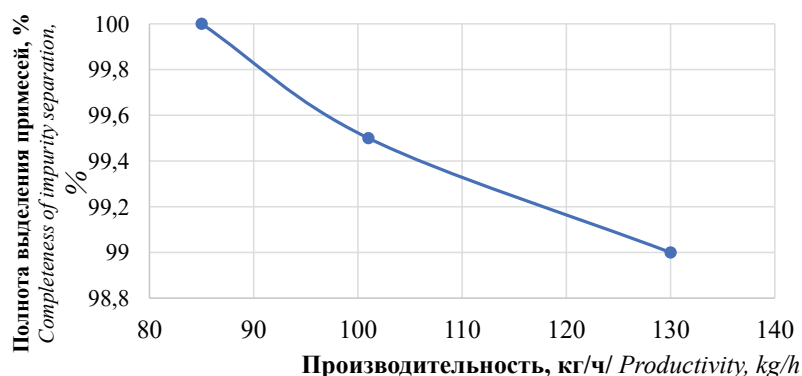


Рис. 6. Зависимость полноты выделения примесей от производительности фотосепаратора

Fig. 6. Relationship between the completeness of impurity separation and the capacity of the color sorter

Выводы

1. При очистке семян люцерны на фотосепараторе применение ИК-фона в совокупности с подсветкой белым светом увеличивает контрастность семян повилики на 40%.

2. Увеличение засоренности исходного образца семенами повилики на 0,1% приводит к снижению качества очистки семян люцерны фотосепаратором в среднем на 1,16%.

3. Полного удаления семян повилики из семян люцерны на фотосепараторе SmartSort С удалось достичь при использовании ИК-фона и подсветкой

белым светом, давлении пневмосистемы 2,0 бар, задержке срабатывания эжекторов 2,6 мс, при удельной загрузке машины на 1 лоток 85 кг/ч и уровне засоренности 0,14%.

4. Для эффективной сортировки необходимо производить калибровку давления пневмосистемы и определять время задержки эжекторов фотосепаратора под конкретный материал.

5. Результаты исследований могут быть использованы при внедрении систем машинного обучения и искусственного интеллекта в программное обеспечение разрабатываемых отечественных фотосепараторов.

Список источников

1. Тарабрин Д.С., Гулевский В.А., Шебалин Е.Н. Разработка технологической схемы и обоснование параметров очистки семян люцерны // Наука в центральной России. 2024. № 5 (71). С. 17-25. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-5-17-25>
2. Тарасенко А.П., Оробинский В.И., Мерчалова М.Э. Инновационное направление совершенствования послеуборочной обработки зерна // Лесотехнический журнал. 2013. № 3. С. 161-164. EDN: RQQPHD
3. Стукалова А.В., Ямпиллов С.С., Балданов В.Б. Обзор современных фотосепараторов // Вестник ВСГУТУ. 2024. № 1 (92). С. 62-71. https://doi.org/10.53980/24131997_2024_1_62
4. Шафоростов В.Д., Припоров И.Е. Качественные показатели фотосепаратора по фракционной технологии при разделении семян подсолнечника // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 1-3 (32). С. 23-25. EDN: TIJJQN
5. Hu X., Yang L., Zhang Z. et al. Differentiation of alfalfa and sweet clover seeds via multispectral

References

1. Tarabrin D.S., Shebalin E.N., Gulevsky V.A. Development of a technological scheme and justification of alfalfa seed cleaning parameters. *Science in the Central Russia*. 2024;5(71);17-25. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-5-17-25>
2. Tarasenko A.P., Orobinsky V.I., Merchalova M.E. Innovative direction of improving post-harvest grain handling. *Forestry Engineering Journal*. 2013;3;161-164. (In Russ.)
3. Stukalova A.V., Yampilov S.S., Baldanov V.B. Review of modern photoseparators. *ESSTUM Bulletin*. 2024;1(92);62-71. (In Russ.)
4. Shaforostov V.D., Priporov I.E. Qualitative indicators of work of the photoseparator on fractional technologies at division of sunflower seed. *International Research Journal*. 2015;1-3(32);23-25. (In Russ.)
5. Hu X., Yang L., Zhang Z. et al. Differentiation of alfalfa and sweet clover seeds via multispectral imaging. *Seed Science and Technology*. 2020;48(1);83-99. <https://doi.org/10.15258/sst.2020.48.1.11>

imaging. *Seed Science and Technology*. 2020;48(1):83-99. <https://doi.org/10.15258/sst.2020.48.1.11>

6. Чиркова Л.В., Белецкий С. Сепарирование по цвету // *Хлебопродукты*. 2005. № 5. С. 42-43. EDN: VNWSUP

7. Бутовченко А.В. Применение механизированной очистки и фотосепарации семенного зерна и початков кукурузы в современных технологиях // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2018. № 135. С. 158-168. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-135-014>

8. Агрегат для очистки семян люцерны: Патент RU2819437 C1, МПК B07B9/02 (2024.01), A01F 12/44(2024.01) / Д.С. Тарабрин, Е.Н. Шебалин, В.А. Гулевский; заявл. 18.01.2024; опубл. 21.05.2024, Бюл. № 15. EDN: ENJZPW

9. Мяснянкин К.В., Агеев А.А., Тарасенко А.П. Влияние типа лотков на качество очистки гречихи фотосепаратором // *Техника в сельском хозяйстве*. 2014. № 6. С. 5-7. EDN: UHWREJ

10. Мяснянкин К.В., Тарасенко А.П. Влияние уровня вибрации вибропитателя фотосепаратора на качество очистки гречихи // *Тракторы и сельхозмашины*. 2015. № 12. С. 26-28. EDN: SYMSUQ

Информация об авторах

¹ **Тарабрин Дмитрий Сергеевич**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений; 396030, Воронежская область, Рамонский район, п. ВНИИСС, 92; tarabrinds@ya.ru; <https://orcid.org/0009-0004-7944-5674>; SPIN-код: 3764-3489, AuthorID: 798160

² **Гулевский Вячеслав Анатольевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры математики, Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I; 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина 1; gulevsky_va@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1637-304X>; SPIN-код: 4081-3587, AuthorID: 305636

Вклад авторов

Д.С. Тарабрин – разработка методологии, проведение исследования, создание черновика рукописи, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование; В.А. Гулевский – формулирование основной концепции исследования, научное руководство.

Статья поступила 14.03.2025, после рецензирования и доработки 28.05.2025; принята к публикации 20.06.2025

6. Chirkova L.V., Beletskiy S. Color separation. *Khleboprodukt*. 2005;5:42-43. (In Russ.)

7. Butovchenko A.V. Use of mechanical cleaning and color sorting of seed grain and corn cobs in modern technologies. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. Krasnodar: KubGAU, 2018;135;158-168. (In Russ.)

8. Tarabrin D.S., Shebalin E.N., Gulevskii V.A. Alfalfa seeds cleaning unit: Patent No. 2819437 Russian Federation, IPC B07B9/02(2024.01), A01F12/44(2024.01), 2024. (In Russ.)

9. Myasnyankin K.V., Ageev A.A., Tarasenko A.P. Influence of the type of trays on the quality of buckwheat cleaning with a color sorter. *Tekhnika v selskom khozyaystve*. 2014;6;5-7. (In Russ.)

10. Myasnyankin K.V., Tarasenko A.P. Influence of vibration level of color sorter's vibratory feeder on the quality of buckwheat seeds cleaning. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2015;12;26-28. (In Russ.)

Author Information

Dmitriy S. Tarabrin¹, CSc (Eng), Senior Research Engineer, All-Russian Research Institute of Plant Protection; 396030, Voronezh Region, Ramon District, 92; tarabrinds@ya.ru; <https://orcid.org/0009-0004-7944-5674>

Vyacheslav A. Gulevsky², DSc (Eng), Professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I; 394087, Voronezh Region, Voronezh, Michurina Str. 1; gulevsky_va@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0002-1637-304X>

Author Contribution

D.S. Tarabrin – methodology, investigation, writing – original draft, review and editing of the manuscript; V.A. Gulevskiy – conceptualization, research supervision.

Received 14.03.2025; Revised 28.05.2025; Accepted 20.06.2025

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.171

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-54-60>

Оптимизация диагностирования узлов и агрегатов тракторов Кировец К-742М с помощью программы ЭВМ на языке программирования Python

Д.А. Москвичев

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

moskvichev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0002-7082-4876>

Аннотация. Необходимость эффективного технического обслуживания и своевременного ремонта тракторов обуславливает важность разработки программ ЭВМ для диагностики и выявления неисправностей основных узлов и агрегатов. Работа проведена с целью разработки ПО на языке программирования Python, позволяющей проводить диагностику узлов и агрегатов тракторов Кировец К-742М для их своевременного технического обслуживания, повышения эффективности эксплуатации и снижения времени простоя. При разработке программы для диагностики узлов и агрегатов тракторов применили метод экспертных оценок, который интегрировали в интерфейс программы, созданный с использованием библиотеки Tkinter. Приняли допущения о применении программы на тракторах, оборудованных CAN-шинами, и совместимости протоколов обмена диагностическими данными, об осуществлении диагностики персоналом, имеющим опыт работы с программой, и возможном варьировании условий эксплуатации техники. Алгоритм работы программы учитывает информацию о тракторе (модель, год выпуска, пробег и т.д.) и получение рекомендаций по диагностике с использованием метода экспертных оценок. Апробацию разработанного ПО провели в компании ООО «Экспедешен Компани», в которой для диагностики узлов и агрегатов тракторов модели Кировец К-742М используют программное обеспечение Case IH Service Advisor. В результате сравнения полученных данных подтвердили гипотезу об эффективности разработанного ПО: скорость диагностирования программы ЭВМ Python на 5% выше и точнее по сравнению с иностранным ПО; программа позволяет своевременно выявлять неисправности и предоставляет четкие рекомендации по их устранению, что позволяет снизить время простоя техники и повысить ее надежность. Дальнейшее расширение программы, добавление узлов, симптомов и рекомендаций и регулярная диагностика тракторов позволят повысить надежность их эксплуатации на 30%, предотвратить серьезные поломки и поддерживать технику в исправном состоянии.

Ключевые слова: диагностика тракторов; Кировец К-742М; Python; техническое обслуживание; пользовательский интерфейс; алгоритм; метод экспертных оценок; неисправности

Для цитирования: Москвичев Д.А. Оптимизация диагностирования узлов и агрегатов тракторов Кировец К-742М с помощью программы ЭВМ на языке программирования Python // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 4. С. 54-60. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-54-60>

ORIGINAL ARTICLE

Optimization of diagnostics of units and assemblies of Kirovets K-742M tractors using software in the Python programming language

D.A. Moskvichev

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

moskvichev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0002-7082-4876>

Abstract. The need for efficient maintenance and timely repair of tractors determines the importance of developing software for diagnostics and detection of faults in the main units and assemblies. The study aimed to develop software in the Python programming language to diagnose units and assemblies of Kirovets K-742M tractors for their timely maintenance, increased operating efficiency and reduced downtime. When developing the software, the author used the expert assessment method integrated into the program interface created using the Tkinter library. Assumptions were made about the software use on tractors equipped with CAN buses and the compatibility of diagnostic data exchange protocols; diagnostics by personnel experienced in using the considered software, and possible variations in the operating conditions of the equipment. The program algorithm takes into account information about the tractor (model, year of manufacture, mileage, etc.) and possible recommendations for diagnostics using the expert

assessment method. The developed software was tested at Expedition Company LLC, which uses Case IH Service Advisor software to diagnose units and assemblies of Kirovets K-742M tractors. Having compared the obtained data, the author confirmed the hypothesis about the effectiveness of the developed software: diagnosing with the Phyton software is 5% faster and more accurate as compared to foreign software. The software also ensures timely detection of faults and provides clear recommendations for their elimination, which reduces equipment downtime and increases its reliability. Further expansion of the software, adding units, symptoms and recommendations, and regular diagnostics of tractors will increase its reliability by 30%, prevent serious breakdowns and maintain equipment in good condition.

Keywords: tractor diagnostics; Kirovets K-742M; Python; maintenance; user interface; algorithm; expert assessment method; faults

For citation: Moskvichev D.A. Optimization of diagnostics of units and assemblies of Kirovets K-742M tractors using software in the Python programming language. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):54-60 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-54-60>

Введение

При диагностике современных тракторов, выполняющих агрономические задачи, требуется разработка программного обеспечения (ПО) [1]. На международной арене существует несколько программ – таких, как John Deere Repair Guide, Case IH Service Advisor и New Holland Electronic Toolbox, которые обеспечивают пользователям доступ к информации о техническом состоянии тракторов, предоставляют алгоритмы диагностики и рекомендации по ремонту основных узлов и агрегатов техники: двигателя, трансмиссии, гидравлической системы и т.д. [2]. Однако импортное ПО, например, Case IH Service Advisor, отличается высокой стоимостью доступа для российских пользователей, не учитывает специфику отечественной техники и условий эксплуатации в России и странах СНГ, имеет ограниченные возможности интеграции с другими системами мониторинга и предиктивного обслуживания, сложный пользовательский интерфейс, недостаточную скорость диагностики и точность.

Значительная цена доступа к импортным программным продуктам, а также потребность в лицензировании и сопровождении формируют дополнительное препятствие для обычных пользователей и небольших фермерских хозяйств. Это обуславливает важность создания отечественного программного обеспечения, доступного для обширного круга пользователей и учитывающего специфические условия эксплуатации тракторов на территории России и государств СНГ.

Можно ожидать, что приложение, разработанное с использованием языка программирования Python, будет иметь ряд достоинств включая простоту применения, высокую читаемость кода и широкий функционал. Python, являясь одним из наиболее востребованных языков программирования, предоставляет множество библиотек графических интерфейсов (таких, как Tkinter), что позволяет создать интуитивно понятное и удобное ПО для диагностики узлов и агрегатов тракторов [3].

Разработка отечественного софта на языке Python позволит повысить надежность и эффективность технического обслуживания тракторов, обеспечить доступ к необходимой информации и адаптацию к специфическим требованиям аграрного сектора, что в конечном итоге поддержит развитие сельского хозяйства в России [4].

Цель исследований: разработка и описание программы на языке программирования Python, позволяющей проводить диагностику узлов и агрегатов тракторов Кировец К-742М, для своевременного технического обслуживания, повышения эффективности эксплуатации техники и снижения времени простоя, что будет оцениваться показателями точности диагностики и скорости выявления неисправностей.

Материалы и методы

Программа диагностики узлов и агрегатов тракторов Кировец К-742М базируется на современных подходах к разработке программного обеспечения, соответствующих действующим отечественным и зарубежным стандартам, связанным с технической диагностикой и агрономическим оборудованием¹.

Основными деталями и модулями трактора Кировец К-742М, подлежащими обследованию, являются двигатель, трансмиссия, гидравлическая система, электрическая система, шасси [5], а также показатели, применяемые для определения их состояния. Оценить состояние элементов трактора можно с помощью метода экспертных оценок, метода анализа причин и последствий (FMEA) и метода машинного обучения [6]. В работе применили метод экспертных оценок – эффективный инструмент для выявления неисправностей трактора, особенно в случаях сложных систем,

¹ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015. Информационные технологии (ИТ). Системная и программная инженерия. Требования и оценка качества систем и программного обеспечения (SQuaRE). Модели качества систем и программных продуктов.

когда традиционные подходы к диагностике могут оказаться недостаточно результативными². На основе анализа частых неисправностей эксперты могут предложить рекомендации по профилактическому обслуживанию и улучшению эксплуатации тракторов [7, 8]. Использование метода экспертных оценок в диагностике неисправностей тракторов позволяет повысить точность диагностики, сократить время на ремонт и улучшить общую надежность техники [9].

В процессе проектирования программы нами приняты следующие допущения и ограничения:

1. Программное обеспечение предназначено для работы только с тракторами, оборудованными CAN-шинами и совместимыми с протоколами обмена диагностическими данными.

2. Для получения точных результатов диагностики требуется квалифицированный персонал, имеющий опыт работы с программой и ее функциональными возможностями.

3. Результаты диагностики могут варьироваться в зависимости от состояния узлов и агрегатов, фактора времени и условий эксплуатации техники.

Разработанное с помощью языка программирования Python ПО предоставит пользователям более доступный, локализованный и эффективный инструмент для диагностики и обслуживания тракторов Кировец К-742М, адаптированный к специфике эксплуатации в аграрной отрасли России и СНГ.

Основные этапы разработки программы: разработка интерфейса для пользователя, внедрение алгоритмов диагностики, обработка и исследование информации, написание программного кода для реализации алгоритма диагностики на языке программирования Python [10]. Эмпирическая модель программы ЭВМ представлена в виде блок-схемы на рисунке 1.

Алгоритм работы программы включает в себя следующие операции:

- инициализация системы: загрузка необходимых библиотек, подключение к базе данных с данными о тракторах и их неисправностях;
- вывод меню для пользователя: ввод информации о тракторе, получение рекомендаций по диагностике, выход из программы;
- если пользователь выбрал ввод информации о тракторе, – запрос данных о тракторе (модель, год выпуска, пробег и т.д.), сохранение информации в базе данных, возврат к меню;
- если пользователь выбрал получение рекомендаций по диагностике, – запрос данных о симптомах неисправности с использованием метода экспертных

оценок для анализа симптомов, выведение возможных неисправностей и рекомендации по их устранению, возврат к меню [11];

– если пользователь выбрал выход из программы, – завершение работы программы [12].

При оценке характеристик диагностических параметров тракторов (давление масла, температура, уровень жидкости, состояние частоты вращения и др.) устанавливаются предельные значения согласно ГОСТ 20793-2023:

– «ОК» – если измеренное значение находится в пределах допустимого диапазона (например, давление масла – 0,5...5 атм);

– «FAIL» – если значение выше или ниже установленных пределов.

Каждому агрегату трактора (двигатель, трансмиссия и т.д.) соответствует полное описание состояния узлов и агрегатов:

– «Нормальное состояние» – соответствует критериям «ОК»;

– «Аномальное состояние» – свидетельствует о наличии неисправностей и фиксируется как «FAIL».

– «Нарушение» – отклонение от допустимых значений, классифицируемое как «FAIL».

– «Устойчивое состояние» – значение в пределах нормы, что будет считаться за «ОК».

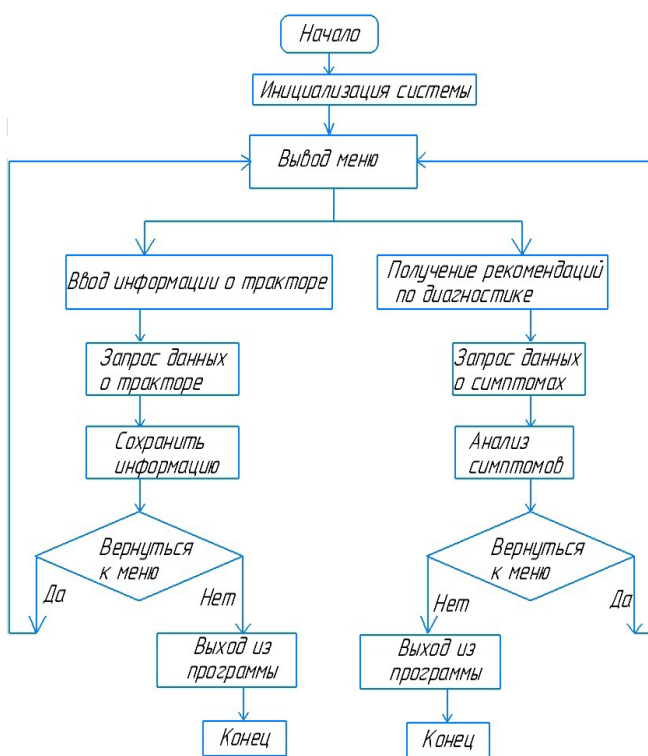


Рис. 1. Блок-схема работы программы ЭВМ по диагностированию узлов и агрегатов тракторов Кировец К-742М

Fig. 1. Block diagram of the software for diagnosing units and assemblies of Kirovets K-742M tractors

² ГОСТ 20793-2023. Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание.

В некоторых случаях применяется экспертная оценка по числовым значениям и характерным признакам (шумы, вибрации). Например, если трактор издает необычные звуки, это соответствует категории «Нарушение» и фиксируется как «FAIL» [13, 14].

Весь процесс диагностики подлежит документации с использованием установленных форм и образцов, указанных в ГОСТ 20793-2023, для обеспечения прозрачности и воспроизводимости диагностики.

Результаты и их обсуждение

В рамках разработки программы для диагностики узлов и агрегатов тракторов применен метод экспертных оценок. Этот метод интегрировали в интерфейс программы, созданный с использованием библиотеки Tkinter, что значительно повысило его функциональность и удобство для пользователей. При вводе симптома, связанного со странными звуками, программа может запросить экспертное мнение о вероятных причинах и предложить список возможных неисправностей. Метод экспертных оценок позволил выявлять неисправности и оценивать их серьезность, а также способствовал созданию базы данных о типичных неисправностях и об их признаках. Простой интерфейс позволяет пользователю выбирать узлы трактора и вводить симптомы неисправностей, на основе которых будет отображаться диагностика.

Элементы интерфейса: метка для выбора узла трактора, выпадающий список для выбора узла, поле ввода для симптомов, кнопка для запуска диагностики, метка для отображения результата. Также имеется возможность использования обратной связи.

Обязательным условием для корректного функционирования программы является наличие в диагностируемых узлах и агрегатах CAN-шин, обеспечивающих обмен данными по установленным протоколам [15]. Для связи программы с CAN-шиной применяется специальный интерфейс, который может быть внешним устройством (например, USB-CAN адаптером), позволяющим компьютеру или планшету выполнять обмен данными с трактором. Этот адаптер преобразует сигналы с CAN-шины в формат, совместимый с программным обеспечением, и подключается к диагностическому разъему трактора, что позволяет программе считывать данные о состоянии двигателя, трансмиссии и других компонентов. После подключения и настройки пользователь может запустить программу на своем устройстве (например, на ноутбуке или планшете) и начать диагностику.

Для реализации программы по диагностированию узлов и агрегатов тракторов Кировец К-742М на языке Python создали консольную программу, которая будет принимать информацию о состоянии

различных узлов и агрегатов и выдавать рекомендации по диагностике. Фрагмент кода программы ЭВМ представлен на рисунке 2. Программа предоставляет базовую функциональность для диагностики узлов и агрегатов тракторов Кировец К-742М.

После завершения разработки программы проведено тестирование для оценки ее работоспособности. Тестирование включало в себя проверку корректности работы алгоритмов, оценку удобства пользовательского интерфейса, анализ времени выполнения операций.

Апробацию разработанной программы осуществили в компании ООО «Экспедешен Компани», в которой для диагностики узлов и агрегатов тракторов модели Кировец К-742М используют программное обеспечение Case IH Service Advisor.

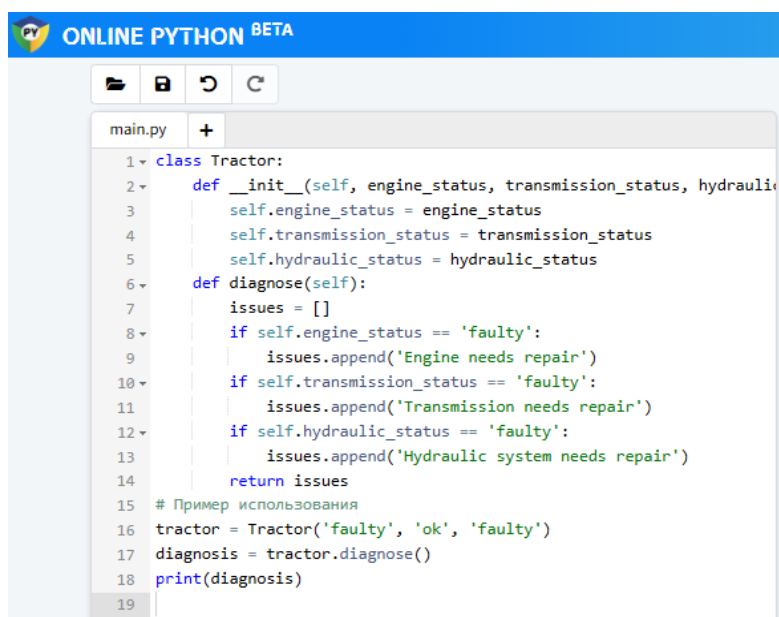
Для создания приложения по выявлению неисправностей деталей и модулей трактора Кировец К-742М на языке Python применили архитектуру, содержащую проверку двигателя, трансмиссии, гидравлики и т.д.

Фрагмент использования программы ЭВМ по диагностированию узлов и агрегатов трактора Кировец К-742М на языке программирования Python представлен на рисунке 3.

Для уточнения результатов 4-кратно проводили каждый тест узлов и агрегатов трактора Кировец К-742М. Результаты тестирования программы ЭВМ на Python и Case IH Service Advisor на базе трактора Кировец К-742М представлены в таблице. Значение «ОК» характеризует исправное функционирование; «FAIL» означает, что выявлены проблемы и требуется ремонт.

Скорость диагностирования программы ЭВМ Python на 5% выше и точнее по сравнению с иностранным ПО. Программа ЭВМ на Python в отличие от Case IH Service Advisor позволила выявить проблемы с трансмиссией и необходимость ее проверки и возможного ремонта. На этапе тестирования программа показала высокую эффективность в диагностике узлов и агрегатов тракторов. Пользователи отметили, что программа позволяет своевременно выявлять неисправности и предоставляет четкие рекомендации по их устранению. Это позволяет значительно снизить время простоя техники, который может достигать 10...20% рабочего времени в зависимости от условий эксплуатации.

Полученные результаты подтвердили гипотезу об эффективности разработанного ПО. Расширение программы, добавление узлов, симптомов и рекомендаций и регулярная диагностика тракторов позволят повысить надежность их эксплуатации на 30%, предотвратить серьезные поломки и поддерживать технику в исправном состоянии.



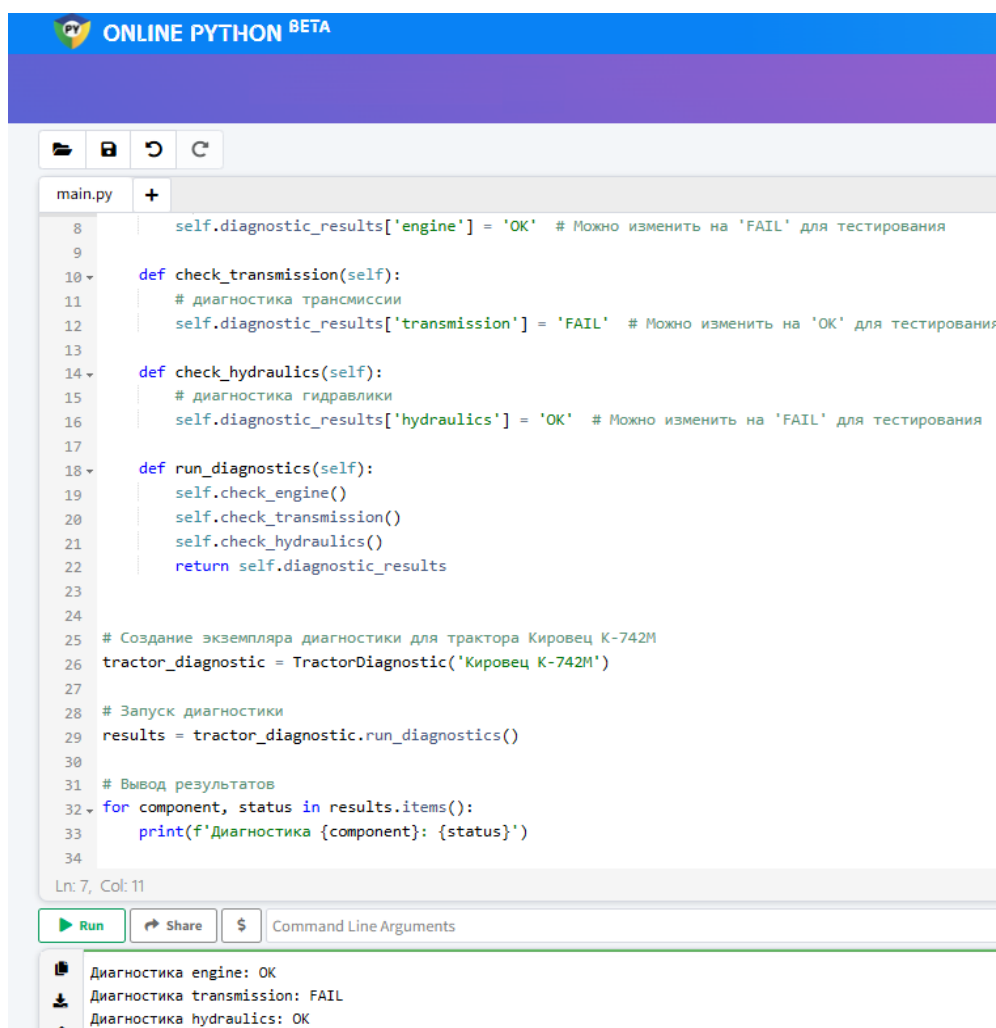
```

1 class Tractor:
2     def __init__(self, engine_status, transmission_status, hydraulic_status):
3         self.engine_status = engine_status
4         self.transmission_status = transmission_status
5         self.hydraulic_status = hydraulic_status
6     def diagnose(self):
7         issues = []
8         if self.engine_status == 'faulty':
9             issues.append('Engine needs repair')
10        if self.transmission_status == 'faulty':
11            issues.append('Transmission needs repair')
12        if self.hydraulic_status == 'faulty':
13            issues.append('Hydraulic system needs repair')
14        return issues
15    # Пример использования
16    tractor = Tractor('faulty', 'ok', 'faulty')
17    diagnosis = tractor.diagnose()
18    print(diagnosis)
19

```

Рис. 2. Фрагмент кода программы ЭВМ по диагностированию узлов и агрегатов тракторов Кировец К-742М на языке Python

Fig. 2. Fragment of the software code for diagnosing units and assemblies of Kirovets K-742M tractors in Python



```

8         self.diagnostic_results['engine'] = 'OK' # Можно изменить на 'FAIL' для тестирования
9
10    def check_transmission(self):
11        # диагностика трансмиссии
12        self.diagnostic_results['transmission'] = 'FAIL' # Можно изменить на 'OK' для тестирования
13
14    def check_hydraulics(self):
15        # диагностика гидравлики
16        self.diagnostic_results['hydraulics'] = 'OK' # Можно изменить на 'FAIL' для тестирования
17
18    def run_diagnostics(self):
19        self.check_engine()
20        self.check_transmission()
21        self.check_hydraulics()
22        return self.diagnostic_results
23
24
25    # Создание экземпляра диагностики для трактора Кировец К-742М
26    tractor_diagnostic = TractorDiagnostic('Кировец К-742М')
27
28    # Запуск диагностики
29    results = tractor_diagnostic.run_diagnostics()
30
31    # Вывод результатов
32    for component, status in results.items():
33        print(f'Диагностика {component}: {status}')
34

```

Ln: 7, Col: 11

Run Share Command Line Arguments

Диагностика engine: OK
Диагностика transmission: FAIL
Диагностика hydraulics: OK

Рис. 3. Фрагмент использования программы ЭВМ по диагностированию узлов и агрегатов трактора Кировец К-742М

Fig. 3. Fragment of using the software for diagnosing units and assemblies of a Kirovets K-742M tractor

Результаты диагностики трактора Кировец К-742М
с помощью разработанной программы
и Case IH Service Advisor

Таблица

Diagnostics results for the Kirovets K-742M tractor using
the developed software and Case IH Service Advisor

Table

№ теста <i>Test No.</i>	Диагностика двигателя <i>Engine diagnostics</i>	Диагностика трансмиссии <i>Drive line diagnostics</i>	Диагностика гидравлики <i>Hydraulic diagnostics</i>
Программа ЭВМ на Python / Software in Python			
Тест 1	OK	FAIL	OK
Тест 2	OK	FAIL	OK
Тест 3	OK	FAIL	OK
Тест 4	OK	FAIL	OK
Case IH Service Advisor/ Case IH Service Advisor			
Тест 1	OK	OK	OK
Тест 2	OK	OK	OK
Тест 3	OK	FAIL	OK
Тест 4	OK	FAIL	OK

Список источников

1. Российская Федерация. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей»: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024683359 / Д.А. Москвичев, А.С. Гузалов, А.В. Евграфов, Д.А. Филимонов. № 2024682911; заявл. 02.10.2024; опубл. 14.10.2024. EDN: AKVBAS
2. Москвичев Д.А., Хакимов Р.Т. Особенности разработки компьютерной программы для систем управления тракторами сельскохозяйственного назначения на основе искусственного интеллекта // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 4 (121). С. 29-37. EDN: OAPAPS
3. Митягин Г.Е., Москвичев Д.А., Пильщиков В.Л. Разработка программного обеспечения для организации технического обслуживания и ремонта автомобилей на автотранспортном предприятии // Международный технический журнал. 2024. № 5(93). С. 7-15. EDN: JNLSJN
4. Ахтаров Д.Н., Шорохов П.Н. Современные системы бортовой диагностики тракторов и автомобилей // Устойчивое научно-техническое развитие агропромышленного комплекса РФ: Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, г. Екатеринбург, 30 октября 2023 г. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2023. С. 371-374. EDN: AFVOUG
5. Квашин В.П., Кузьмин Д.Е., Тухбатулин И.Р. и др. Некоторые пути поддержания тракторов и автомобилей в работоспособном состоянии // Роль научно-исследовательской работы обучающихся в развитии АПК: Сборник материалов III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, г. Омск, 10 февраля 2022 г. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2022. С. 287-290. EDN: BRVLTX

Выводы

1. Разработанная программа для диагностики узлов и агрегатов тракторов на языке программирования Python позволяет диагностировать и своевременно выявлять неисправности основных узлов тракторов – таких, как двигатель, трансмиссия, гидравлическая система и электрическая система.
2. Тестирование показало, что программа определяет неисправности с высокой точностью и скоростью (в среднем – менее 5 мин). Скорость диагностирования программы ЭВМ Python на 5% выше и точнее, чем Case IH Service Advisor. В ходе испытаний пользователи отреагировали положительно, отметив, что программа предоставляет четкие и практические рекомендации по устранению выявленных неисправностей. Наладка интеграции с системами мониторинга и предиктивного обслуживания может повысить надежность эксплуатации тракторов на 30% и выше и уменьшить затраты на техническое обслуживание. Разработанная программа ЭВМ применима для отечественных и зарубежных тракторов.
3. Подтверждена гипотеза об эффективности отечественного ПО, разработанного с использованием языка программирования Python. Ее применение в агрономической практике станет важным инструментом в повышении эффективности работы техники и улучшении качества сервиса в сельском хозяйстве.

References

1. Certificate of state registration of software No. 2024683359 Russian Federation. “Maintenance and Repair of Vehicles”: No. 2024682911: applied on October 02, 2024: issued on October 14, 2024. D.A. Moskvichev, A.S. Guzalov, A.V. Evgrafov, D.A. Filimonov; applicant – Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. (In Russ.)
2. Moskvichev D.A., Khakimov R.T. Specific aspects of designing ai-based computer programs for control systems of agricultural tractors. *Agroekoinzhineriya*. 2024;4:29-37. (In Russ.)
3. Mityagin G.E., Moskvichev D.A., Pilshchikov V.L. Software development for organizing vehicle maintenance and repair at a motor transport enterprise. *International Technical Journal*. 2024;5:7-15. (In Russ.)
4. Akhtarov D.N., Shorokhov P.N. Modern systems of on-board diagnostics of tractors and cars. *Ustoychivoe nauchno-tekhnicheskoe razvitie agropromyshlennogo kompleksa RF*: Proceedings of the All-Russian student scientific and practical conference, Yekaterinburg, October 30, 2023. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University, 2023. Pp. 371-374. (In Russ.)
5. Kvashin V.P., Kuzmin D.E., Tukhbatulin I.R. et al. Some ways to keep tractors and cars in working condition. *Rol nauchno-issledovatel'skoy raboty obuchayushchikhsya v razvitiі APK*: Proceedings of the III All-Russian (National) scientific and practical conference, Omsk, February 10, 2022. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypina, 2022. Pp. 287-290. (In Russ.)
6. Kolesnikov N.P., Zolototrubov V.V., Vtorov V.S. Diagnostics of John Deere tractors using the service advisor software package

6. Колесников Н.П., Золототрубов В.В., Второв В.С. Диагностика тракторов John Deere с помощью программного комплекса Service Advisor на примере проверки относительной компрессии // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, г. Воронеж, 31 января 2025 г. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2025. С. 23-27. EDN: INDJYD

7. Союнов А.С., Демчук Е.В., Прокопов С.П. и др. Разработка прототипа прибора для экосистемы мониторинга и диагностики тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2025. № 1 (40). EDN: TNUFKI

8. Тарасенко В.Е., Ролич О.Ч., Якубович О.А., Козлов А.В. Алгоритмы обработки сигналов при комплексном диагностировании автотракторных двигателей многоканальной интегрированной системой // Труды НАМИ. 2021. № 1 (284). С. 6-15. <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2021-1-6-15>

9. Табаков П.А., Агафонов А.В., Табаков В.П. и др. Уровень ремонтпригодности трактора МТЗ // The Scientific Heritage. 2021. № 68-1 (68). С. 58-62. EDN: RHWWTW

10. Хабардин В.Н. Определение технико-экономических показателей технического обслуживания машин при их односезонном использовании // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 3 (95). С. 183-187. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-91-5-183-187>

11. Инсафуддинов С.З., Веледов М.И., Абдразаков Ф.Г. Метод и технология непрерывной предиктивной диагностики автотракторных и комбайновых двигателей // Агротехника и энергообеспечение. 2024. № 4 (45). С. 93-101. EDN: PTRSJB

12. Кузнецова Э.В., Успенский И.А., Юхин И.А. и др. Совершенствование диагностирования тракторов агропромышленного комплекса // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2025. Т. 17, № 1. С. 135-142. EDN: EMAAYO

13. Vinogradov O.V., Moskvichev D.A., Didmanidze O.N., Parlyuk E.P. Methods of analyzing the structure of the modular car park and the intensity of its operation. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2019;6(3):5289-5292. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2592821>

14. Kumar S., Pranav P.K., Pal A. Effect of hitch distance on haulage performance for 2WD tractors: A theoretical analysis. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2020;18(2): e0203. EDN: XSQAIR

15. Selivanov N.I., Kuznetsov A.V., Averjanov V.V. et al. Wheeled tractors adaptation to zonal tillage technologies. JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies, Krasnoyarsk, 04 марта 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 1515. Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 42066. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/4/042066>

using the relative compression test example. *Trends in the development of technical means and technologies in the agro-industrial complex*: Proceedings of the International scientific and practical conference, Voronezh, January 31, 2025. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2025. Pp. 23-27. (In Russ.)

7. Soyunov A.S., Demchuk E.V., Prokopov S.P. et al. Development of a prototype device for the ecosystem of monitoring and diagnostics of tractors and self-propelled agricultural machinery. *Elektronniy nauchno-metodicheskiy zhurnal Omskogo GAU*. 2025;1(40). (In Russ.)

8. Tarasenko V.E., Rolich O.Ch., Yakubovich O.A., Kozlov A.V. Signal processing algorithms for multichannel integrated engines complex diagnostics for automobiles and tractors. *Trudy NAMU*. 2021;(1):6-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2021-1-6-15>

9. Tabakov P.A., Agafonov A.V., Tabakov V.P. et al. Level of repairability of the MTZ tractor. *The Scientific Heritage*. 2021;68-1:58-62. (In Russ.)

10. Khabardin V.N. Determination of technical and economic indicators of maintenance of machines during their single-season use. *Izvestiya orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;3:183-187. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-91-5-183-187>

11. Insafuddinov S.Z., Veledov M.I., Abdrazakov F.G. Method and technology of continuous predictive diagnostics of automotive tractor and combine engines. *Agrotehnika i energoobespechenie*. 2024;4:93-101. (In Russ.)

12. Kuznetsova E.V., Uspensky I.A., Yukhin I.A., Gorokhov A.A. Improving the diagnostics of tractors of the agro-industrial complex. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2025;17(1):135-142. (In Russ.)

13. Vinogradov O.V., Moskvichev D.A., Didmanidze O.N., Parlyuk E.P. Methods of analyzing the structure of the modular car park and the intensity of its operation. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2019;6(3):5289-5292. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2592821>

14. Kumar S., Pranav P.K., Pal A. Effect of hitch distance on haulage performance for 2WD tractors: A theoretical analysis. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2020;18(2): e0203.

15. Selivanov N.I., Kuznetsov A.V., Averjanov V.V. et al. Wheeled tractors adaptation to zonal tillage technologies. JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 1515. Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 42066. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/4/042066>

Информация об авторах

Дмитрий Александрович Москвичев, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры тракторов и автомобилей, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; SPIN-код: 3787-0273, AuthorID: 964662; moskvichev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0002-7082-4876>

Author Information

Dmitry A. Moskvichev, Csc (Eng), Senior Lecturer, Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., moskvichev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0002-7082-4876>

Статья поступила 03.04.2025, после рецензирования и доработки 20.06.2025; принята к публикации 23.06.2025

Received 03.04.2025; Revised 20.06.2025; Accepted 23.06.2025

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 620.197

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-61-67>

Антикоррозийные свойства удобрения БОРАМ и его влияние на урожайность картофеля

А.С. Барчукова¹, С.М. Ветрова², О.М. Лапсарь³, А.М. Пикина⁴^{1, 2, 3, 4} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия⁴ Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ); г. Москва, Россия¹ barchukova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7202-291X>² s.vetrova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0004-8979-4368>³ o.lapsary@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0005-2883-8627>⁴ pikina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>

Аннотация. Металлические поверхности сельскохозяйственной техники подвергаются агрессивному воздействию внешней среды и агрохимикатов. Можно ожидать, что удобрение с антикоррозийными свойствами, помимо улучшения агрономических показателей и повышения урожайности, позволит также снизить коррозионное воздействие на технику. Цель исследований – оценить антикоррозийные свойства удобрения БОРАМ, содержащего азот, бор и медь, применяемого в технологии выращивания картофеля. Коррозионные лабораторные испытания проводили в течение 10 суток на стальных образцах марки Ст3 согласно ГОСТ Р 9.905-2007. Образцы обрабатывали водным раствором удобрения БОРАМ различной концентрации (1:1000, 1:500 и 1:125), в качестве контроля использовали дистиллированную воду. После испытаний рассчитывали скорость коррозии и определяли защитный эффект. В качестве состава для листовой обработки картофеля сортов Гулливер, Вымпел и Матушка применили удобрение в тех же концентрациях, что и в вариантах коррозионных испытаний. Препарат вносили трижды: по всходам, в фазу бутонизации и в конце цветения. Установили значительное снижение коррозионной активности на образцах, обработанных водным раствором удобрения в пропорции 1:500: скорость коррозии составила 0,0008 г/м² · ч, защитный эффект – 99,44%. Применение испытуемого препарата показало также увеличение валовой урожайности исследуемых сортов картофеля. Максимальная урожайность достигнута при концентрации водного раствора 1:125: для сорта Гулливер показатель составил 27,9...31,0 т/га, что на 1,5...4,6 т/га (5,3...17,0%) выше контрольных значений; для сорта Вымпел – 29,3...31,6 т/га, что также превышает контроль на 2,2...4,5 т/га (7,7...16,2%); для сорта Матушка – 22,1...24,0 т/га, что выше контроля на 1,4...3,3 т/га (6,3...15,4%). Гипотеза подтверждена: использование удобрения БОРАМ с антикоррозийными свойствами, помимо повышения урожайности картофеля, снижает коррозионное воздействие на технику.

Ключевые слова: коррозионное воздействие на технику; удобрение; антикоррозийные свойства удобрения; защитный эффект; скорость коррозии; урожайность картофеля

Для цитирования: Барчукова А.С., Ветрова С.М., Лапсарь О.М., Пикина А.М. Антикоррозийные свойства удобрения БОРАМ и его влияние на урожайность картофеля // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 4. С. 61-67. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-61-67>

ORIGINAL ARTICLE

Anticorrosive properties of the BORAM fertilizer and its effect on the potato yield**A.S. Barchukova¹, S.M. Vetrova², O.M. Lapsar³, A.M. Pikina⁴**^{1,2,3,4} Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia⁴ Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI); Moscow, Russia¹ barchukova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7202-291X>² s.vetrova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0004-8979-4368>³ o.lapsary@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0005-2883-8627>⁴ pikina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>

Abstract. Metal surfaces of agricultural machinery are exposed to aggressive environmental influences and agrochemicals. A fertilizer with anti-corrosion properties, in addition to improving agronomic indicators and increasing crop yields, is also expected to reduce the corrosive impact on machinery. The study aimed to evaluate the anti-corrosion properties of the BORAM fertilizer containing nitrogen, boron and copper, which is used in potato growing. Corrosion laboratory tests were carried out for ten days on steel samples of grade St3 according to GOST R9.905-2007. The samples were treated with an aqueous solution of the BORAM fertilizer of various concentrations (1:1000, 1:500 and 1:125); distilled water was used as a control. After the tests, the authors calculated the corrosion rate and confirmed the protective effect. As a composition for foliar treatment of the Gulliver, Vympel and Matushka potato varieties, the fertilizer was used in the same concentrations as in the corrosion test options. The product was applied three times: upon emergence, during the budding phase and at the end of flowering. A significant decrease in corrosion activity was found on the samples treated with an aqueous solution of fertilizer in a proportion of 1:500 – the corrosion rate was 0.0008 g/m² · h, the protective effect was 99.44%. The use of the test product also showed an increase in the gross yield of the studied potato varieties. The maximum yield was achieved at an aqueous solution concentration of 1:125: for the Gulliver variety, the indicator was 27.9 to 31.0 t/ha, which is 1.5 to 4.6 t/ha (5.3 to 17.0%) higher than the control values; for the Vympel variety – 29.3 to 31.6 t/ha, which also exceeds the control by 2.2 to 4.5 t/ha (7.7 to 16.2%); for the Matushka variety – 22.1 to 24.0 t/ha, which is 1.4 to 3.3 t/ha (6.3 to 15.4%) higher than the control. The study has confirmed the hypothesis: in addition to increasing potato yields, the use of the BORAM fertilizer with anti-corrosion properties reduces the corrosive effect on the machinery.

Keywords: corrosive effect on the machinery; fertilizer; anti-corrosion properties of fertilizers; protective effect; corrosion rate; potato yield

For citation: Barchukova A.S., Vetrova S.M., Lapsar O.M., Pikina A.M. Anticorrosive properties of the BORAM fertilizer and its effect on the potato yield *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):61-67 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-61-67>

Введение

Сельское хозяйство сталкивается с множеством проблем, среди которых особое значение имеет сохранение долговечности сельскохозяйственной техники. Подвергаясь влиянию солнечной радиации, перепадам температуры, воздействию химикатов и удобрений, металл корродирует [1].

Наиболее распространена атмосферная коррозия [2, 3], при которой металлические поверхности подвергаются воздействию электролитов и кислот. Влага на поверхности металла (атмосферные осадки или адсорбированные водяные пары) может содержать растворенные газы – например, углекислый газ. Реагируя с водой, он образует слабую угольную кислоту, которая ускоряет процесс коррозии. Кроме того, на поверхности металла могут присутствовать соли, выносимые ветром с полей,

обработанных минеральными удобрениями, а также кислоты, выделяемые при разложении органических веществ. Все это повышает электропроводность влажной пленки, делая ее сильным электролитом.

Исследования показывают, что стальные поверхности со следами минеральных удобрений быстрее подвергаются коррозионному разрушению, чем чистые [4]. При этом наиболее агрессивным удобрением является аммиачная селитра, а наименее агрессивным – карбамид [4, 5].

Снижение коррозионного воздействия на металлы и повышение сохранности техники являются важнейшими задачами в аграрном секторе, где агрегаты подвергаются агрессивному воздействию внешней среды и агрохимикатов. Разработка специальных сталей, обладающих повышенной коррозионной стойкостью, представляет собой эффективный способ

решения этой проблемы [6, 7]. Однако высокая стоимость таких материалов ограничивает их широкое применение, особенно для малых и средних хозяйств. В связи с этим можно предположить, что применение удобрений с антикоррозионными свойствами позволит достигнуть двойного эффекта: улучшить агрономические показатели и повысить урожайность, а также защитить металлические поверхности сельскохозяйственной техники от коррозии.

Препараты с антикоррозионными свойствами, помимо улучшения качества продукции, будут формировать на металлических поверхностях специальный защитный слой, снижающий скорость коррозионных процессов. Использование таких удобрений позволит агрономам и фермерам оптимизировать свои затраты и повысить эффективность работы.

Цель исследований: оценить антикоррозионные свойства удобрения, содержащего азот, бор и медь, применяемого в технологии выращивания картофеля.

Материалы и методы

Коррозионные испытания в среде удобрений выполняли в лабораторных условиях согласно ГОСТ Р 9.905-2007. В качестве коррозионной среды приготовили водные растворы препарата БОРАМ¹ различной концентрации [8] (табл. 1). В качестве растворителя и контрольного образца использовали дистиллированную воду. Использовали полученные растворы объемом 400 мл.

В качестве материала исследований выбрали используемые в сельскохозяйственном машиностроении образцы стали марки Ст3 размером

50 × 50 × 3 мм. Перед проведением испытаний образцы шлифовали на абразивных кругах различной зернистости до значений шероховатости Ra 0,8 мкм в соответствии с ГОСТ 2789, очищали, обезжиривали спиртом и ацетоном, а затем взвешивали на аналитических весах.

В ходе коррозионных испытаний проводили периодический осмотр образцов с целью фиксации первых очагов коррозии. Общая продолжительность испытаний составила 10 суток. Продукты коррозии после испытаний удаляли согласно ГОСТ 9.907-2007. Обработку поверхности испытуемых образцов после испытаний осуществляли по ГОСТ 9.908-85.

Скорость коррозии рассчитывали по потере массы образцов до и после коррозионного воздействия (г/м² · ч) удобрения согласно ГОСТ 9.908-85.

Защитный эффект определяли по формуле [9, 10]:

$$Z = \frac{p_0 - p}{p_0} \cdot 100\%,$$

где p_0 – скорость коррозии в отсутствие ингибитора коррозии, г/м² · ч; p – скорость коррозии в присутствии ингибиторов коррозии, г/м² · ч.

Исследования эффективности применения удобрения БОРАМ в технологии выращивания картофеля выполняли в 2022-2023 гг. на экспериментальной базе ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха». Закладка полевого опыта, учеты и наблюдения проводили в соответствии со стандартными методиками^{2,3,4}. Почва опытного участка характеризовалась как дерново-подзолистая супесчаная, площадь учетной делянки в среднем составляла в 2022 г. 12,5 м²,

Концентрация удобрения БОРАМ в составе

Таблица 1

Concentration of the BORAM fertilizer in the composition

Table 1

Вариант состава <i>Composition variant</i>	Концентрация водного раствора БОРАМ, масс. частей <i>Concentration of the BORAM aqueous solution, weight parts</i>
1	0
2	1/1000
3	1/500
4	1/125

¹ Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) № 968617. БОРАМ. Заявка № 2023708214. Зарегистрировано 18.09.2023 г. URL.: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUTM&DocNumber=968617&TypeFile=html (дата обращения: 20.01.2025).

² Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М., Агропромиздат, 1985. 351 с.

³ Методика исследований по культуре картофеля. М., НИИКХ, 1967. 263 с.

⁴ Жевора С.В., Федотова Л.С., Старовойтов В.И. и др. Методика проведения агротехнических опытов, учетов, наблюдений и анализов на картофеле. М.: ФГБНУ ВНИИХ, 2019. 120 с.

в 2023 г. – 25 м², размещение делянок – систематическое. Густота посадки – 44 тыс. шт/га при ширине междурядий 75 см [11].

В качестве состава для листовой обработки выбрали удобрение БОРАМ в тех же концентрациях, что и в вариантах коррозионных испытаний. Препарат вносили три раза: по всходам, в фазу бутонизации и в конце цветения.

Результаты и их обсуждение

При коррозионных испытаниях стальных пластин анализировали защитную эффективность водного

раствора удобрения с целью оценки его способности предотвращать коррозионные процессы. Результаты показали значительное снижение коррозионной активности на образцах, обработанных водным раствором удобрения максимальной концентрации (1/125) (рис. 1, 2). Это связано с образованием защитной пленки на поверхности стали, которая уменьшала скорость электрохимических реакций, вызывающих коррозию.

Результаты потери массы образцов стали Ст3 после коррозионных испытаний в течение 10 суток представлены в таблице 2.



Рис. 1. Опытный образец после коррозионного испытания (без удаления продуктов коррозии)

Fig. 1. Experimental sample after corrosion testing (without removing corrosion products)

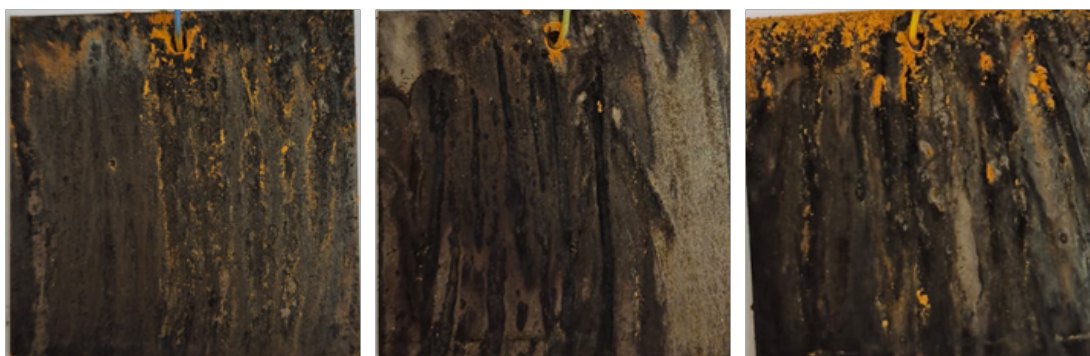


Рис. 2. Контрольный образец после коррозионного испытания (без удаления продуктов коррозии)

Fig. 2. Control sample after corrosion testing (without removing corrosion products)

Скорость коррозии образцов стали Ст3

Таблица 2

Corrosion rate of St3 steel samples

Table 2

Вариант состава <i>Composition variant</i>	Концентрация водного раствора удобрения, масс. частей <i>Concentration of the fertilizer aqueous solution, weight parts</i>	Скорость коррозии, г/м ² ·ч <i>Corrosion rate, g/m²·h</i>	Защитный эффект, Z, % <i>Protective effect, Z, %</i>
1	0	0,1439	0
2	1/1000	0,0344	76,09
3	1/500	0,0224	84,43
4	1/125	0,0008	99,44

По результатам коррозионных испытаний наблюдали корреляцию между концентрацией удобрения в растворе и степенью защиты. Оптимальная концентрация удобрения составила 1/125. Высокие концентрации обеспечили более выраженный защитный эффект – до 99%. Однако переход за пределы оптимальной дозы не приводил к дальнейшему улучшению.

Результаты исследования эффективности применения удобрения БОРАМ в технологии выращивания картофеля представлены в таблице 3.

Максимальная концентрация удобрения (4-й вариант состава) не обеспечила наивысшую урожайность картофеля. В засушливых условиях 2022 г. и в благоприятных условиях 2023 г. по всем трем

сортам наилучшим оказался вариант с листовой обработкой водным раствором удобрения в пропорции 1:500.

В среднем за два периода вегетации после листовой обработки удобрением в дозах 1/1000 и 1/1500 прибавка к урожайности картофеля на сорте Гулливер составила +9,4...17,0%, на сорте Вымпел – +9,7...16,2%; на сорте Матушка – +7,9...15,4%. Полученные данные согласуются с результатами, представленными в работе [12].

Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что использование удобрения с антикоррозийными свойствами, помимо повышения урожайности культур, может привести к продлению срока службы сельскохозяйственной техники.

Валовая урожайность картофеля, т/га

Таблица 3

Gross potato yield, t/ha

Table 3

Сорт <i>Variety</i>	Вариант состава <i>Composition variant</i>	2022 г.	2023 г.	Среднее <i>Average</i>	± к контролю ± to control	
					т/га / t/ha	%
Гулливер <i>Gulliver</i>	1	20,6	32,3	26,5	0	0
	2	20,9	34,9	27,9	1,5	5,3
	3	25,8	36,2	31,0	4,6	17,0
	4	23,7	34,3	29,0	2,6	9,4
	Среднее по сорту <i>Average for the variety</i>	22,8	34,4	28,6	–	–
	НСР ₀₅ по сорту, т/га	2,13	1,41	–	–	–
Вымпел <i>Vympel</i>	1	19,8	34,5	27,2	0	0
	2	22,2	36,4	29,3	2,2	7,7
	3	24,9	38,3	31,6	4,5	16,2
	4	21,7	38,0	29,9	2,7	9,7
	Среднее по сорту <i>Average for the variety</i>	22,2	36,8	29,5	–	–
	НСР ₀₅ по сорту, т/га	1,82	1,51	–	–	–
Матушка <i>Matushka</i>	1	15,9	25,6	20,8	0	0
	2	17,5	26,7	22,1	1,4	6,3
	3	20,0	28,0	24,0	3,3	15,4
	4	16,0	28,9	22,5	1,7	7,9
	Среднее по сорту <i>Average for the variety</i>	17,4	27,3	22,3	–	–
	НСР ₀₅ по сорту, т/га	1,66	1,25	–	–	–

Выводы

1. Водный раствор удобрения БОРАМ концентрацией 1/125 способен эффективно защищать стальные поверхности от коррозионных воздействий на 99%.

2. В среднем за два года листовая обработка сортов Гулливер, Вымпел, Матушка удобрением БОРАМ привела к повышению урожайности по сравнению

с контролем. Более эффективным оказался состав с концентрацией удобрения 1/500: прирост урожайности на сорте Гулливер составил 17%, на сорте Вымпел – 16,2%, на сорте Матушка – 15,4%.

3. Использование универсального удобрения БОРАМ с антикоррозийными свойствами одновременно повышает продуктивность культур и снижает коррозионное воздействие на технику.

Список источников

1. Ушанев А.И., Кравченко А.М., Борисов Г.А. и др. Современные технологии и материалы для защиты металлических и неметаллических поверхностей сельскохозяйственной техники // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2019. № 3 (43). С. 142-147. EDN: JMWPMI
2. Соколова Ю.А. Причины атмосферной коррозии металлоконструкций и методы защиты // Инновации и инвестиции. 2017. № 8. С. 157-160. EDN: JTSGNU
3. Вигдорович В.И., Шель Н.В., Крылова А.Г. Особенности атмосферной коррозии металлов // Вестник Тамбовского университета. Серия «Естественные и технические науки». 2001. Т. 6, № 3. С. 279-289. EDN: NUCJIR
4. Князева Л.Г., Губашева А.М., Жиркова А.А. Борьба с коррозией сельскохозяйственной техники // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 3 (13). С. 239-243. EDN: UBOBVH
5. Барчукова А.С., Ветрова С.М., Илюшкова Е.М. Исследование скорости коррозии стали Ст3 в среде минеральных удобрений // АгроЭкоИнфо. 2024. № 6 (66). EDN: INBHSS
6. Гайдар С.М., Ветрова С.М., Барчукова А.С. Влияние легирующих элементов и термической обработки на механические свойства низколегированных сталей // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2023. № 9. С. 11-15. EDN: OTJNAW
7. Тоньшева О.А., Вознесенская Н.М. Перспективные высокопрочные коррозионностойкие стали, легированные азотом (сравнительный анализ) // Авиационные материалы и технологии. 2014. № 3 (32). С. 27-32. EDN: SKSAYJ
8. Состав для стимулирования роста сельскохозяйственных культур: Патент № 2786743 C1 Российская Федерация, МПК A01N59/20, A01N55/08, A01N33/08 / С.М. Гайдар, В.Е. Коноплев, А.Г. Левшин, И.Н. Гаспарян, Т.И. Балькова, А.М. Пикина, О.М. Лапсарь, А.С. Барчукова; заявл. 06.05.2022; опубл. 26.12.2022; Бюл № 36. EDN: ILJKML
9. Гайдар С.М., Низамов Р.К., Голубев М.И., Голубев И.Г. Защитная эффективность водорастворимых ингибиторов коррозии // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 3. С. 429-444. <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.429-444>
10. Гайдар С.М., Пикина А.М., Барчукова А.С., Лапсарь О.М. и др. Исследование эффективности амидов жирных кислот в качестве ингибиторов атмосферной коррозии / С.М. Гайдар, А.М. Пикина, А.С. Барчукова, О.М. Лапсарь, С.М. Ветрова // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 5. С. 10-15. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-10-15>
11. Манохина А.А., Гайдар С.М., Барчукова А.С. Применение азотсодержащего удобрения в технологии выращивания картофеля // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 1 (114). С. 76-92. EDN: LYLJKL

References

1. Ushanev A.I., Kravchenko A.M., Borisov G.A., Murog I.A., Latyshonok M.B. Modern technologies and materials for protection of metallic and non-metallic surfaces, agricultural machinery. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2019;3(43):142-147. (In Russ.)
2. Sokolova Yu.A. Reasons of atmospheric corrosion of a metalwork and methods of protection. *Innovation & Investment*. 2017;8:157-160. (In Russ.)
3. Vigdorovich V.I., Shell N.V., Krylova A.G. Peculiarities of metals atmospheric corrosion. *Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. 2001;6:3:279-289. (In Russ.)
4. Knyazeva L.G., Gubasheva A.M., Zhirkova A.A. Corrosion control of agricultural machinery. *Innovatsii v Selskom Khozyaystve*. 2015;3(13):239-243. (In Russ.)
5. Barchukova A.S., Vetrova S.M., Ilyushkova E.M. Study of steel corrosion st3 rate in mineral fertilizer environment. *AgroEcoInfo*. 2024;6(66). (In Russ.)
6. Gaydar S.M., Vetrova S.M., Barchukova A.S. Influence of alloying elements and heat treatment on mechanical properties of low-alloyed steels. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2023;9:11-15. (In Russ.)
7. Tonyshcheva O.A., Voznesenskaya N.M. Perspective high-strength corrosion-resistant steels alloyed with nitrogen (comparative analysis). *Aviacionnye Materialy and Tehnologii*. 2014;3(32):27-32. (In Russ.)
8. Gajdar S.M., Konoplev V.E., Levshin A.G., Gasparyan I.N., Balkova T.I., Pikina A.M., Lapsar O.M., Barchukova A.S. Composition for stimulating the growth of crops: Patent No. 2786743 C1 Russian Federation, IPC A01N59/20, A01N55/08, A01N33/08, 2022. (In Russ.)
9. Gaidar S.M., Nizamov R.K., Golubev M.I., Golubev I.G. Protective efficiency of water-soluble corrosion inhibitors. *Vestnik Mordovskogo universiteta = Mordovia University Bulletin*. 2018;28;3:429-444. (In Russ.) <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.429-444>
10. Gaidar S.M., Pikina A.M., Barchukova A.S., Lapsar O.M., Vetrova S.M. Study of the effectiveness of fatty acid amides used as inhibitors of atmospheric corrosion. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26;5:10-15. (In Russ.)
11. Manokhina A.A., Gaidar S.M., Barchukova A.S. Application of nitrogen-containing fertilizers in the potato growing technology. *Agroekoinzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2023;1(114):76-92. (In Russ.)
12. Starovoitova O.A., Starovoitov V.I., Manokhina A.A., Shabanov N.T., Gribanov A.S., Boyarsky D.S. The influence of forms of essential trace elements (Fe, Cu and Zn) on potato quality and yield. *Agroekoinzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2025;1(122):60-77. (In Russ.)

12. Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А., Шабанов Н.Э. и др. Влияние форм эссенциальных микроэлементов (Fe, Cu и Zn) на урожайность и качество картофеля / О.А. Старовойтова, В.И. Старовойтов, А.А. Манохина, Н.Э. Шабанов, А.С. Грибанов, Д.С. Боярский // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 1 (122). С. 60-77 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-1122-60-76>

Информация об авторах

- ¹ **Барчукова Алина Сергеевна**, ассистент;
<https://orcid.org/0000-0001-7202-291X>;
barchukova@rgau-msha.ru; SPIN-код: 2129-7541,
AuthorID: 1176021
- ² **Ветрова Софья Михайловна**, канд. техн. наук, ассистент;
<https://orcid.org/0009-0004-8979-4368>;
s.vetrova@rgau-msha.ru; SPIN-код: 2176-3945,
AuthorID: 1176020
- ³ **Лапсарь Оксана Михайловна**, канд. техн. наук, ассистент;
<https://orcid.org/0009-0005-2883-8627>;
o.lapsary@rgau-msha.ru; SPIN-код: 5227-6860,
AuthorID: 1214947
- ⁴ **Пикина Анна Михайловна**, канд. техн. наук, доцент;
<https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>;
pikina@rgau-msha.ru[✉]; SPIN-код: 3187-8973,
AuthorID: 1093671
- ^{1,2,3} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49
- ⁴ Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ); 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, 64

Вклад авторов

А.С. Барчукова – создание черновика рукописи; проведение исследования;
С.М. Ветрова – концептуализация, формальный анализ;
О.М. Лапсарь – формальный анализ; создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;
А.М. Пикина – визуализация.
Статья поступила 30.01.2025, после рецензирования и доработки 23.06.2025; принята к публикации 25.06.2025

Author Information

- Alina S. Barchukova**¹, Assistant Professor;
<https://orcid.org/0000-0001-7202-291X>;
barchukova@rgau-msha.ru
- Sofia M. Vetrova**², CSc (Eng), Assistant Professor;
<https://orcid.org/0009-0004-8979-4368>;
s.vetrova@rgau-msha.ru
- Oksana M. Lapsar**³, CSc (Eng), Assistant Professor;
<https://orcid.org/0009-0005-2883-8627>;
o.lapsary@rgau-msha.ru
- Anna M. Pikina**⁴, CSc (Eng), Associate Professor;
<https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>;
pikina@rgau-msha.ru[✉]
- ^{1,2,3} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russia, Moscow, Timiryazevskaya St., 49
- ⁴ Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI); 125319, Russia, Moscow, Leningradskiy Ave., 64

Author Contribution

A.S. Barchukova – writing – original draft, investigation;
S.M. Vetrova – conceptualization, formal analysis;
O.M. Lapsar – formal analysis, writing – review and editing of the manuscript;
A.M. Pikina – visualization.
Received 30.01.2025; Revised 23.06.2025; Accepted 25.06.2025

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.315

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-68-77>



Практическое исследование системы электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог

С.В. Кириллов¹, А.В. Виноградов^{2,3}

¹ Мичуринский ГАУ; г. Мичуринск, Россия

² Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия

³ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

¹ kirill_mich@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-5412-5441>

^{2,3} winaleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

Аннотация. Электроснабжение нетяговых потребителей электрических железных дорог, в том числе сельскохозяйственных предприятий, прекращается при отключении питающих их трансформаторных подстанций 25/0,4 кВ в период плановых и непредвиденных работ на инфраструктуре железной дороги. Это связано с отключением третьей фазы «С», передача которой осуществляется в нормальном режиме по рельсам в системах электроснабжения «Два дополнительных провода – рельс». При этом два других провода (фазы) системы могут находиться под напряжением. Нетяговые потребители (сельскохозяйственные предприятия) по причине перерывов в электроснабжении ухудшают свои экономические показатели. Цель исследований – повысить надежность электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог. Мы предлагаем при плановых работах на инфраструктуре РЖД подключать фазу «С» через рабочее заземление без использования рельса. Эксперимент провели на действующей подстанции, питаемой от системы «Два дополнительных провода – рельс» электрической железной дороги переменного тока номинальным напряжением 25 кВ, при использовании земли в качестве проводника фазы «С» на стороне высокого напряжения подстанции. В ходе эксперимента контролировали качество электрической энергии на соответствие ее показателям ГОСТ 32144-2013. Результаты практических исследований работы комплектной трансформаторной подстанции показали работоспособность схемы питания потребителей по системе «Два дополнительных провода – рельс» в вынужденном режиме. Данная схема позволяет в период «окон» по обслуживанию инфраструктуры железной дороги осуществлять электроснабжение сельскохозяйственных потребителей, избегая необоснованных отключений. В дальнейших исследованиях необходимо провести дополнительные полевые эксперименты и детально изучить все параметры и зависимости работы системы электроснабжения «Два дополнительных провода – рельс».

Ключевые слова: нетяговые потребители; система тягового электроснабжения; электроснабжение сельскохозяйственных потребителей; надежность электроснабжения; качество электрической энергии; система электроснабжения; «Два дополнительных провода – рельс»; рельс

Для цитирования: Кириллов С.В., Виноградов А.В. Практическое исследование системы электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 4. С. 68-77. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-68-77>

ORIGINAL ARTICLE

Practical study of the power supply system of rural consumers fed from railway-owned electricity networks

S.V. Kirillov¹, A.V. Vinogradov^{2,3}✉

¹ Michurinsk State Agrarian University; Michurinsk, Russia

² Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia

³ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

¹ kirill_mich@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-5412-5441>

^{2,3} winaleksandr@gmail.com✉; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

Abstract. Power supply of non-traction consumers of electrified railways, including agricultural enterprises, is terminated when the 25/0.4 kV transformer substations feeding them are disconnected during scheduled and unforeseen railway infrastructure works. This is due to the disconnection of the third phase “C”, the transmission of which is carried out in normal mode along the rails in the “two additional wires – rail” power supply systems. At the same time, the other two wires (phases) of the system may be energized. Non-traction consumers (agricultural enterprises) deteriorate their economic indicators due to interruptions in power supply. The purpose of the study was to increase the reliability of power supply to agricultural consumers fed from the electricity networks of railways. The authors propose connecting phase “C” through working grounding without using a rail during scheduled infrastructure works of Russian Railways. The experiment was conducted at an operating substation fed from the “two additional wires – rail” system of an alternating current railway with a rated voltage of 25 kV, using the ground as a conductor of phase “C” on the high-voltage side of the substation. During the experiment, the quality of electric energy was monitored to ensure the compliance with the indicators of GOST 32144-2013. The results of practical studies for a complete transformer substation showed the operability of the power supply circuit for consumers using the “two additional wires – a rail” system in a forced mode. This circuit provides agricultural consumers with electricity during “gaps” (track possessions) for servicing the railway infrastructure, avoiding occasional shutdowns. In further studies, it is necessary to conduct additional field experiments and study in detail all the parameters and dependencies of the “two additional wires – a rail” power supply system.

Keywords: non-traction consumers; traction power supply system; power supply to agricultural consumers; reliability of power supply; quality of electric energy; “two additional wires – a rail” power supply system; rail

For citation: Kirillov S.V., Vinogradov A.V. Practical study of the power supply system of rural consumers fed from railway-owned electricity networks. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):68-77 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-68-77>

Введение

Открытое акционерное общество Российские железные дороги (ОАО «РЖД»), являясь основным железнодорожным перевозчиком в Российской Федерации и балансодержателем железнодорожной инфраструктуры общего пользования, одновременно является и одной из наиболее значительных электросетевых компаний в стране, которая имеет на своем балансе генерирующие мощности, трансформаторные подстанции, питающие и распределительные центры, большую протяженность питающих и распределительных сетей разного уровня напряжений. От электрических сетей ОАО «РЖД» получают питание более 430 тыс. сторонних потребителей (сельскохозяйственных, промышленных и др.) [1, 2].

Электроснабжение нетяговых потребителей, в том числе сельскохозяйственных, питаемых от инфраструктуры ОАО «РЖД», имеет свои особенности по обеспечению надежности электроснабжения

и качеству электрической энергии, которую потребители получают от поставщика.

Проблему взаимного влияния источников электропитания и различных потребителей, особенности схем питания сторонних потребителей от системы тягового железнодорожного электроснабжения поднимали специалисты и ученые [3-7]. Во всех исследованиях признается специфика работы данной системы электроснабжения, приводятся расчеты влияния токов в тяговой сети на сторонних потребителей и линии связи, поднимаются вопросы электромагнитной совместимости и обеспечения надежности электроснабжения.

Вопросами надежности и качества электроснабжения сельскохозяйственных потребителей занимались Н.Ф. Молоснов, Л.Е. Эбин и другие на базе Всероссийского института электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ). В своих работах они рассматривали варианты электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, расположенных в первую

очередь на межподстанционной зоне и на перегонах железных дорог, с различными вариантами питания сельскохозяйственных потребителей по системам «Контактный провод – рельсы – дополнительная фаза», «Один дополнительный провод – рельс» и «Два дополнительных провода – рельс».

До настоящего времени проблемы обеспечения надежности и качества электроснабжения не решены в полной мере, и ОАО «РЖД» уделяет особое внимание данным вопросам [6-8]. Это отражается в организационных и технических мероприятиях, основанных на анализе обращений потребителей и фактической работы устройств и систем электроснабжения, в том числе сельскохозяйственных потребителей.

В работах [3, 4, 7] и др. рассматриваются различные предложения организационного и технического характера для решения проблем надежности и качества электроснабжения. Предлагаемые решения основаны на современных научных исследованиях с использованием современной технической базы, имеют определенный научный и технический интерес и могут в определенной степени обеспечить решение указанных проблем. Решения предлагаются и зарубежными учеными: например, рассматривается разработка отказоустойчивых систем тягового электроснабжения [9]. Исследуются возможности применения возобновляемых источников энергии для повышения надежности электроснабжения и качества электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог [10] и проводится моделирование таких систем [11]. Предлагаются

варианты применения принципов интеллектуальных сетей [12], решений по компенсации реактивной мощности [13]. Рассматриваются варианты секционирования и резервирования электрических сетей, в том числе при резервировании питания сельских потребителей, система электроснабжения которых может быть запитана от сетей железных дорог [7, 14]. Однако необходима оценка существующих технических возможностей повышения надежности электроснабжения потребителей с использованием действующих средств и технологий, применяемых в ОАО «РЖД». Очевидно, что указанные проблемы представляют научный и практический интерес.

Линии электропередачи, расположенные вдоль железнодорожных линий и подключенные к центрам питания электрических железных дорог – тяговым подстанциям, относятся к железнодорожной инфраструктуре. Линии электропередачи системы «Два дополнительных провода – рельс» (ДПР) расположены практически на всей протяженности электрической железной дороги переменного тока по системе 25 кВ, служат для резервного и основного электроснабжения железнодорожных потребителей и в качестве основного источника питания населения и производителей, как правило, вне городских территорий.

На рисунке 1 приведен участок железной дороги, электрифицированной по системе 25 кВ переменного тока, с линией ВЛ ДПР, расположенной на опоре контактной сети с указанием отдельных элементов (токопроводов и электроприемников трехфазной системы

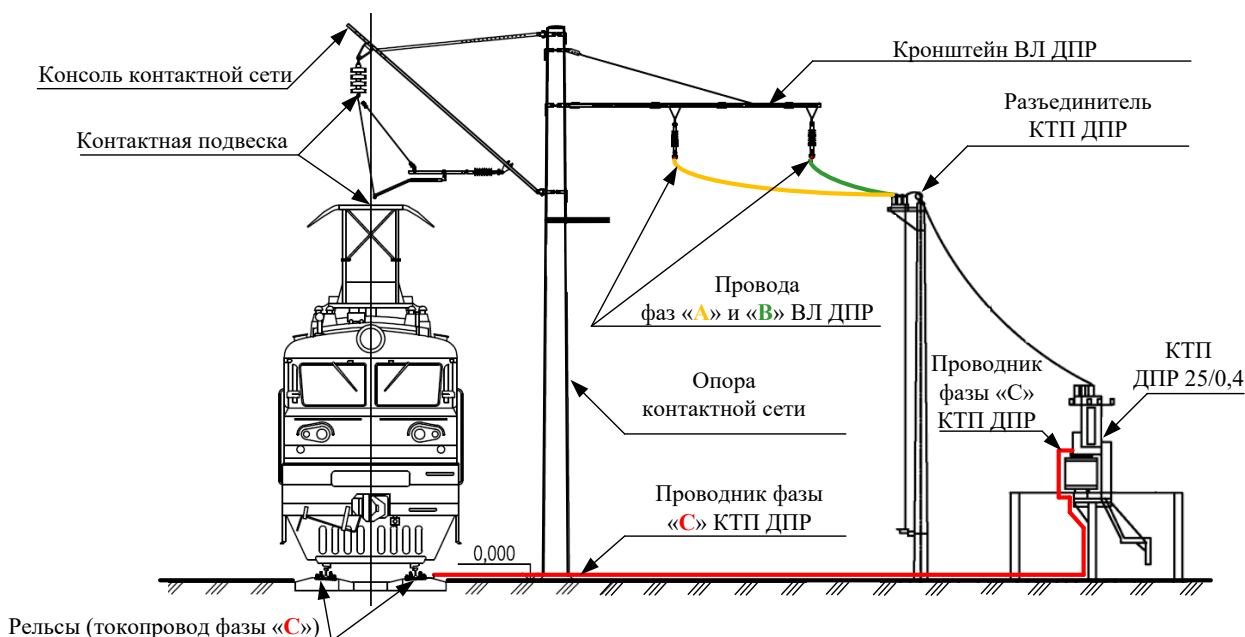


Рис. 1. Участок электрической железной дороги, электрифицированной по системе 25 кВ переменного тока с КТП ДПР 25/0,4 кВ

Fig. 1. Section of electric railway electrified by 25 kV AC system with a packaged (complete) transformer substation with two wires and a rail (KTP DPR) 25/0.4 kV

питания). На рисунке показаны все виды связей между тяговой сетью и сторонними электроприемниками – нетяговыми потребителями.

Ввиду того, что линия ДПР расположена на несущих конструкциях контактной сети и имеет общую фазу с тяговой сетью, приходится производить ее отключение при проведении монтажа, демонтажа, регламентных (плановых) и неплановых работ при обслуживании инфраструктуры железной дороги: железнодорожного пути, контактной сети, опорных и поддерживающих конструкций контактной сети, прожекторных мачт и других высотных конструкций, мостов, путепроводов, переездов, при строительстве и ремонтных работах на объектах, расположенных в зоне влияния линий электропередач, и др. [15].

Все работы на ОАО «РЖД», связанные с обеспечением движения поездов, проводятся в «окна» в соответствии с требованиями инструкции¹. «Окно» – время, в течение которого прекращается движение поездов по перегону, отдельным путям перегона или путям железнодорожной станции для производства работ на инфраструктуре.

При обслуживании инфраструктуры продолжительность «окна» составляет от 2 до 4 ч. Длительное закрытие (закрытый перегон) необходимо при капитальном ремонте пути и контактной сети или других объектов, когда производится закрытие пути и снятие напряжения с контактной сети и в линии ДПР на несколько суток (как правило, от 1 до 7); в среднем продолжительность одного закрытия составляет трое суток. Как правило, в данные «окна» производится отсоединение устройств линии ДПР с отключением КТП 25/0,4, питающих сельскохозяйственных и других потребителей. Очевидно, что на период проведения «окна» отсутствует возможность подачи напряжения потребителям, подключенным к КТП ДПР, так как отсутствует проводник фазы «С» – участок рельсовой тяговой сети.

Согласно приказу Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. № 204 «Об утверждении глав Правил устройств электроустановок» для объектов третьей категории есть четкие параметры допустимых сроков отключения: например, для потребителей 3 категории надежности – не более 24 ч в сутки и не более 72 ч в год. Для 1 и 2 категорий надежности эти сроки индивидуальны, но не могут превышать сроки отключения объектов третьей группы. Очевидно, что при технических и технологических особенностях работы

¹ Инструкция о порядке планирования, предоставления, использования и учета «окон» для работ на инфраструктуре ОАО «РЖД»: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28 декабря 2023 г. № 3403.

системы ДПР переменного тока напряжением 25 кВ, в случае необходимости отключения линии ДПР для производства работ на инфраструктуре железной дороги, возникает риск невыполнения указанных выше требований.

Можно предположить, что использование земли в качестве основного проводника фазы «С» подстанции, подключенной к системе «Два дополнительных провода – рельс» электрической железной дороги, позволит питать потребителей без перерывов в электроснабжении.

Цель исследований: повышение надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог.

Материалы и методы

Обзор источников литературы, нормативных документов и анализ практики эксплуатации систем электроснабжения потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог, показали необходимость поиска решений для электроснабжения потребителей во время технологических «окон». В качестве одного из таких решений Н.Ф. Молосновым, Л.Е. Эбиным предложено использовать землю в качестве фазного провода системы ДПР, в том числе для ТП мощностью выше 25 кВА.

В работе использовали метод проведения эксперимента на действующей подстанции, питаемой от системы «Два дополнительных провода – рельс» электрической железной дороги переменного тока номинальным напряжением 25 кВ, при использовании земли в качестве проводника фазы «С» на стороне высокого напряжения подстанции. В ходе эксперимента проводили контроль качества электрической энергии на соответствие ее показателям ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Провели проверку работоспособности комплектной трансформаторной подстанции, подключенной к системе «Два провода – рельс» электрифицированной железной дороги переменного тока 25 кВ мощностью более 25 кВА в вынужденном режиме с использованием земли в качестве проводника фазы «С». В ходе исследований использовали вольтамперфазометр цифровой РЕТО-МЕТР-М2 (зав. № 9878. Дата поверки – 09.10.2024 г. Зарегистрирован в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений, рег. № 84175-21) и анализатор качества электроэнергии АКЭ-824 (рег. № 36526-07; заводской № 20062498. Дата поверки – 08.04.2024 г. Зарегистрирован

в государственном реестре средств измерений РФ, рег. № 36526-07).

Измерение электрических характеристик контура заземления подстанции производили измерителем сопротивления заземления ИС-10 [16].

Результаты и их обсуждение

В соответствии с требованиями «Инструкции по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах» от 10 июня 1993 г. ЦЭ-191 «...заземление комплектных трансформаторных подстанций (КТП) питания нетяговых потребителей по системе ДПР (два провода – рельс) осуществляют на тяговую рельсовую сеть с соблюдением требований, исключающих влияние на работу рельсовых цепей автоблокировки. При этом заземление выполняет функции как рабочего, так и защитного заземления. Для КТП мощностью до 25 кВА включительно, кроме заземления на рельсовую сеть, допускается рабочее и защитное заземление осуществлять на самостоятельный контур с сопротивлением заземления не более 5 Ом, выполняемый как выравнивающий с дополнением вертикальных электродов, количество которых определяется расчетом» [п. 3.10. ЦЭ-191].

На основании данного требования и типовыми проектными решениями комплектные трансформаторные подстанции питания нетяговых потребителей по системе ДПР электрифицированных железных дорог переменного тока системы 25 кВ мощностью выше 25 кВА должны иметь обязательное электрическое присоединение к тяговой рельсовой сети как напрямую, так и через дроссель-трансформатор, который применяется для снижения влияния рабочего

тока фазы «С» КТП на работу рельсовых цепей автоблокировки.

В таблице 1 приведены электрические характеристики силовых трансформаторов, применяемых в комплектных трансформаторных подстанциях, в системе электроснабжения по системе «Два провода – рельс» электрических железных дорог.

На рисунке 2 приведена схема подключения трехфазных КТП ДПР питания нетяговых потребителей электрифицированной железной дороги. Особенности данной системы электроснабжения:

– от общих шин номинальным напряжением 25 кВ получают питание электроподвижной состав (ЭПС), который является нестационарной (движущейся) нагрузкой, и нетяговые потребители, подключенные к линии ВЛ системы «Два дополнительных провода – рельс»;

– данная система электроснабжения по своему техническому исполнению является трехфазной, но не является симметричной, так как имеется общая мощная однофазная нестационарная нагрузка – ЭПС, и фазные токопроводы, которые выполнены проводниками с различными электрическими свойствами и различными расстояниями между собой: фазы «А» и «В» – воздушные линии, фаза «С» – рельсы.

На рисунке 3 приведена схема подключения КТП ДПР мощностью свыше 25 кВА с использованием тяговой рельсовой сети в качестве проводника фазы «С». Данная схема является типовой и обязательной в соответствии с требованиями «Инструкции по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах» от 10 июня 1993 г. ЦЭ-191 и типовыми проектными решениями, применяемыми на электрифицированных железных дорогах Российской Федерации.

Электрические характеристики силовых трансформаторов, применяемых в КТП ДПР электрических железных дорог

Table 1

Electrical characteristics of power transformers used in a packaged (complete) transformer substation with two wires and a rail (KTP DPR) of electrified railways

Мощность трансформатора КТП ДПР, кВА <i>Power of a KTP DPR transformer substation, kVA</i>	Исполнение КТП (однофазное/трехфазное) <i>KTP version (single-phase / three-phase)</i>	Группа соединений обмоток трансформатора <i>Group of connections of transformer windings</i>	Номинальный ток на стороне высокого напряжения КТП (фазный), А <i>Rated current on the high-voltage side of KTP (phase), A</i>
1,25	однофазное	1/1-0	0,045
2,5	однофазное	1/1-0	0,091
4,0	однофазное	1/1-0	0,145
10	однофазное	1/1-0	0,364
25	трехфазное	Y/Y _H -0	0,525
100	трехфазное	Y/Y _H -0	2,102
250	трехфазное	Y/Y _H -0	5,255
400	трехфазное	Y/Y _H -0	8,417

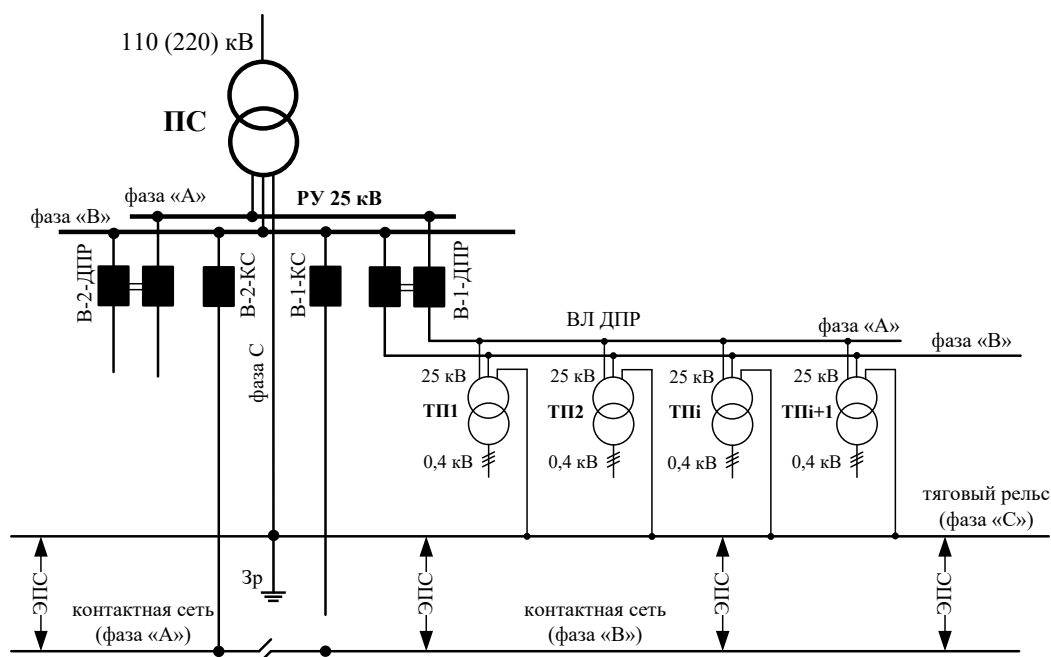
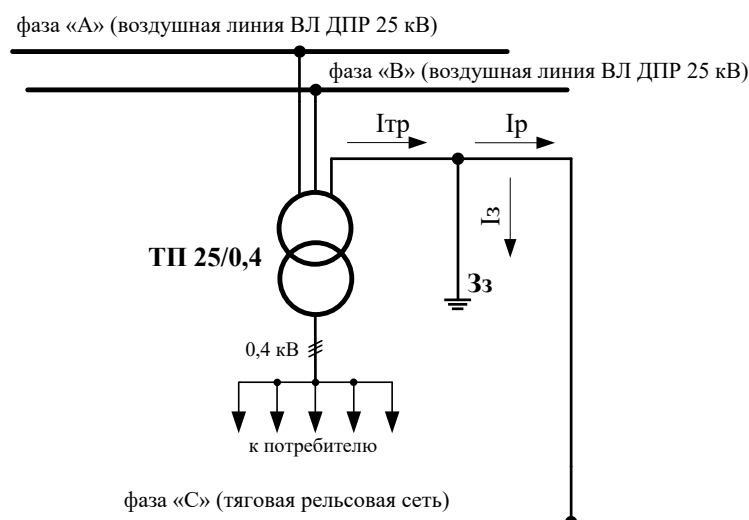


Рис. 2. Схема подключения трехфазных КТП ДПР питания нетяговых потребителей электрифицированной железной дороги:

ПС – тяговая (трансформаторная) подстанции 110 (220)/25 кВ; Зр – рабочее сопротивление тяговой подстанции;
В-1-КС, В-2-КС – высоковольтные выключатели фидеров контактной сети;
В-1-ДПР, В-2-ДПР – высоковольтные выключатели фидеров ДПР;
ТП-1, ТПi – трансформаторные подстанции, питаемые по системе ДПР;
ЭПС – электроподвижной состав (нестационарная нагрузка)

Fig. 2. Connection diagram of three-phase KTP DPR substations for power supply of non-traction consumers of electrified railways:

PS – traction (transformer) substation 110 (220) / 25 kV; 3p – working resistance of traction substation; B-1-KC, B-2-KC – high-voltage circuit breakers of contact network feeders; B-1-DPR, B-2-DPR – high-voltage circuit breakers of DPR feeders; TP-1, TPi – transformer substations fed by the “two wires and a rail” (DPR) system; ЭПС – electric rolling stock (non-stationary load)



**Рис. 3. Схема подключения КТП ДПР мощностью свыше 25 кВА
использованием тяговой рельсовой сети в качестве проводника фазы «С»:**

Иг – ток нагрузки КТП (трансформатора); Ир – ток в цепи присоединения КТП к рельсовой тяговой сети; Из – ток в проводнике присоединения КТП к контуру заземления; Зз – защитное заземление

Fig. 3. Connection diagram of a packaged (complete) transformer substation with two wires and a rail (KTP DPR) with a capacity of over 25 kVA using the traction rail network as a conductor of “C” phase:

I_3 – current in the KTP connection conductor to the grounding circuit; 3_3 – protective grounding

На рисунке 4 приведена предлагаемая к реализации схема подключения КТП ДПР мощностью свыше 25 кВА с использованием рабочего заземления и земли в качестве проводника фазы «С». Применение данной схемы позволяет питать потребителей без перерывов в электроснабжении в период обслуживания рельсовой сети, поскольку в качестве третьей фазы используется земля без присоединения к рельсу.

Экспериментальные исследования использования схемы, представленной на рисунке 4, проводили на комплектной трансформаторной подстанции, подключенной к системе «Два дополнительных провода – рельс» электрифицированной железной дороги переменного тока 25 кВ. Мощность трансформатора КТП – 400 кВА, максимальная мощность нагрузки – 200 кВт. Контур заземления был дополнительно усилен вертикальными заземлителями (сталь круглая, d = 18 мм) в количестве 6 шт., длиной 3 м, смонтированных (заглубленных в грунт) по периметру КТП.

Подстанция расположена на расстоянии 18 м от крайнего тягового рельса, в полосе отвода железной дороги.

Электрические характеристики контура заземления подстанции приведены в таблице 2.

В ходе эксперимента фиксировали значения токов в контрольных точках ($I_{тр}$, I_p , I_z) согласно схемам рисунков 3, 4. В таблице 3 приведены основные данные эксперимента.

Анализируя данные таблицы 3 (по схеме рисунка 3), видим, что ток нагрузки КТП (трансформатора) ($I_{тр}$), ток в цепи присоединения КТП к рельсовой тяговой сети (I_p) и ток в проводнике присоединения КТП к контуру заземления (I_z) зависят от фактической нагрузки трансформатора, но действительные значения тока в данной цепи не соответствуют значению тока нагрузки КТП (трансформатора), то есть имеет место неравенство:

$$I_{тр} \neq I_p + I_z.$$

(1)

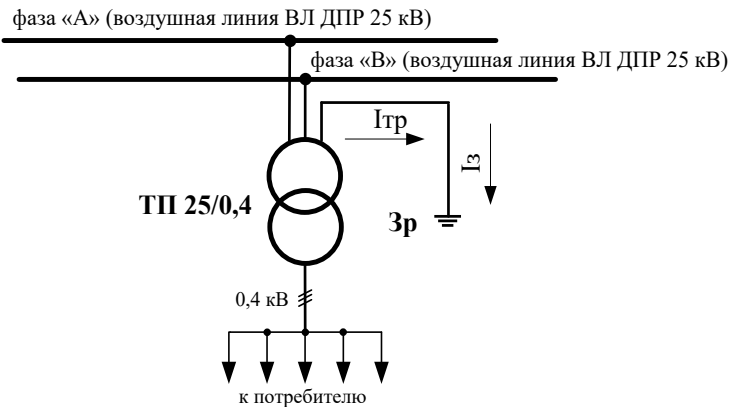


Рис. 4. Схема подключения КТП ДПР мощностью свыше 25 кВА с использованием рабочего заземления в качестве проводника фазы «С» (схема эксперимента):
 $I_{тр}$ – ток нагрузки КТП (трансформатора); I_z – ток в проводнике присоединения КТП к контуру заземления;
 $Зр$ – рабочее заземление подключения фазы «С»

Fig. 4. Connection diagram of the DPR KTP with a capacity of over 25 kVA using the working grounding as a conductor of “C” phase (experimental diagram):
 $I_{тр}$ – KTP (transformer) load current; I_z – current in the KTP connection conductor to the grounding circuit;
 $Зр$ – working grounding of the “C” phase connection

Таблица 2

Электрические характеристики контура заземления подстанции

Table 2

Electrical characteristics of the substation grounding loop

Измеряемый параметр заземления <i>Measured grounding parameter</i>	Количество измерений <i>Number of measurements</i>	Измеренное значение (диапазон значений) <i>Measured value (range of values)</i>
Удельное сопротивление грунта, Ом · м <i>Specific soil resistance, Ohm · m</i>	5	14,4...21,5
Сопротивление контура заземления, Ом <i>Grounding loop resistance, Ohm</i>	5	0,65...0,75

Таблица 3

Измеренные значения тока элементов подстанции в различных режимах нагрузки

Table 3

Measured values of current of substation elements in different load modes

Измеренные значения тока <i>Measured values of current</i>	Минимальная нагрузка <i>Minimum load</i>	Среднее значение нагрузки <i>Average load value</i>	Максимальная нагрузка <i>Maximum load</i>
По схеме рисунка 3 / According to the diagram in Figure 3			
$I_{тр}, A$	0,55	0,70	2,26
I_p, A	1,52	1,63	2,37
I_3, A	2,10	2,35	4,65
По схеме рисунка 4 / According to the diagram in Figure 4			
$I_{тр}, A$	0,26	0,67	2,50
I_3, A	0,26	0,67	2,50

По схеме рисунка 4 ток нагрузки КТП (трансформатора) $I_{тр}$ соответствует току в проводнике присоединения КТП к контуру заземления I_3 , то есть имеет место равенство:

$$I_{тр} = I_3. \quad (2)$$

В ходе эксперимента установлено, что заземление КТП ДПР, которая имеет связь с тяговой рельсовой сетью, выполняет функции не только заземления КТП ДПР (рабочего или защитного), но и используется для пропуска токов, протекающих в тяговой рельсовой сети, из данной сети в землю. Земля в данном случае рассматривается как параллельный проводник, обеспечивающий пропуск токов стационарных (нетяговых) и нестационарных (тяговых) потребителей системы электроснабжения электрической железной дороги системы переменного тока напряжением 25 кВ. Электропроводные свойства грунта (земли) в полосе отвода железной дороги имеют свои отличительные особенности в сравнении с другими грунтами, которые используются для работы электроустановок общегражданского назначения [5, 16].

В результате проведенного эксперимента подтверждена гипотеза о возможности использования земли в качестве основного проводника фазы «С» подстанции, подключенной к системе «Два провода – рельс» электрической железной дороги напряжением 25 кВ и мощностью выше 25 кВА с обеспечением требуемого качества электрической энергии. Это позволяет в период обслуживания инфраструктуры железной дороги («окон») осуществить питание

потребителей, в том числе сельских, подключенных к сетям РЖД, и избежать необоснованных отключений.

Выводы

1. Электроснабжение нетяговых потребителей по системе «Два дополнительных провода – рельс» электрифицированных железных дорог переменного тока имеет свои особенности в надежности электроснабжения, которые напрямую связаны с техническим исполнением системы электроснабжения и выполняемыми работами на инфраструктуре железной дороги.

2. В результате проведенного эксперимента выявлена возможность использования земли в качестве основного проводника фазы «С» подстанции, подключенной к системе «Два дополнительных провода – рельс» электрической железной дороги напряжением 25 кВ, мощностью выше 25 кВА с обеспечением требуемого качества электрической энергии.

3. Для формирования в будущих исследованиях объемной математической модели процесса функционирования отдельной подстанции и системы электроснабжения нетяговых потребителей по системе «Два провода – рельс» электрифицированных железных дорог переменного тока и разработки технических решений в целях повышения надежности нетяговых, в том числе сельскохозяйственных потребителей, необходимо проведение дополнительных полевых экспериментов и исследований, а также детальное изучение всех параметров и зависимостей работы данной системы электроснабжения.

Список источников

1. Кириллов С.В., Малутина С.А. Современная концепция оценки последствий невыполнения показателей надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей // Вестник Курганской ГСХА. 2025. № 1 (53). С. 56-66. EDN: RTXWAJ
2. Ярош В.А., Логачева Е.А., Жданов В.Г. и др. Системы электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: Материалы 18-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Тула – Минск – Донецк, 2-3 ноября 2022 г. Тула: Тульский государственный университет, 2022. С. 422-426. EDN: VOAODY
3. Бадер М.П., Лобынцев В.В. Диагностирование электромагнитной совместимости системы тягового электроснабжения и транспортной инфраструктуры // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте: Материалы Четвертой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 75-летию победы в Великой Отечественной войне; 100-летию со дня рождения академика А.Д. Сахарова; 120-летию основания Омского государственного университета путей сообщения, Омск, 29-30 октября 2020 г. Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2020. С. 163-174. EDN: TIYRVD
4. Крюков А.В., Любченко И.А. Улучшение качества электроэнергии в системах электроснабжения стационарных объектов железнодорожного транспорта // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23, № 6. С. 53-65. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-6-53-65>
5. Вуколов В.Ю., Колесников А.А., Обалин М.Д., Шарыгин М.В. Особенности обеспечения надежности электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Материалы 95-го заседания Международного научного семинара, пос. Хужир (оз. Байкал), 9-15 июля 2023 г. Иркутск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, 2023. Вып. 74. С. 431-440. EDN: DQTTUD
6. Макашева С.И., Пинчуков П.С. Оценка уровня напряжения линий продольного электроснабжения нетяговых железнодорожных потребителей // Вестник Института тяги и подвижного состава. 2023. № 19. С. 13-15. EDN: VHLOCE
7. Коркин Э.Б., Ранта А.Р. Новые подходы к организации электроснабжения нетяговых потребителей в условиях ОАО «РЖД» // Локомотив. 2022. № 9 (789). С. 38-40. EDN: HNKNDH
8. Кочешкова А.М., Грибанов А.А. Разработка мероприятий по повышению надежности сельских электрических сетей // Актуальные вопросы энергетики в АПК: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Благовещенск, 19 декабря 2024 г. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2025. С. 40-45. EDN: BEPJZC
9. Cheng P., Kong H., Ma J., Jia L. Overview of resilient traction power supply systems in railways with interconnected microgrid. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*. 2021;7(5):1122-1132. <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2020.02110>
10. Suslov K., Kryukov A., Ilyushin P. et al. Modeling of modes of traction power supply systems equipped with renewable energy sources. *Energy Reports*. 2023;9(S9):447-461. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.06.034>

References

1. Kirillov S.V., Malyutina S.A. Modern concept for assessing the consequences of non-fulfillment of reliability indicators of electricity supply to agricultural consumers. *Vestnik Kurganskoy GSKHA*. 2025;1:56-66. (In Russ.)
2. Yarosh V.A., Logacheva E.A., Zhdanov V.G. et al. Power supply systems for agricultural consumers. *Socio-economic and environmental problems of the mining industry, construction and power industry: Proceedings of the 18th International Conference on Problems of the Mining Industry, Construction and Energy*, Tula – Minsk – Donetsk, November 02-03, 2022. Tula: Tula State University, 2022. Pp. 422-426. (In Russ.)
3. Bader M.P., Lobyntsev V.V. Diagnosis of electromagnetic compatibility of the traction power supply system and transport infrastructure. *Instruments and methods of measurements, quality control and diagnostics in industry and transport: Proceedings of the fourth All-Russian scientific and technical conference with international participation dedicated to the 75th anniversary of the victory in the Great Patriotic War; the 100th anniversary of Academician A.D. Sakharov; the 120th anniversary of Omsk State Transport University*, Omsk, October 29-30, 2020. Omsk: Omsk State Transport University, 2020. Pp. 163-174. (In Russ.)
4. Kryukov A.V., Lyubchenko I.A. Improving the quality of electricity supply systems in stationary objects of railway transport. *Power Engineering: Research, Equipment, Technology*. 2021;23(6):53-65. (In Russ.) <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-6-53-65>
5. Vukolov V.Yu., Kolesnikov A.A., Obalin M.D., Sharygin M.V. Features of ensuring the reliability of electricity supply to non-traction consumers of railways. *Methodological issues of studying the reliability of large energy systems: Proceedings of the 95th Session of the International Scientific Seminar*, Khuzhir (Lake Baikal), July 9-15, 2023. Volume/Issue 74. Irkutsk: Energy Systems Institute named after L.A. Melentyev (the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences), 2023;74:431-440. (In Russ.)
6. Makasheva S.I., Pinchukov P.S. Voltage assessment for non-traction railway consumers power supply lines. *Vestnik Instituta Tyagi i Podvizhnogo Sostava*. 2023;19:13-15. (In Russ.)
7. Korokin E.B., Ranta A.R. New approaches to organizing the power supply of non-traction consumers used by JSC Russian Railways. *Lokomotiv*. 2022;9:38-40. (In Russ.)
8. Kocheshkova A.M., Griбанov A.A. Development of measures to improve the reliability of rural electric networks. *Current issues of energy in the agro-industrial complex: Proceedings of the All-Russian (national) scientific and practical conference*, Blagoveshchensk, December 19, 2024. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University, 2025. Pp. 40-45. (In Russ.)
9. Cheng P., Kong H., Ma J., Jia L. Overview of resilient traction power supply systems in railways with interconnected microgrid. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*. 2021;7(5):1122-1132. <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2020.02110>
10. Suslov K., Kryukov A., P. Ilyushin et al. Modeling of modes of traction power supply systems equipped with renewable energy sources. *Energy Reports*. 2023;9(S9):447-461. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.06.034>
11. Lyubchenko I.A. Simulation of emergency modes of power supply systems of non-traction consumers. *Sovremennye Tekhnologii i Nauchno-Tekhnicheskii Progress*. 2021;8:233-234. (In Russ.)
12. Makhmudova A.A. Improving the quality of electrical energy of the traction power supply system using smart grids. *Vestnik Sovremennykh Issledovaniy*. 2018;12.10 (27):267-270. (In Russ.)

11. Любченко И.А. Моделирование аварийных режимов систем электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2021. № 8. С. 233-234. EDN: TMXXYX

12. Махмудова А.А. Повышение качества электрической энергии системы тягового электроснабжения при помощи применения интеллектуальных сетей // Вестник современных исследований. 2018. № 12.10 (27). С. 267-270. EDN: YVNCFF

13. Галкин Е.А. Особенности компенсации реактивной мощности при тяговой нагрузке // Modern Science. 2020. № 12-5. С. 337-341. EDN: EHEVDO

14. Виноградов А.В., Виноградова А.В., Крамской С.В. Обоснование совместного применения средств секционирования и мобильных энергетических платформ для резервирования электроснабжения сельских потребителей // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70, № 2 (51). С. 26-36. EDN: DHFGBZ

15. Кириллов С.В., Виноградов А.В. Основы концепции совершенствования электроснабжения сельских потребителей от системы электроснабжения электрифицированной железной дороги // Техника и оборудование для села. 2024. № 7 (325). С. 42-45. EDN: AOZMAI

16. Кириллов С.В. Исследование электропроводных свойств грунта полосы отвода железной дороги // Наука и Образование. 2024. Т. 7, № 3. EDN: ATPHUI

13. Galkin E.A. Features of reactive power compensation under traction load. *Modern Science*. 2020;12-5:337-341. (In Russ.)

14. Vinogradov A.V., Vinogradova A.V., Kramskoy S.V. Justification of the joint use of partitioning tools and mobile energy platforms for reserving electricity supply to rural consumers. *Electrical Technologies and Electrical Equipment in Agriculture*. 2023;70(2):26-36. (In Russ.)

15. Kirillov S.V. Vinogradov A.M. The fundamentals of the concept of the improved power supply to rural consumers from the electrified railway power supply system. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024;7:42-45. (In Russ.)

16. Kirillov S.V. Investigation of electrically conductive properties the soil of the railway right-of-way. *Nauka i Obrazovanie*. 2024;7(3). (In Russ.)

Информация об авторах

¹ Кириллов Сергей Викторович, канд. техн. наук, начальник Мичуринской дистанции электроснабжения ОАО «РЖД», доцент кафедры агроинженерии и электроэнергетики; kirill_mich@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-5412-5441>; SPIN-код: 8680-1953, AuthorID: 699962

² Виноградов Александр Владимирович, д-р техн. наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией электроснабжения, электрооборудования и возобновляемой энергетики; профессор кафедры электроснабжения и теплообеспечения; winaleksandr@gmail.com[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>; SPIN-код: 6652-9426, AuthorID: 690615

¹ Мичуринский государственный аграрный университет; 393760, Российская Федерация, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101

² Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Author Information

Sergey V. Kirillov¹, CSc (Eng), Head of Michurinsk Power Supply Department of JSC Russian Railways, Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering and Electric Power Engineering; kirill_mich@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-5412-5441>

Aleksandr V. Vinogradov², DSc (Eng), Associate Professor, Head of the Laboratory of Power Supply; winaleksandr@gmail.com[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

¹ Michurinsk State Agrarian University; 393760, Russia, Tambov region, Michurinsk, Internatsionalnaya Str., 101

² Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russia, Moscow, 1st Institutskiy Proezd Str., 5; Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

Статья поступила 05.12.2024, после рецензирования и доработки 26.06.2025, принята к публикации 27.06.2025

Received 05.12.2024; Revised 26.06.2025; Accepted 27.06.2025

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 37.048.4

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-78-84>



Актуальные направления психолого-педагогического сопровождения подготовки инженерных кадров для сельского хозяйства

Т.П. Коваленок¹✉, Л.В. Занфирова², Л.И. Назарова³

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

¹ kovalenok@rgau-msha.ru✉; <https://orcid.org/0000-0003-2835-1454>

² zanfirova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6151-2267>

³ nazarova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5698-6284>

Аннотация. Для реализации академического права студентов на психологическую помощь необходимо развивать систему психолого-педагогического сопровождения обучающихся образовательных организаций высшего образования. С целью выявления и обоснования актуальных направлений психолого-педагогического сопровождения подготовки инженерных кадров для сельского хозяйства авторами проведен анализ нормативной и научно-педагогической литературы по проблемам психолого-педагогического сопровождения. Рассмотрены особенности организации психологических служб в ряде ведущих аграрных университетов России. Сделаны выводы о преобладающей направленности психологической помощи на работу с критическими и кризисными феноменами. В рамках исследований осуществлен анализ эмпирических данных о психолого-педагогических характеристиках успешно работающих инженеров и студентов инженерных направлений подготовки, в том числе обучающихся в аграрном вузе. Выделены типичные параметры когнитивной сферы, основные индивидуально-типологические особенности, ведущие личностные черты инженеров. Установлено, что типичными для представителей технических профессий чертами являются замкнутость, подозрительность, низкая коммуникабельность. Исходя из этого, определили направления психолого-педагогического сопровождения студентов инженерных направлений подготовки аграрного вуза: диагностика когнитивных способностей и личностных качеств; оценка их соответствия характеру инженерной деятельности; определение условий формирования и развития. Типичные психологические особенности представителей инженерной сферы обуславливают необходимость психолого-педагогических воздействий для формирования коммуникативных умений и коррекции эмоциональной сферы.

Ключевые слова: психолого-педагогическое сопровождение; инженер; психологическая служба; вуз; аграрный университет; диагностика личностных качеств; развитие когнитивных способностей

Для цитирования: Коваленок Т.П., Занфирова Л.В., Назарова Л.И. Актуальные направления психолого-педагогического сопровождения подготовки инженерных кадров для сельского хозяйства // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 4. С. 78-84. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-78-84>

ORIGINAL ARTICLE

Current trends in psychological and pedagogical support for training agricultural engineering staff

T.P. Kovalenok¹, L.V. Zanfirova², L.I. Nazarova³

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

¹ kovalenok@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2835-1454>

² zanfirova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6151-2267>

³ nazarova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5698-6284>

Abstract. To ensure the academic right of students to psychological assistance, it is necessary to develop a system of psychological and pedagogical support for university students. In order to identify and substantiate current areas of psychological and pedagogical support for training agricultural engineering staff, the authors analyzed the regulatory and research literature on the problems of psychological and pedagogical support. They also identified some specific features of the organization of psychological services in a number of leading agricultural universities in Russia. The authors have made a conclusion about the predominant focus of psychological assistance on critical and crisis phenomena. The study analyzes empirical data on psychological and pedagogical characteristics of successful engineers and engineering students, including those studying at the agrarian university. The typical parameters of their cognitive sphere, main individual-typological features, and leading personality traits have been identified. It has been found that technical specialists have such typical traits as restraint, suspiciousness, and low sociability. Based on this, the authors identified the main areas of psychological and pedagogical support for agricultural students, taking into account the specific features of engineering areas of training: diagnostics of cognitive abilities and personality traits, assessment of their relevance to the profile of engineering activity, and determination of the conditions for their development. The typical psychological features of engineering staff determine the need for psychological and pedagogical influences aimed primarily at developing communication skills and correcting the emotional sphere.

Keywords: psychological and pedagogical support; engineer; psychological service of the university; training of engineering staff; agrarian university; diagnostics of personality traits; development of cognitive abilities

For citation: Kovalenok T.P., Zanfirova L.V., Nazarova L.I. Current trends in psychological and pedagogical support for training agricultural engineering staff. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):78-84 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-78-84>

Введение

Система психолого-педагогического сопровождения обучающихся в форме психологических служб с конца прошлого века активно функционирует в дошкольном и общем образовании, в ее реализации принимают участие педагоги, психологи, тьюторы и другие специалисты. Психолого-педагогическое сопровождение предполагает создание благоприятных условий для обучения и развития, оказание помощи в решении психологических проблем, связанных с обучением и воспитанием¹ [1].

Нарастающий темп социальных и экономических изменений, повышающийся уровень требований к физиологическим и психическим возможностям человека вызвали необходимость оказания психологической помощи и поддержки

и в процессе профессионального образования. Широкомасштабные исследования Российской академии образования выявили у определенной части студентов отклоняющиеся формы поведения, эмоциональные нарушения, что стало одним из аргументов в пользу создания психологических служб в вузах.

Министром науки и высшего образования Российской Федерации в 2022 г. была утверждена Концепция развития сети психологических служб в образовательных организациях высшего образования в Российской Федерации². Концепция направлена на реализацию закрепленного в ст. 34 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» академического права обучающихся на психоло-

¹ Ульянина О.А., Юрчук О.Л., Ермолаева А.В. и др. Психолого-педагогическое сопровождение студентов педагогических вузов: риски дезадаптации и ресурс психологической службы: Монография / Под науч. ред. О.В. Вихристюк. М.: РИОР, 2024. 189 с. DOI: doi.org/10.29039/02163-7.

² Концепция развития сети психологических служб в образовательных организациях высшего образования в Российской Федерации: утв. Минобрнауки России 29 августа 2022 г. № ВФ/1-Кн). URL: <https://minobrnauki.gov.ru/upload/iblock/516/xdfty8026hfpsj25wku83syp6akmxdr9.pdf> (дата обращения: 15.01.2025).

гическую помощь³. Сотрудники психологических служб – квалифицированные психологи – должны обеспечить качество и доступность психологической помощи, создавать условия для укрепления психологического благополучия, психического здоровья и позитивной социализации обучающихся, содействовать построению и реализации личных профессиональных планов, укреплению духовно-нравственной сферы обучающихся.

Важными задачами психологических служб в системе высшего образования являются развитие внешней и внутренней толерантности, формирование жизнестойкости и конструктивных навыков межличностного взаимодействия, пропаганда традиционных семейных ценностей. Необходимость сохранения и укрепления здоровья обучающихся требует ведения профилактической и коррекционной работы по предупреждению формирования вредных привычек, употребления алкоголя, психоактивных веществ, агрессивного и аутоагрессивного поведения.

Отдельная группа задач связана с необходимостью: развития внутриведомственного и межведомственного взаимодействия; обеспечения качества методического и технического оснащения психологической службы для диагностической, коррекционной и профилактической работы; участия в мониторингах актуального состояния психологических служб, проводимых Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

Субъектами психологического сопровождения могут быть и педагогические работники организаций высшего образования, которые нуждаются в помощи для преодоления кризисных ситуаций, эмоционального выгорания, личностных и профессиональных деформаций [2, 3]. Развитие психологического сопровождения высшего образования требует проведения научных исследований, разработки критериев и проведения психологической экспертизы программ обучения⁴. Очевидно, что психологическое сопровождение в системе высшего образования наряду с решением общих задач предполагает учет специфических особенностей контингента обучающихся и направлений профессиональной подготовки.

³ Об образовании в Российской Федерации: Федеральный закон от № . URL: <https://zakonobrazovani.ru/#zakonobrazovani> (дата обращения: 15.01.2025).

⁴ Концепция развития сети психологических служб в образовательных организациях высшего образования в Российской Федерации: утв. Минобрнауки России 29 августа 2022 г. № ВФ/1-Кн). URL: <https://minobrnauki.gov.ru/upload/iblock/516/xdfty8026hfpsj25wku83syp6akmxdr9.pdf> (дата обращения: 15.01.2025).

Цель исследований: выявление и обоснование актуальных направлений психолого-педагогического сопровождения подготовки инженерных кадров для сельского хозяйства в аграрных вузах.

Материалы и методы

Определены особенности организации психологической службы в образовательных организациях Министерства просвещения Российской Федерации и в нескольких ведущих отраслевых вузах Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. Проведен анализ нормативной, методической и научной психологической и педагогической литературы по проблемам психологического сопровождения. Обобщены результаты теоретических и эмпирических исследований психологических особенностей инженеров и студентов технических направлений подготовки.

Результаты и их обсуждение

Концепция развития сети психологических служб в образовательных организациях высшего образования предусматривает три модели организации психологической службы: централизованную, интегрированную и диффузную. Централизованная модель предполагает наличие отдельного структурного подразделения со своими материальными средствами, относительно большим штатом сотрудников и руководителей. Помимо этого, психологические службы могут встраиваться в состав каких-либо структурных подразделений (факультетов и кафедр психологии, отделов по воспитательной работе и т.п.) в качестве отделов или секторов.

Если ресурсов для организации подразделения по психолого-педагогическому сопровождению недостаточно, может реализовываться диффузная модель, которая рассматривается как начальный этап разработки системы. К работе в рамках этой модели могут привлекаться на условиях совместительства компетентные специалисты: сотрудники образовательного учреждения – преподаватели психологии и педагогики. Чтобы не возникало этических проблем, этим сотрудникам рекомендуется осуществлять в основном научно-исследовательскую работу по обеспечению психолого-педагогического сопровождения в конкретном образовательном учреждении.

Анализ особенностей организации психолого-педагогического сопровождения в вузах Министерства сельского хозяйства Российской Федерации показал наличие всех трех моделей. Так, в Кубанском государственном аграрном университете Центр психологической поддержки является структурным

подразделением, реализующим профилактическую, превентивную, консультативную и научно-методическую и обучающую работу. В положении о Центре, разработанном в 2021 г., подчеркивается, что основными субъектами психологической поддержки должны быть студенты 1-го курса. Название центра отражает основное содержание его работы, задачи центра предусматривают в основном оказание помощи в выявлении и преодолении психологических проблем студентов⁵.

На сайте Омского государственного аграрного университета есть страница психолога, к которому можно записаться на консультацию. Психолог является сотрудником Центра социально-воспитательной работы и молодежной политики, который в числе многих направлений работы оказывает «...практическую помощь в области социально-психологической поддержки институтам и факультетам университета; организывает социальную, психолого-консультационную и профилактическую работу со студентами»⁶.

Психологическая служба Белгородского государственного аграрного университета является подразделением Управления социально-психологического сопровождения. В составе службы – руководитель и психолог, осуществляющий индивидуальное консультирование студентов⁷.

Психологическая служба в Ставропольском государственном аграрном университете создана для оказания помощи студентам и сотрудникам в сложной жизненной ситуации. Она подчинена проректору по молодежной политике и воспитательной работе, оснащена современным диагностическим оборудованием. Основными задачами службы являются сохранение психического и психосоматического здоровья, формирование осознанного, ответственного отношения к нему и профилактика социально-психологической дезадаптации студентов⁸.

⁵ Кубанский государственный аграрный университет: сайт. URL: <https://old.kubsau.ru/university/departments/uvr/tsentr-psikhologicheskoy-podderzhki/> (дата обращения: 15.01.2025).

⁶ Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина: сайт. URL: https://www.omgau.ru/o-universitete/podrazdelenia/?ELEMENT_ID=9361 (дата обращения: 15.01.2025).

⁷ Белгородский государственный аграрный университет: сайт. URL: <https://belgau.ru/molodezhnaya-politika/usps/> (дата обращения: 15.01.2025).

⁸ Ставропольский государственный аграрный университет: сайт. URL: <https://stgau.ru/media/news/v-stgau-otkrylas-psikhologicheskaya-služba-i-kabinet-psixologiceskoi-razgruzki> (дата обращения: 15.01.2025).

В Донском государственном аграрном университете социально-психологическая служба является структурным подразделением университета, функция которого – «...психологическое обеспечение полноценного личностного и интеллектуального развития студентов, формирование способностей к самовоспитанию и саморазвитию»⁹.

В Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К.А. Тимирязева реализуется интегрированная модель психологической службы. Социально-психологическая служба является подразделением Управления молодежной политики и воспитательной деятельности. Цель создания службы – оказание помощи и поддержки в решении различных психологических проблем и преодолении трудных жизненных ситуаций студентов, аспирантов и преподавателей¹⁰. Штатный состав работников – два профессиональных психолога, которые готовы работать с проявлениями негативных эмоциональных состояний и межличностных отношений, то есть решать только одну из двенадцати задач, заявленных в концепции развития сети психологических служб в образовательных организациях высшего образования в Российской Федерации.

Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время психолого-педагогическое сопровождение направлено в основном на решение задач помощи в сложных кризисных ситуациях, в преодолении негативных состояний и процессов. Оказание участникам образовательного процесса психолого-педагогической помощи, ориентированной не только на коррекцию психических свойств и состояний, но и на выработку и поддержку оптимальной траектории личностного и профессионального развития, требует привлечения всех ресурсов образовательных организаций и предполагает разработку специальных психолого-педагогических программ, ориентированных на профилактику возникновения психологических проблем, которые будут реализовываться не только сотрудниками психологической службы, но и другими структурными подразделениями [4]. Такая работа требует изучения специфических особенностей студентов различных направлений, выявления тех факторов учебного процесса, которые могут способствовать или препят-

⁹ Донской государственный аграрный университет: сайт. URL: <https://www.dongau.ru/studencheskaya-zhizn/sotsialno-psikhologicheskaya-služhba.php> (дата обращения: 15.01.2025).

¹⁰ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева: сайт. URL: <https://www.timacad.ru/about/struktura-universiteta/aup/upravlenie-molodezhnoi-politiki-i-vospitatelnoi-deiatelnosti/sotsialno-psikhologicheskaya-služhba> (дата обращения: 15.01.2025).

ствовать эффективному формированию личности профессионала.

В РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева такая работа проводится сотрудниками кафедры педагогики и психологии профессионального образования совместно с другими выпускающими кафедрами. Одним из реализующихся на протяжении нескольких лет является исследование профессионально важных качеств современных студентов, овладевающих инженерными профессиями (обучающиеся по направлениям подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 08.03.01 «Строительство», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», 23.03.01 «Технология транспортных процессов», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 35.03.11 «Гидрометеорология», 20.03.01 «Техносферная безопасность» и др.). Особое внимание к подготовке квалифицированных кадров именно для инженерной сферы обусловлено возрастающей потребностью современного высокотехнологичного производства в таких специалистах [5-7].

В рамках реализации исследования был проведен анализ опубликованных результатов эмпирических исследований, в которых изучались особенности представителей различных инженерных профессий и студентов – будущих инженеров. Теоретическое исследование показало актуальность следующих направлений: создание идеальной модели современного инженера; выделение психологических факторов, влияющих на успешность, надежность, безопасность, новаторский потенциал профессионала; дифференциально-психологическая характеристика личности типичного инженера; выделение студентами профессионально-важных качеств инженера; определение условий формирования таких качеств¹¹ [8]. Имеющиеся в проанализированных работах диагностические данные успешно работающих на различных трудовых постах инженеров позволили описать их основные психологические особенности. Типичными параметрами когнитивной сферы инженеров оказались переключение и распределение внимания, хорошая память, воображение, высокий интеллект. В индивидуально-типологических характеристиках выявились эмоциональная стабильность, стрессоустойчивость, гибкость

поведения, тревожность, закрытость, недоброжелательность. Основными личностными чертами оказались ответственность, добросовестность, педантичность, автономия, самодостаточность, самоконтроль, выдержка, твердость характера, мужественность, целеустремленность, стремление к самосовершенствованию.

Выявленные характеристики можно рассматривать как перечень важных для успешной адаптации к инженерной профессии качеств и в соответствии с ним определить три направления психолого-педагогического сопровождения процесса подготовки инженерных кадров в системе высшего образования. Прежде всего это оценка и развитие когнитивных способностей, диагностика личностных качеств, соответствующих характеру инженерной деятельности, определение условий их формирования [9]. Комплексный подход к реализации направлений психолого-педагогического сопровождения процесса подготовки инженерных кадров будет способствовать профессиональному самоопределению студентов инженерных направлений подготовки [10], и при необходимости – коррекции образовательной траектории или ее персонализации.

Типичные для представителей инженерных профессий сниженные показатели открытости и доброжелательности, эмоциональная напряженность могут стать препятствием для успеха в профессии. Современный профессионал должен уметь работать в команде, а значит, необходимы психолого-педагогические воздействия, направленные на формирование коммуникативных умений, коррекцию эмоциональной сферы.

В соответствии с выделенными направлениями в Институте механики и энергетики имени В.П. Горячкина проводились психодиагностические исследования и осуществлялись формирующие воздействия. Анализ особенностей когнитивной сферы студентов позволил выявить недостаточный уровень развития базовых мыслительных операций, ограниченность общего ментального опыта. В связи с этим разрабатываются методические подходы к такому преподаванию специальных дисциплин, которое оказывает формирующее воздействие на интеллектуальные возможности обучающихся.

Диагностика личностных особенностей студентов инженерных направлений подготовки выявила недостаточный уровень осознанности и устойчивости целей деятельности, неопределенность и непостоянство планов на фоне излишней самоуверенности, некоторой легкомысленности, отсутствия взвешенной критичной оценки самих себя, своих действий

¹¹ Алексеева И.А., Байдетская Е.А., Болгова Е.В. и др. Современные тренды высшего образования: Коллективная монография. Ульяновск: Издательство «Зебра», 2023. 599 с. EDN: YFVEPL.

и полученных результатов [11]. Исследование особенностей потребностно-мотивационной сферы студентов и уровня удовлетворенности основных потребностей показало, что наименее удовлетворенной является потребность в самореализации, что свидетельствует о дефиците условий для эффективного развития и формирования личности.

Исследование коммуникативных качеств будущих инженеров свидетельствует о недостаточной гибкости в общении, стремлении регламентировать проявление индивидуальности партнеров, предпочтении определенного типа партнеров по общению, соответствующих сложившимся ценностям и вкусам.

Очевидно, что ограниченность выборки студентов, участвовавших в исследованиях, в определенной степени снижает обоснованность полученных данных, однако они будут справедливы в отношении обучающихся на инженерных направлениях подготовки в аграрных вузах.

Список источников

1. Мазуркевич М.Ю. Психолого-педагогическое сопровождение в деятельности практического психолога: методология и теоретические основания // Концепции современного образования: вопросы теории и практики: Сборник научных трудов. Казань: ООО «СитИвент», 2020. С. 81-85. EDN: AQDWPM
2. Касаткин С.Ф. Акмеологический подход к психолого-педагогическому сопровождению личностно-профессионального развития // Психологическое сопровождение образовательного процесса. 2014. Т. 1, № 4-2. С. 98-107. EDN: XACNGP
3. Назарова Л.И., Гриценко Н.С. Детерминанты эмоционального выгорания педагога профессионального обучения // Профессиональное самоопределение молодежи инновационного региона: проблемы и перспективы: Сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2024. С. 241-244. EDN: PQWUQA
4. Романова Е.С. Актуальные вопросы внедрения психолого-педагогических программ и технологий в образовательную среду // Вестник практической психологии образования. 2024. Т. 21, № 1. С. 27-33. <https://doi.org/10.17759/bppe.2024210102>
5. Kubrushko P.F., Kozlenkova E.N. Continuing engineering education: background and development vectors. 1st International Scientific Practical Conference «The Individual and Society in the Modern Geopolitical Environment» (ISMGE2019): Proceedings of the 1st International Scientific Practical Conference. Volgograd: Atlantis Press. 2019;331:397-403. EDN: EGIXGI
6. Бердышев В.Е., Скороходова Н.В., Чистова Я.С. Проблема обеспечения агропромышленного комплекса России инженерными кадрами // Агроинженерия. 2020. № 6 (100). С. 74-80. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-6-74-80>
7. Кубрушко П.Ф., Шингарева М.В., Атапина Ю.А. Подготовка кадров для агропромышленного комплекса в системе непрерывного профессионального образования // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 4. С. 58-63. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-58-63>

Выводы

1. Основными направлениями психолого-педагогического сопровождения высшего образования в сфере подготовки инженерных кадров для сельского хозяйства должны стать оценка и развитие когнитивных способностей, диагностика личностных качеств, соответствующих характеру инженерной деятельности, и определение условий их формирования.

2. Результаты исследований могут использоваться при разработке критериев и проведении психологической экспертизы соответствующих программ обучения и иных образовательных инноваций. Это расширит возможности психологических служб, позволит не только работать с критическими и кризисными феноменами, но и осуществлять развивающее и формирующее воздействие для удовлетворения потребностей личности и общества в интеллектуальном, культурном и нравственном развитии высококвалифицированных кадров.

References

1. Mazurkevich M.Yu. Psychological and pedagogical support in the activities of a practical psychologist: methodology and theoretical foundations. *Kontseptsii sovremennogo obrazovaniya: voprosy teorii i praktiki = Concepts of Modern Education: Issues of Theory and Practice: Collection of scientific papers*. Kazan, 2020:81-85. (In Russ.)
2. Kasatkin S.F. Acmeological approach to psychological and pedagogical support of personal and professional development. *Psikhologicheskoe soprovozhdenie obrazovatel'nogo protsessa*. 2014;1(4-2):98-107. (In Russ.)
3. Nazarova L.I., Gritsenko N.S. Determinants of emotional burnout of vocational teachers. *Professionalnoe samoopredelenie molodezhi innovatsionnogo regiona: problemy i perspektivy: Proceedings of the All-Russian (National) scientific and practical conference with international participation*. Krasnoyarsk. 2024:241-244. (In Russ.)
4. Romanova E.S. Current Issues of Introducing Psychological and Pedagogical Programs and Technologies into the Educational Environment. *Vestnik prakticheskoi psikhologii obrazovaniya = Bulletin of Practical Psychology of Education*. 2024;21(1):27-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.17759/bppe.2024210102>
5. Kubrushko P.F., Kozlenkova E.N. Continuing engineering education: background and development vectors. *1st International Scientific Practical Conference "The Individual and Society in the Modern Geopolitical Environment" (ISMGE2019): Proceedings of the 1st International Scientific Practical Conference*. Volgograd. 2019;331:397-403.
6. Berdyshev V.E., Skorokhodova N.V., Chistova Ya.S. Problem of engineering staff availability in Russian agriculture. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2020;6(100):74-80. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-6-74-80>
7. Kubrushko P.F., Shingareva M.V., Atapina Yu.A. Agricultural staff training in the system of lifelong professional education. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(4):58-63. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-58-63>

8. Коваленок Т.П. Современное состояние исследований профессиональных и личностных качеств инженеров // Научно-педагогическое обозрение. 2022. № 1 (41). С. 181-191. <https://doi.org/10.23951/2307-6127-2022-1-181-191>

9. Занфирова Л.В., Коваленок Т.П., Назарова Л.И., Чистова Я.С. Характеристики когнитивной сферы студентов и развивающий потенциал методов контроля знаний // Международный научный журнал. 2023. № 6 (93). С. 105-116. EDN: NKBCVM

10. Козленкова Е.Н., Серен Ч.О. Профессиональное самоопределение студентов инженерной направленности средствами информационных и коммуникационных технологий // Современные вызовы для АПК и инновационные пути их решения: Материалы 71-й Международной научно-практической конференции. Рязань: Рязанский государственный агро-технологический университет им. П.А. Костычева, 2020. Т. 2. С. 273-277. EDN: PQNBIF

11. Занфирова Л.В., Коваленок Т.П., Меликов А.В. Формирование гибких навыков агроинженеров // Международный научный журнал. 2022. № 3 (84). С. 91-101. EDN: ZQDXDZ

Информация об авторах

¹ Коваленок Татьяна Петровна, канд. психол. наук, доцент; kovalenok@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0003-2835-1454>; SPIN-код: 2605-9724, AuthorID: 345410

² Занфирова Лариса Вячеславовна, канд. пед. наук, доцент; zanfirova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6151-2267>; SPIN-код: 5688-1091, AuthorID: 799536

³ Назарова Людмила Ивановна, канд. пед. наук, доцент; nazarova@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0001-5698-6284>; SPIN-код: 1909-3611, AuthorID: 392255

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

Вклад авторов

Т.П. Коваленок – формулирование основной концепции исследований, описание результатов;

Л.В. Занфирова – разработка методологии и проведение исследований;

Л.И. Назарова – верификация данных, формирование выводов, создание черновика рукописи.

Конфликт интересов

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

Статья поступила в редакцию 05.02.2025; поступила после рецензирования и доработки 05.05.2025; принята к публикации 06.05.2025

8. Kovalenok T.P. Professional and personal qualities of engineers. *Nauchno-pedagogicheskoye obozreniye – Pedagogical Review*. 2022;1(41):181-191. (In Russ.) <https://doi.org/10.23951/2307-6127-2022-1-181-191>

9. Zanfirova L.V., Kovalenok T.P., Nazarova L.I., Chistova Ya.S. Characteristics of students' cognitive sphere and developmental potential of knowledge control methods. *International Scientific Journal*. 2023;6(93):105-116. (In Russ.)

10. Kozlenkova E.N., Seren Ch.O. Professional self-determination of engineering students by means of information and communication technologies. *Sovremennye vyzovy dlya APK i innovatsionnye puti ikh resheniya: Proceedings of the 71st International Scientific and Practical Conference*. Ryazan. 2020;2:273-277. (In Russ.)

11. Zanfirova L.V., Kovalenok T.P., Melikov A.V. Formation of flexible skills of agroengineers. *International Scientific Journal*. 2022;3(84):91-101. (In Russ.)

Author Information

Tatyana P. Kovalenok¹, CSc (Psy), Associate Professor; kovalenok@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0003-2835-1454>

Larisa V. Zanfirova², CSc (Ed), Associate Professor; zanfirova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6151-2267>

Liudmila I. Nazarova³, CSc (Ed), Associate Professor; nazarova@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0001-5698-6284>

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

Author Contribution

T.P. Kovalenok – conceptualization, description of the results;

L.V. Zanfirova – research methodology, investigation;

L.I. Nazarova – data verification, conclusions, writing – original draft preparation.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests and are responsible for plagiarism.

Received 05.02.2025; Revised 05.05.2025; Accepted 06.05.2025

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 37.01

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-85-93>**Воспитание традиционных ценностей в цифровой среде: вызовы и возможности для современного образования****С.Е. Шишов¹, В.А. Кальней²**¹ Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского; г. Москва, Россия² Российская международная академия туризма, г. Химки, Россия¹ seshishov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8742-9082>² v-kalney@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0423-2023>

Аннотация. Цифровизация трансформирует социальные институты, включая образование, и ставит вызовы – такие, как снижение внимания к духовным аспектам, замещение живого общения виртуальными коммуникациями и распространение потребительских установок через медиапространство. При этом цифровая среда открывает возможности для популяризации культурного наследия через мультимедийные ресурсы и интерактивные технологии. Актуальность исследований обусловлена необходимостью баланса между адаптацией к цифровым реалиям и сохранением ценностных ориентиров, формирующих личность молодежи. Цель исследований – анализ двойственной роли цифровизации в формировании духовно-нравственных ориентиров молодежи, выявление ключевых вызовов и возможностей цифровой среды. Для достижения цели использовали методы анализа научной литературы, интервьюирование педагогов и родителей, опросы молодежи, а также анализ цифровых образовательных ресурсов. Рассмотрели влияние виртуальных коммуникаций на ценностные установки и эффективность интерактивных технологий в воспитательной практике. В результате исследований выявили ключевые вызовы цифровой эпохи: снижение интереса к духовно-нравственным аспектам, доминирование виртуального общения над живым взаимодействием и усиление потребительской направленности в молодежной среде. В то же время цифровые инструменты (виртуальные экскурсии, AI-адаптированные программы, онлайн-форумы) показали потенциал для вовлечения молодежи в изучение культурного наследия, повышения доступности воспитательного процесса и развития критического мышления средствами цифровых дискуссий. Персонализация контента с учетом возрастных и культурных особенностей способствует укреплению традиционных ценностей. Цифровая среда при грамотном использовании может стать мощным инструментом сохранения традиционных ценностей. Педагогам рекомендуется создавать интерактивные материалы и повышать цифровую грамотность, разработчикам – учитывать региональную специфику и интегрировать обратную связь, родителям – активно участвовать в цифровом обучении детей и контролировать их цифровое потребление. Исследования подтверждают, что сочетание цифровых и традиционных методов способно обеспечить преемственность ценностей в условиях технологической трансформации.

Ключевые слова: воспитание; традиционные ценности; цифровая среда; медиа; цифровые инструменты; визуальные материалы; молодежь

Для цитирования: Шишов С.Е., Кальней В.А. Воспитание традиционных ценностей в цифровой среде: вызовы и возможности для современного образования // *Агроинженерия*. 2025. Т. 27, № 4. С. 85-93. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-85-93>

ORIGINAL ARTICLE

Fostering traditional values in a digital environment: challenges and opportunities for modern education**S.E. Shishov¹, V.A. Kalney²**¹ Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky; Moscow, Russia² Russian International Academy for Tourism; Khimki, Russia¹ seshishov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8742-9082>² v-kalney@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0423-2023>

Abstract. Digitalization is transforming social institutions, including education, and poses challenges such as reducing attention to spiritual aspects, replacing live communication with virtual communications, and spreading

consumer attitudes through the media space. At the same time, the digital environment opens up opportunities for the popularization of cultural heritage through multimedia resources and interactive technologies. The research relevance is due to the need for a balance between adaptation to digital realities and the preservation of value orientations that shape the personality of young people. The study goal is to analyze the dual role of digitalization in shaping the spiritual and moral attitudes of young people, identifying key challenges and opportunities of the digital environment. To achieve this goal, the authors used methods of analyzing scientific literature, interviewing teachers and parents, surveys of young people, as well as the analysis of digital educational resources. Special attention was paid to the study of the influence of virtual communications on the values and effectiveness of interactive technologies in educational practice. The research results revealed the key challenges of the digital age: a decrease in interest in spiritual and moral aspects, the dominance of virtual communication over live interaction, and an increase in consumer orientation among young people. At the same time, digital tools (virtual tours, AI-adapted programs, online forums) are rather promising in terms of involving young people in the study of cultural heritage, increase the accessibility of the educational process and develop critical thinking through digital discussions. The personalization of content, taking into account age and cultural characteristics, helps to strengthen traditional values. The digital environment, if used correctly, can become a powerful tool for preserving traditional values. It is recommended that teachers create interactive materials and improve digital literacy, developers take into account regional specifics and integrate feedback, and parents actively participate in children's digital education and monitor their digital consumption. The study confirms that the combination of digital and traditional methods can ensure the continuity of values in the context of technological transformation.

Keywords: education; traditional values; digital environment; media; digital tools; visual materials; young people

For citation: Shishov S.E., Kalnei V.A. Fostering traditional values in a digital environment: challenges and opportunities for modern education. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):85-93 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-85-93>

Введение

По данным международных исследований¹, в 2024 г. более 60% мирового населения использует Интернет, а среди молодежи этот показатель превышает 90%. Цифровые технологии активно представлены в образовании, коммуникациях, в организации досуга и любой профессиональной деятельности. Как следствие, это приводит к серьезным изменениям в мировоззрении, поведении, в культурных ориентациях подрастающего поколения.

Такие традиционные ценности, как патриотизм, духовность, нравственность, уважение к старшим, семья, являются основой культурного наследия человечества. Они обеспечивают преемственность между поколениями, формируют личностное развитие человека, определяют его место в обществе. Однако в эпоху, когда доминируют скоростные цифровые коммуникации, мгновенный доступ к информации, наблюдается глобализация культурных влияний, традиционные ценности оказываются под угрозой разрушения. По данным Всемирного экономического форума (WEF), более 70% молодых людей считают Интернет основным источником информации. Это значительно больше, чем традиционные

каналы – такие, как школа, семья, религиозные организации, вместе взятые².

Цифровая среда расширяет горизонты, развивает новые компетенции, предоставляет уникальные возможности для получения знаний. При этом она создает вызовы, связанные с трансформацией ценностных ориентиров. Например, 45% подростков от 13 до 17 лет признаются в том, что постоянно находятся в общении онлайн. Более половины указывают на разрушение реальных человеческих взаимодействий вследствие чрезмерного использования гаджетов³. Это приводит к ослаблению семейных связей, уменьшению внимания к культурному наследию семьи, этноса, страны, к замене традиционных форм общения виртуальными коммуникациями [1].

Тревогу вызывает влияние цифровых технологий на формирование мировоззрения молодежи [2]. Исследования UNESCO показали, что распространяемый через социальные сети и другие цифровые платформы контент часто содержит элементы потребительского подхода к жизни, упрощенного понимания сложных социальных явлений, противоречит

¹ ITU «Измерение цифрового развития: факты и цифры 2024». URL: <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/facts-figures-2024/index> (дата обращения: 22.04.2025).

² WEF. (2025). The Future of Jobs Report. [Электронный ресурс]. URL: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_Report_2025.pdf (дата обращения: 22.04.2025).

³ Pew Research Center. (2023). Teens, Social Media and Technology. [Электронный ресурс]. <https://www.pewresearch.org/internet/2023/12/11/teens-social-media-and-technology-2023/> (дата обращения: 22.04.2025).

традиционным культурным нормам⁴. Более 80% образовательных организаций во всем мире активно внедряют цифровые платформы, но лишь 35% из них уделяют внимание вопросам духовно-нравственного развития обучающихся через эти технологии⁵. Это может привести к снижению значимости исторического наследия, размыванию культурных традиций, к потере идентичности личности молодого человека. При этом современные технологии позволяют создавать мультимедийные ресурсы для трансляции культурного наследия, организации виртуального пространства для обсуждения нравственных вопросов. Например, проекты ЮНЕСКО «Информационные технологии для культурного наследия» показали, что использование цифровых инструментов может существенно повысить интерес молодежи к истории и традициям⁶.

Таким образом, актуальность исследования проблемы воспитания традиционных ценностей в цифровой среде обусловлена необходимостью достижения баланса между инновациями и сохранением культурного наследия⁷. Требуются новые подходы к использованию цифровых технологий в образовании, которые позволят эффективно сочетать современные методы обучения с традиционными ценностями [3].

Основной проблемой, рассматриваемой в наших исследованиях, является противоречие между стремлением к широкому внедрению цифровых технологий в образовательный процесс и задачей сохранения и передачи традиционных ценностей подрастающему поколению россиян. Противоречие проявляется на методологическом, педагогическом и культурном уровнях. Несомненно, цифровые технологии являются мощным инструментом: они позволяют создавать интерактивные учебные материалы, организовывать дистанционное обучение и предоставлять доступ к глобальным объемам информации. Однако их использование часто сталкивается с вызовами, связанными с сохранением традиционных ценностей. Это указывает на существующий разрыв между

техническим прогрессом и содержанием воспитательного процесса.

Адаптация традиционных методов воспитания к цифровой среде сталкивается с рядом значительных трудностей.

Многие традиционные методы воспитания – такие, как рассказы о семейных традициях, религиозные праздники или участие в общественной жизни, сложно перенести в цифровую среду без потери их глубины и значимости. Менее 40% образовательных программ используют цифровые технологии для популяризации культурного наследия, что свидетельствует о недостаточной разработке соответствующих методик⁸.

Время, проводимое подростками в Интернете, составляет в среднем более 6 ч в день, причем только 20% этого времени посвящено образовательным или культурным ресурсам.

Цифровая культура часто продвигает такие ценности, как скорость, эффективность, материальный успех, которые могут конфликтовать с традиционными представлениями о добре, красоте и справедливости. Исследования ЮНЕСКО «Цифровая грамотность и культурное наследие» показывают, что молодежь чаще выбирает онлайн-игры и социальные сети вместо участия в культурных мероприятиях или чтения книг⁹.

Дополнительные сложности возникают на педагогическом уровне. Многие педагоги испытывают трудности с использованием цифровых технологий для передачи традиционных ценностей. Только 45% педагогов считают себя компетентными в области использования цифровых инструментов для нравственного воспитания¹⁰. Это приводит к тому, что даже имеющиеся возможности остаются недооцененными или неправильно применяемыми.

Цель исследования: выявить вызовы и возможности воспитания традиционных ценностей в цифровой среде для современного образования.

Материалы и методы

Для анализа проблемы воспитания традиционных ценностей в цифровой среде используются следующие ключевые термины, которые требуют четкого определения и теоретического обоснования.

⁴UNESCO. Cutting Edge | Protecting and preserving cultural diversity in the digital era [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unesco.org/en/articles/cutting-edge-protecting-and-preserving-cultural-diversity-digital-era> (дата обращения: 22.04.2025).

⁵WEF. (2025). The Future of Jobs Report. [Электронный ресурс]. URL: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_Report_2025.pdf (дата обращения: 22.04.2025).

⁶UNESCO. Why Culture and Education? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unesco.org/en/about-culture-education> (дата обращения: 09.02.2025).

⁷Горлова И.И., Зорин А.Л., Гуцалов А.А. Сохранение цифрового наследия в России: методология, опыт, правовые проблемы и перспективы: Монография. М.: Институт Наследия, 2021. 385 с. <https://doi.org/10.34685/IN.2021.44.95.006>.

⁸UNESCO. Why Culture and Education? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unesco.org/en/about-culture-education> (дата обращения: 09.02.2025).

⁹Там же.

¹⁰European Commission. Digital Education Action Plan. [Электронный ресурс]. URL: <https://education.ec.europa.eu/focus-topics/digital-education/action-plan> (дата обращения: 09.02.2025).

Традиционные ценности являют собой совокупность устойчивых норм, принципов и установок, которые передаются из поколения в поколение и формируют основу культурного и социального развития данного общества. В современном мире к традиционным ценностям, как правило, относят такие понятия, как патриотизм, семья, религия, духовность, нравственность, уважение к старшим, трудолюбие, ответственность и толерантность¹¹. При этом в некоторых странах Азии акцентируются коллективизм и уважительное отношение к авторитету, тогда как в западных культурах более значимыми считаются индивидуализм и декларации о личной свободе¹². Это подчеркивает необходимость учета региональных особенностей при разработке стратегий воспитания традиционных ценностей.

Цифровая среда рассматривается нами как комплекс информационных и коммуникационных технологий, обеспечивающих взаимодействие человека, организаций, предприятий и устройств в «виртуальной реальности». Она охватывает Интернет, социальные сети, мобильные приложения, онлайн-платформы и другие цифровые сервисы, которые становятся неотъемлемой частью повседневной жизни. Цифровая среда характеризуется высокой скоростью распространения информации, глобализацией коммуникаций и возможностью мгновенного доступа к различным источникам знаний [4].

Воспитание мы рассматриваем как целенаправленный процесс формирования личности путем передачи ей социального опыта, нравственных принципов, культурных норм и профессиональных компетенций [5]. В современном мире воспитание становится все более сложным явлением, потому что реализуется в условиях взаимодействия семьи, образовательной организации, СМИ и цифровой среды, причем влияние последней доминирует. Более 70% родителей считают, что цифровые технологии оказывают значительное влияние на формирование мировоззрения их детей¹³. При этом только 40% педагогов уверены в своей готовности использовать эти технологии для воспитания традиционных ценностей¹⁴.

Культурное наследие – совокупность материальных и нематериальных объектов, которые передаются

из поколения в поколение и отражают уникальную историю, традиции и ценности конкретного народа. Оно включает в себя язык, литературу, музыку, живопись, архитектуру, обычаи и религиозные практики. Проекты ЮНЕСКО по цифровизации культурных объектов позволяют обеспечить доступ к ним миллионам людей по всему миру. Например, с применением программы «Виртуальное наследие» оцифровано более 500 памятников мирового значения¹⁵. Однако цифровая трансформация культурного наследия сталкивается с рядом проблем. Так, по данным исследования UNESCO, менее 30% образовательных программ используют цифровые технологии для популяризации культурного наследия, что указывает на недостаточную интеграцию этого ресурса в современные образовательные процессы¹⁶.

Существуют различные подходы к пониманию роли традиционных ценностей в современном мире: консервативный подход (поддерживает сохранение традиционных ценностей в их первоначальной форме, считая их основой стабильности общества, и представители этого подхода опасаются того, что цифровизация может привести к их утрате); модернизационный подход (предполагает адаптацию традиционных ценностей к новым условиям цифровой реальности. Сторонники данного подхода считают, что традиционные ценности можно успешно сочетать с инновациями, если правильно выбрать методы их передачи); гибридный подход (объединяет элементы обоих подходов, предлагая использовать цифровые технологии для популяризации традиционных ценностей, но при этом сохраняя их основные принципы. Этот подход получил широкое распространение в международных образовательных программах). Исследование WEF (2022) показывает, что гибридный подход наиболее эффективен в условиях цифровой трансформации, поскольку он позволяет гармонично сочетать традиционные и современные методы воспитания^{17, 18}.

Методологическая основа исследования строится на использовании двух ключевых подходов: системно-деятельностного и культурологического.

¹¹ UNESCO. Why Culture and Education? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unesco.org/en/about-culture-education> (дата обращения: 09.02.2025).

¹² Там же.

¹³ European Commission. Digital Education Action Plan. [Электронный ресурс]. URL: <https://education.ec.europa.eu/focus-topics/digital-education/action-plan> (дата обращения: 09.02.2025).

¹⁴ Там же.

¹⁵ UNESCO. 2023 education highlights: Keeping up the momentum to transform learning. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unesco.org/en/articles/2023-education-highlights-keeping-momentum-transform-learning> (дата обращения: 22.04.2025).

¹⁶ Там же.

¹⁷ WEF. (2025). The Future of Jobs Report. [Электронный ресурс]. URL: https://reports.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_Report_2025.pdf (дата обращения: 22.04.2025).

¹⁸ WEF. Global Shapers Community Annual Report 2023-2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.weforum.org/publications/global-shapers-community-annual-report-2023-2024> (дата обращения: 22.04.2025).

Системно-деятельностный подход позволяет рассмотреть процессы воспитания традиционных ценностей в цифровой среде как сложную систему, где взаимодействуют различные компоненты: субъекты (учащиеся, педагоги, родители), объекты (цифровые технологии, образовательные программы) и условия (социально-культурная среда, доступность технологий). Этот подход был разработан в рамках теории деятельности Л.С. Выготского и А.Н. Леонтьева и широко применяется в современных исследованиях образования.

Применение системно-деятельностного подхода помогает выявить следующие аспекты: как цифровые технологии интегрируются в процесс воспитания традиционных ценностей; как меняется восприятие традиционных ценностей под влиянием цифровой среды; какую роль играют педагоги, обучающиеся и родители в формировании нравственных установок через цифровые каналы. Использование данного подхода позволяет создать комплексное представление о том, как цифровая среда влияет на формирование личности и какие механизмы необходимо задействовать для эффективного воспитания традиционных ценностей.

Культурологический подход фокусируется на изучении влияния цифровых технологий на культурное развитие личности. Этот подход основан на работах таких ученых, как Ю.М. Лотман, М. Бахтин и П. Бурдьё, которые рассматривали культуру как систему символов, смыслов и практик, передаваемых из поколения в поколение. Применение культурологического подхода в исследовании позволяет: определить, как цифровая среда трансформирует культурные нормы и традиции; выявить способы сохранения культурного наследия через цифровые платформы; проанализировать противоречия между глобальными цифровыми трендами и локальными культурными особенностями. Этот подход особенно актуален в контексте многонационального общества – такого, как Россия, где существует необходимость гармонизации различных культурных традиций в условиях цифровой трансформации.

Для реализации поставленных задач использовались как количественные, так и качественные методы исследований.

Количественные методы позволили получить статистически значимые данные о восприятии традиционных ценностей в цифровой среде. Было проведено анкетирование в Московской области среди 300 обучающихся старших классов школ и студентов СПО, а также 50 педагогов. Анкеты содержали вопросы: об уровне использования цифровых технологий в образовательном процессе; о восприятии традиционных ценностей через цифровые каналы; об эффективности цифровых инструментов для передачи культурного

наследия. Результаты анкетирования показали, что более 73% обучающихся считают важным использование цифровых технологий для изучения культуры, однако лишь 42% из них отмечают достаточную эффективность в воспитании традиционных ценностей.

Качественные методы позволили более глубоко понять особенности воспитательного процесса в цифровой среде. Проведено длительное наблюдение за поведением обучающихся в социальных сетях, на образовательных платформах и в других цифровых пространствах. Это помогло выявить формы взаимодействия с культурными материалами, предпочтения в выборе контента и уровень критического мышления при восприятии информации.

Проведены полуструктурированные интервью с 20 экспертами в области педагогики, культурологии и информационных технологий. Интервью фокусировались на следующих вопросах: Какие цифровые технологии наиболее эффективны для воспитания традиционных ценностей? Какие вызовы возникают при внедрении этих технологий? Какие стратегии могут помочь преодолеть эти вызовы? Эксперты отметили, что ключевым фактором успеха является интеграция цифровых технологий с традиционными методами воспитания, а также необходимость создания специализированных программ для подготовки педагогов.

Результаты и их обсуждение

Технологии могут служить как средством укрепления, так и инструментом разрушения традиционных ценностей. Этот подход получил развитие в исследованиях таких авторов, как Маршалл Маклюэн (M. McLuhan) и Юрген Хабермас (J. Habermas). Маклюэн акцентировал внимание на том, что медиа не просто передают информацию, но и изменяют способ восприятия реальности, и это может привести к переоценке традиционных ценностей¹⁹. Хабермас в свою очередь подчеркивал важность коммуникативного действия для сохранения социальной идентичности, предупреждая о рисках замены живого общения виртуальными коммуникациями²⁰.

Анализ научной литературы позволил выделить несколько теоретических концепций, которые помогают понять влияние цифровой среды на культурные и социальные нормы.

Концепция цифрового натурализма разработана Пьером Леви (P. Lévy). Она предполагает, что цифровые технологии становятся естественной частью

¹⁹ McLuhan E. The Genesis of Laws of Media. The Antigonish Review. 1988. V. 5, № 74. Pp. 201-202.

²⁰ Хабермас Ю. Теория коммуникативного действия // Вестник Московского университета. Серия 7 «Философия». 1993. № 4.

жизни человека, формируя новые способы восприятия мира [6]. Согласно этой теории цифровая среда способна как укреплять традиционные ценности, так и модифицировать их, адаптируя к современным условиям. Например, использование интерактивных платформ для обучения истории и культуре может повысить интерес молодежи к традиционным ценностям, делая их более доступными и привлекательными. Однако цифровой натурализм создает риск потери глубины восприятия. Более 70% пользователей предпочитают получать информацию через короткие видеоролики и мемы, что ограничивает возможность глубокого погружения в культурные и исторические контексты²¹.

Концепция цифрового индивидуализма констатирует, что цифровые технологии способствуют формированию личностной идентичности, основанной на индивидуальных предпочтениях и интересах. Этот подход был подробно рассмотрен в работах Мануэля Кастельса (M. Castells). Он отмечал, что цифровая среда предоставляет уникальные возможности для самовыражения, но одновременно уменьшает значимость коллективных ценностей²². Цифровой индивидуализм может как способствовать их распространению (через персонализированные образовательные программы), так и препятствовать этому процессу (путем усиления эгоцентрического мышления). 45% молодых людей выбирают онлайн-контент, соответствующий их личным интересам, игнорируя материалы о культурном наследии²³.

Концепция цифровой грамотности представляет способность человека эффективно использовать цифровые технологии для решения различных задач включая сохранение и передачу культурных ценностей. Генри Дженкинс (H. Jenkins)²⁴ и Мишель де Серто (M. de Certeau)²⁵ подчеркивают, что цифровая грамотность является ключевым фактором успешного взаимодействия с культурным наследием в цифровой среде. Молодые люди с высоким уровнем цифровой

грамотности чаще используют цифровые платформы для изучения истории и традиций своих народов. Использование виртуальных музеев и интерактивных экскурсий значительно повышает интерес молодежи к культурному наследию. По данным проекта ЮНЕСКО, участие в таких программах увеличивает осведомленность о традиционных ценностях на 40%.

Российские ученые подчеркивают, что цифровизация может как способствовать сохранению культурного наследия, так и привести к его деградации [7]. Отмечается, что ключевым фактором становится правильная организация образовательного процесса, которая обязана учитывать специфику исторических традиций российской культуры.

Более 70% россиян считают важным сохранение традиционных ценностей в условиях цифровизации, однако лишь 40% уверены, что современные образовательные программы успешно справляются с этой задачей [8]. Это указывает на необходимость разработки новых подходов к использованию цифровых технологий в воспитании.

Около 60% российских школ используют цифровые платформы для изучения истории и культуры, однако эффективность этих программ часто ограничивается недостатком качественного контента и профессиональной подготовки педагогов²⁶.

Профессором А.Н. Андреевым был предложен ценностно-ориентированный подход, который фокусируется на том, как цифровые технологии могут быть использованы для формирования нравственных и духовных ценностей у молодежи [9]. Автор обращает внимание на то, что цифровая среда не только настраивается на передачу информации, но и должна способствовать развитию личностных качеств – таких, как ответственность, честность и уважение к старшим. При этом менее 30% образовательных программ включают в себя модули по цифровой этике и нравственному воспитанию, что создает риск формирования личности обучающихся без учета традиционных ценностей.

Группой исследователей под руководством Д.Б. Богоявленской был разработан социально-педагогический подход, который рассматривает воспитание традиционных ценностей в цифровой среде через призму социализации личности²⁷. Концепция

²¹ UNESCO. Why Culture and Education? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unesco.org/en/about-culture-education> (дата обращения: 09.02.2025).

²² Castells M. (2001). The Internet galaxy: reflections on the Internet, business, and society. [Электронный ресурс]. URL: <https://archive.org/details/internetgalaxyre0000cast> (дата обращения: 09.02.2025).

²³ European Commission. Digital Education Action Plan. [Электронный ресурс]. URL: <https://education.ec.europa.eu/focus-topics/digital-education/action-plan> (дата обращения: 09.02.2025).

²⁴ Jenkins H. Convergence Culture: Where Old and New Media Collide. New York: NYU Press, 2006. 320 p.

²⁵ Мишель де Серто. Общее место: обыденный язык // Неприкосновенный запас. Дебаты о политике и культуре. 2007. № 4 (54).

²⁶ ВЦИОМ. (2023). Традиции в эпоху перемен. [Электронный ресурс]. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/tradicii-v-ehpokhu-peremen?ysclid=m6xi75pc2j189712738> (дата обращения: 09.02.2025).

²⁷ Представления о патриотизме и гражданская идентичность российской студенческой молодежи в различных социально-исторических контекстах. [Электронный ресурс]. URL: <https://scr.hse.ru/announcements/802529904.html?ysclid=m6xicrviwn219424822> (дата обращения: 09.02.2025).

предусматривает, что для обеспечения комплексного развития ребенка цифровые технологии должны быть интегрированы в систему семейного и школьного воспитания. Исследования Российской академии образования (РАО) показывают, что семьи, активно использующие цифровые технологии для совместного общения и изучения культурного наследия, демонстрируют более высокий уровень передачи традиционных ценностей детям.

В ходе исследований были выявлены основные вызовы, с которыми сталкивается процесс воспитания традиционных ценностей в условиях цифровой среды. Это три основные категории: замена реальных человеческих контактов виртуальными коммуникациями, снижение внимания к духовно-нравственным аспектам жизни и распространение потребительских ценностей через сферу медиа.

Замена реальных человеческих контактов виртуальными коммуникациями. Цифровая среда активно способствует развитию виртуальных форм общения, что приводит к уменьшению числа реальных человеческих контактов. Это явление особенно заметно среди молодежи, которая проводит значительную часть времени в социальных сетях, мессенджерах и онлайн-играх. По нашим данным, более 55% подростков от 13 до 18 лет признают, что предпочитают виртуальное общение реальному. Такое поведение создает серьезные проблемы для воспитания традиционных ценностей, поскольку многие из них (например, уважение к старшим, эмпатия, чувство коллективизма) формируются именно в процессе живого взаимодействия. Исследование показывает, что дети, которые реже общаются с родителями и сверстниками в реальности, демонстрируют более низкий уровень развития социально-эмоциональных навыков – таких, как способность к сопереживанию и сотрудничеству.

Другим значительным вызовом является *снижение внимания к духовно-нравственным аспектам жизни под влиянием цифровых технологий*. Цифровая среда часто акцентирует внимание на практических и материальных сторонах существования, оставляя мало места для размышлений о высших ценностях – таких, как «смысл именно моей жизни», справедливость и ответственность перед обществом. Менее 25% молодых людей регулярно интересуются философскими или религиозными вопросами через цифровые каналы. При этом более 85% времени, проведенного в Интернете, приходится на развлекательный контент (видеоигры, музыка и короткие видеоролики). Это приводит к поверхностному восприятию информации и уменьшению глубины мышления, что затрудняет формирование прочных нравственных установок. Результаты анкетирования показали: около 43%

опрошенных обучающихся отметили, что они считают духовно-нравственные вопросы менее важными, чем профессиональные или материальные аспекты жизни.

Одним из наиболее опасных явлений в цифровой среде является широкое *распространение потребительских ценностей через различные медиаканалы*. Социальные сети, реклама и онлайн-платформы часто продвигают идеи успеха, богатства и внешней привлекательности, что может противоречить традиционным ценностям – таким, как трудолюбие, скромность и альтруизм. Более 74% молодых людей считают рекламу и социальные сети важными источниками информации о том, как «правильно» жить. Такое воздействие создает риск формирования личности, ориентированной исключительно на материальное благополучие и социальный статус, что может привести к утрате традиционных моральных принципов. Интервью с экспертами показало, что только 25% образовательных программ в России успешно противостоят влиянию потребительских ценностей, предлагая обучающимся альтернативные мировоззренческие модели.

Совокупное влияние перечисленных вызовов оказывает значимое воздействие на формирование ценностных ориентиров у молодежи. В результате: уменьшение числа реальных контактов и усиление индивидуализма приводят к снижению значимости таких ценностей, как дружба, взаимопомощь и коллективная ответственность; ограниченное внимание к духовно-нравственным аспектам жизни делает молодежь менее восприимчивой к сложным концепциям – таким, как патриотизм, толерантность и историческая память; под воздействием сферы медиа молодые люди все чаще ориентируются на достижение материального успеха, игнорируя важность внутренних качеств и нравственных принципов.

Разную степень эффективности в воспитании традиционных ценностей демонстрируют различные цифровые инструменты.

Наиболее популярными среди молодежи оказались визуальные материалы – такие, как видеофильмы и анимации. Согласно данным 2024 г. около 81% обучающихся предпочитают получать информацию через мультимедийные каналы.

Высокую эффективность в развитии критического мышления и способности к диалогу показали онлайн-форумы и дискуссионные группы. Активное участие в таких дискуссиях повышает уровень эмпатии у молодых людей, по их собственному мнению, на 30%.

Для погружения пользователей в исторические события или культурные практики особенно эффективны игровые механики и VR-приложения. Использование интерактивных технологий в образовательном

процессе, по данным наших исследований, приводит к росту вовлеченности студентов колледжей на 50% по сравнению с традиционными методами.

Необходимость учета региональных особенностей несколько ограничивала возможности наших исследований. Различия в культурных традициях между регионами России могут влиять на восприятие цифровых технологий и их эффективность в воспитании традиционных ценностей. Кроме того, по данным Росстат (2023 г.), уровень проникновения Интернета в сельской местности составляет всего 60% против 95% его в крупных городах. Это создает необходимость адаптации программ к условиям конкретных территорий.

Важным фактором также является возрастная специфика. Подростки и молодежь более склонны к использованию цифровых технологий, чем дети младшего возраста или взрослые. Исследование РАО и Министерства образования РФ показывает, что эффективность цифровых инструментов для воспитания традиционных ценностей выше среди учащихся старших классов, чем среди младшеклассников.

Быстрый темп развития цифровых технологий – еще один фактор, ограничивающий возможности нашего исследования. Многие современные цифровые инструменты могут стать устаревшими уже через несколько лет. Это требует постоянного обновления образовательных программ и методик.

Предложения по дальнейшему развитию темы. Важно исследовать потенциал искусственного интеллекта (AI) и дополненной реальности (AR) для воспитания традиционных ценностей. Например, AI может быть использован для создания персонализированных учебных материалов, учитывающих индивидуальные особенности обучающихся. В создании интерактивных экскурсий по историческим местам могут помочь AR-приложения, делая эти экскурсии более доступными и привлекательными.

Требуется проведение лонгитюдных исследований для оценки долгосрочной эффективности цифровых технологий в воспитании традиционных ценностей. По данным UNESCO, такие исследования проводятся крайне редко, что затрудняет оценку реального воздействия цифровых инструментов на формирование личности²⁸.

Целесообразно провести в разных странах сравнительный анализ подходов к воспитанию традиционных

ценностей. Это поможет выявить универсальные методы и адаптировать их к российским условиям.

Профессиональной подготовке педагогов для работы с цифровыми технологиями следует уделить особое внимание. Исследования показывают, что менее 40% педагогов чувствуют себя вполне компетентными в этой области.

Таким образом, можно утверждать, что выдвинутая нами гипотеза подтвердилась. Цифровая среда может выступать как фактором риска для традиционных ценностей, так и инструментом их укрепления, при условии целенаправленного использования цифровых технологий в образовательном процессе и интеграции традиционных методов воспитания.

Выводы

Выявлены угрожающие деградацией традиционных ценностей среди молодежи вызовы, предъявляемые к процессу воспитания в цифровой среде: снижение внимания к духовно-нравственным аспектам, замещение реального общения виртуальными коммуникациями, распространение потребительских установок в медиaprостранстве.

Цифровые технологии открывают возможности для сохранения культурного наследия. Воспитательный процесс делают более доступным и вовлекающим виртуальные площадки, мультимедийные ресурсы и интерактивные инструменты (виртуальные экскурсии, AI-адаптированные программы и др.). Они повышают интерес молодежи к традиционным ценностям на 30-50%. Важно, чтобы цифровые инструменты воспитания дополняли традиционные, сохраняя живое взаимодействие педагогов и обучающихся.

Персонализация контента способствует укреплению ценностей, если сделана с учетом возрастных и культурных особенностей, а также направлена на развитие критического мышления через онлайн-дискуссию.

Сформулирован ряд рекомендаций: педагогам – развивать цифровые компетенции, создавать интерактивные материалы с элементами культуры и истории (видео, VR-экскурсии); разработчикам – интегрировать региональные культурные особенности в программы и механизмы обратной связи для их корректировки; родителям – совместно использовать образовательные ресурсы (документальные фильмы, виртуальные музеи) и контролировать цифровое потребление их детьми.

Показано, что цифровая среда выступает двусторонним феноменом: создает риски для традиционных ценностей и предоставляет инструменты для их укрепления при условии грамотного использования технологий в образовательном процессе.

²⁸ UNESCO. Cutting Edge | Protecting and preserving cultural diversity in the digital era. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unesco.org/en/articles/cutting-edge-protecting-and-preserving-cultural-diversity-digital-era> (дата обращения: 22.04.2025).

Список источников

1. Стрелец И.Э., Мухортгов Д.С., Маркова Ю.С. Отстраивание семейных ценностей и норм в студенческой среде как залог предотвращения аксиологического кризиса в обществе // Социальные и гуманитарные знания. 2024. Т. 10, № 2. С. 164-175. EDN: RBPXRO
2. Рыжаков М.В. Вечный приоритет государства // Научные исследования и разработки. Социально-гуманитарные исследования и технологии. 2024. Т. 13, № 1. С. 3-12. <https://doi.org/10.12737/2306-1731-2024-13-1-3-12>
3. Яковлева О.В. Модель ценностей цифровой образовательной среды как ориентир профессионального воспитания будущих учителей // Педагогика. Вопросы теории и практики. 2023. Т. 8, № 5. С. 561-568. <https://doi.org/10.30853/ped20230082>
4. Шишов С.Е., Кальней В.А., Ряхимова Е.Г. Оптимизация иммерсивного смешанного обучения как основное направление развития «Педагогики 4.0» // Научные исследования и разработки. Социально-гуманитарные исследования и технологии. 2023. Т. 12, № 1. С. 4-12. <https://doi.org/10.12737/2306-1731-2023-12-1-4-12>
5. Ромм Т.А., Ромм М.В. Воспитание в цифровую эпоху // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия «Акмеология образования. Психология развития». 2021. Т. 10, № 4 (40). С. 360-366. <https://doi.org/10.18500/2304-9790-2021-10-4-360-366>
6. Lollini M., Farley A., Levy P. Collective intelligence, the future of Internet and the IEML. *Semantic Metadata, Humanist Computing, and Digital Humanities*. 2019;6(1):5-31. <https://doi.org/10.5399/uo/hsda.6.1.2>
7. Бардакова Е.А. Влияние цифровой образовательной среды на трансформацию образования // Современное состояние и приоритетные направления развития аграрной экономики и образования: Материалы Международной научно-практической конференции, пос. Персиановский, 2020. С. 8-14. EDN: HVEGIY
8. Каминский В.А., Евсеенко М.В. Духовное воспитание в условиях цифровой среды // Новая наука: проблемы и перспективы. 2024. № 11. С. 188-195. EDN: IDTIOL
9. Андреев А.Н. Идеология как феномен культуры и как цивилизационный потенциал России // Научные исследования и разработки. Социально-гуманитарные исследования и технологии. 2024. Т. 13, № 1. С. 13-23. <https://doi.org/10.12737/2306-1731-2024-13-1-13-23>

Информация об авторах

- Шишов Сергей Евгеньевич**, д-р пед. наук, профессор, заведующий кафедрой педагогики и психологии профессионального образования, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского; 109004, г. Москва, Земляной Вал, 73; seshishov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8742-9082>; SPIN-код: 7524-5510, AuthorID: 482382
- Кальней Валентина Алексеевна**, д-р пед. наук, заведующий кафедрой педагогики и психологии, Российская международная академия туризма; 141420, Московская область, г. Химки, мкр-он Сходня, ул. Горького, 7; v-kalney@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0423-2023>; SPIN-код: 8541-1990, AuthorID: 336142

References

1. Strelets I.E., Mukhortov D.S., Markova Yu.S. Fostering family values and norms among students as a prerequisite for preventing an axiological crisis in society. *Social'nye i Gumanitarnye Znania*. 2024;10(2):164-175. (In Russ.)
2. Ryzhakov M.V. The eternal priority of the state. *Scientific research and development. Socio-Humanitarian Research and Technology*. 2024;1:3-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.12737/2306-1731-2024-13-1-3-12>
3. Yakovleva O.V. The model of values of the digital educational environment as a guideline for the professional education of future teachers. *Pedagogy. Theory & Practice*. 2023;8(5):561-568. (In Russ.)
4. Shishov S.E., Kal'ney V.A., Ryahimova E.G. Optimization of Immersive Blended Learning as the Main Direction of Development of "Education 4.0". *Scientific Research and Development. Socio-Humanitarian Research and Technology*. 2023;1:4-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.12737/2306-1731-2023-12-1-4-12>
5. Romm T.A. Teaching personal development in the digital age. *Izvestiya of Saratov University. Educational Acmeology. Developmental Psychology*. 2021;10(4):360-366. (In Russ.) <https://doi.org/10.18500/2304-9790-2021-10-4-360-366>
6. Lollini M., Farley A., Levy P. Collective intelligence, the future of Internet and the IEML. *Semantic Metadata, Humanist Computing, and Digital Humanities*. 2019;6(1):5-31. <https://doi.org/10.5399/uo/hsda.6.1.2>
7. Bardakova E.A. Influence of the digital educational environment on the transformation of education. In: *Sovremennoe sostoyanie i prioritetye napravleniya razvitiya agrarnoy ekonomiki i obrazovaniya*: Proceedings of the International scientific and practical conference. Persianovsky, 2020. Pp. 8-14. (In Russ.)
8. Kaminsky V.A., Evseenko M.V. Spiritual education in a digital environment. *Novaya Nauka: Problemy i Perspektivy*. 2024;11:188-195. (In Russ.)
9. Andreev A.N. Ideology as a phenomenon of culture and as a civilizational potential of Russia. *Scientific Research and Development. Socio-Humanitarian Research and Technology*. 2024;1:13-23. (In Russ.) <https://doi.org/10.12737/2306-1731-2024-13-1-13-23>

Author Information

- Sergey E. Shishov**, DSc (Ed), Professor, Head of the Department of Pedagogy and Psychology of Professional Education, Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky; 109004, Russia, Moscow, Zemlyanoy Val Str., 73; seshishov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8742-9082>
- Valentina A. Kalnei**, DSc (Ed), Head of the Department of Pedagogy and Psychology, Russian International Academy for Tourism; Russia, 141420, Moscow region, Khimki, Skhodnya district, Gorky Str., 7; v-kalney@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0423-2023>

Статья поступила 28.04.2025, после рецензирования и доработки 24.06.2025; принята к публикации 25.06.2025

Received 28.04.2025; Revised 24.06.2025; Accepted 25.06.2025

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 37.014

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-94-100>

Портрет молодого человека: профессиональные предпочтения и готовность к реализации жизненных планов на селе

И.А. Мамаева¹, Т.М. Василькова², Ю.В. Савин³^{1,2,3} Костромская государственная сельскохозяйственная академия; Костромская область, п. Караваяево, Россия¹ irina.mamaeva@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9416-0977>² wtab@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6496-8895>³ jvs54@mail.ru

Аннотация. Современное состояние сельских территорий характеризуется оттоком молодых людей, которые, вероятно, считают, что не могут реализовать свои жизненные планы в сельской местности. Работ, исследующих профессиональные предпочтения молодежи при реализации жизненных планов на сельской территории, недостаточно. Эта проблема предопределила цель исследований: изучение представления молодых людей о своих профессиональных предпочтениях в области реализации жизненных планов на селе, выявление готовности молодежи трудиться на селе и определение способствующих этому факторов. Основанием для исследований стали материалы проведенного анкетирования 2535 школьников и студентов Костромской области. Анализ литературы показал, что современные исследователи при составлении портрета молодого человека уделяют внимание тому, что является ценностью для молодежи, определению социального портрета и портрета молодого человека, вовлеченного в предпринимательскую деятельность, определяют стереотипы молодежи о жизни на селе и т.п. Исследования показали, что 52,2% респондентов представляют жизнь на селе в общих чертах, тем не менее 38% готовы переехать в сельскую местность, чтобы начать собственное дело. Наиболее интересными профессиональными направлениями деятельности на селе молодежь региона считает животноводство, строительство и архитектуру, торговлю и оказание других услуг. 63,9% респондентов указали, что сегодня молодой человек может реализовать жизненные планы на селе, и он готов работать в сферах производства сельскохозяйственной продукции (39,0%), образования (19,6%), административного управления (15,7%), обслуживания (13,7%), в IT-сфере (12,1%). Факторы, которые могут способствовать этому, – «Жизнь в экологически чистом месте», «Работа с приличной зарплатой», «Возможность быстро получить жилье в сельской местности». Результаты исследований могут быть использованы в работе с молодежью региона.

Ключевые слова: молодежь; профессиональные предпочтения; Костромская область; анкетирование; портрет молодого человека

Для цитирования: Мамаева И.А., Василькова Т.М., Савин Ю.В. Портрет молодого человека: профессиональные предпочтения и готовность к реализации жизненных планов на селе // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 4. С. 94-100. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-94-100>

ORIGINAL ARTICLE

Portrait of a young person: professional preferences and readiness to implement life plans in rural areas

I.A. Mamaeva¹, T.M. Vasilkova², Y.V. Savin³^{1,2,3} Kostroma State Agricultural Academy; Kostroma region, Karavaevo, Russia¹ irina.mamaeva@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9416-0977>² wtab@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6496-8895>³ jvs54@mail.ru

Abstract. The current situation in rural areas has been witnessing the youth outflow. Young people probably do not see opportunities to implement their life plans in rural areas. There is little research into young people's professional preferences in the field of implementing their life plans in rural areas. This problem predetermined the research purpose: to study the ideas of young people about their professional preferences in the field of implementing life plans in rural areas and to identify the readiness of young people to work in rural areas and to determine the factors that contribute to this. The research bases on the materials of the survey of 2,535 schoolchildren and students

of the Kostroma region. The literature review has shown that modern researchers, when compiling a portrait of a young person, pay attention to the values of youth, determine the social portrait of young people involved in entrepreneurial activity, determine the stereotypes of young people about life in rural areas, etc. The research showed that 52.2% of respondents have a general idea of life in rural areas; however, 38% are ready to move to rural areas to start their own business. Young people in the region consider livestock breeding, construction and architecture, trade to be the most interesting professional areas. 63.9% of respondents indicated that today a young person can implement life plans in rural areas and is ready to work in the spheres of agricultural production (39.0%), education (19.6%), administration (15.7%), service sector (13.7%), and IT-sector (12.1%). Their motivating factors can be seen in the statements like these – “living in an environmentally clean place”, “a job with a decent salary”, “an opportunity to quickly get housing in rural areas”. The study results are applicable to career guidance activities involving young people in the region.

Keywords: youth; professional preferences; Kostroma region; questionnaire survey; portrait of a young person

For citation: Mamaeva I.A., Vasilkova T.M., Savin Y.V. Portrait of a young person: professional preferences and readiness to implement life plans in rural areas. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(4):94-100 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-4-94-100>

Введение

Население сельских территорий Костромской области с 2000 по 2024 гг. уменьшилось на 110,4 тыс. чел., или на 43,3%, при этом на 45,3% за тот же период сократилось число сельской молодежи. Сельская молодежь в возрасте от 14 до 35 лет на 1 января 2024 г. составляла лишь 25401 чел., или 17,6% от численности сельского населения и 4,5% от всего населения Костромской области¹. Причина миграционного оттока, как показало предварительное интервьюирование 28 молодых людей в возрасте 17-22 лет, получающих аграрное образование в Костромской ГСХА, – это непопулярность среди молодежи работы на селе и сельского образа жизни, ограниченность сферы приложения труда в сельской местности. Молодежь не знает о методах генерации предпринимательских идей и способах их реализации, которые могли бы помочь реализовать планы на селе, не знает о примерах успешной реализации проектов на селе (интервьюируемые приводили только отрицательные примеры, когда речь шла о проектах, реализуемых на селе, и утверждали, что это является основной причиной оттока молодых людей из сельских территорий). Подобные и другие мотивы оттока молодежи из сельской местности нашли отражение в работах О.Н. Калачиковой, А.П. Будилова, Н.Н. Пушкаревой и Г.А. Гурова [1, 2]. Выявленная проблема, заключающаяся в том, что молодежь не видит возможностей реализовать свои жизненные планы на сельских территориях, указала на необходимость более детального изучения портрета молодых людей с точки зрения их профессиональных

предпочтений и готовности проявить их на сельской территории. Очевидно, что получить представление об этом можно, если составить портрет молодого человека через погружение его в самоанализ выделенных личностных характеристик.

Анализ литературы показал, что в рамках первого направления современные исследователи при составлении портрета молодого человека уделяют внимание определению ценностей молодежи, поскольку, с одной стороны, «...формирование ценностного мира российской молодежи является одной из ключевых задач органов управления различных уровней, решение которой способствует устойчивому развитию государства» [3]. С другой стороны, решение трудных для молодежи задач самоопределения, формирования ценностей может помочь определить условия для поддержки и помощи молодым людям в их жизненном становлении и социализации [4]. Наиболее полная картина ценностей современных молодых людей в России представлена в работе Р.А. Жукова, С.В. Прокопчиной и И.В. Бормотова «Профессиональные ценности молодых людей опираются на рационализм в профессиональной деятельности» [3].

Ко второму направлению исследований могут быть отнесены работы, определяющие социологический портрет молодого человека. В качестве исследуемых параметров выбираются: социально-демографические показатели [5]; факторы, определяющие установку молодого человека на обучение, и их влияние на его профессиональный облик [6]; факторы, составляющие социально-психологический портрет современной молодежи с учетом личностных особенностей молодого человека, отношения его к окружающей действительности, особенностей его мышления, стиля жизни и системы ценностей [7]; динамика демографических и социально-экономических

¹ Официальный сайт Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Костромской области. [Электронный ресурс] // Демография://44.rosstat.gov.ru/folder/180005 (дата обращения: 11.05.2024).

показателей положения молодежи региона, отраженная в статистической информации².

Вместе с тем отметим, что за последнее десятилетие появились работы, нацеленные на исследование социального портрета молодого человека, вовлеченного в предпринимательскую деятельность или имеющего потенциал для реализации своих жизненных целей в ней. В этих работах представлены исследование качеств, необходимых молодым предпринимателям для достижения своих целей [8], сравнительный анализ социального портрета потенциального предпринимателя и молодых людей, которые ориентируются «на стабильность в своем трудовом поведении» [9], эмпирически исследуется социальный портрет предпринимателя в оценках молодежи [10] и т.п.

Если рассматривать портрет молодого человека с точки зрения реализации его жизненных целей на сельских территориях, то необходимо отметить работы Н.Н. Пушкаревой и Г.А. Гурова [2], Р.У. Гусманова, Е.В. Стомба, А.В. Стомба [11], Т.А. Артамоновой [12] и др. В работе [2] отражено исследование стереотипов представления молодежи о жизни на селе, показаны возможные пути привлечения ее в сельскую местность, анализируются изменения, произошедшие в последнее время на сельских территориях, предлагается признать существующие проблемы, осветить их решение для молодежи, поработать со стереотипами и создать привлекательную картину сельской жизни.

Если учесть, что современная молодежь сегодня рассматривается как стратегический ресурс развития сельских территорий регионов [11], то можно сделать вывод о том, что самоопределение молодежи в отношении профессиональных предпочтений может играть важную роль в понимании возможностей развития региона с привлечением ее к реализации жизненных планов в сельских территориях. Это указывает на актуальность настоящих исследований.

Необходимо отметить еще один подход, демонстрирующий целесообразность учета региональных особенностей при поиске ответа на вопрос, готова ли молодежь строить карьеру в своем регионе. Примером такого исследования может стать работа Т.А. Артамоновой [12].

Как видим, работ, отвечающих на вопросы о профессиональных предпочтениях молодых людей и их готовности реализовывать свои планы на сельских территориях, недостаточно.

² Меркулов П.А., Алексеенко А.А., Леонова О.В., Михалев И.В. Социологический портрет молодежи региона: Информационный бюллетень социологической лаборатории: Монография. Орел: Среднерусский институт управления – филиал РАНХиГС, 2022. 160 с. EDN: CJCXUX.

Цель исследований: изучить представление молодых людей Костромской области о профессиональных предпочтениях и об интересах в реализации своих жизненных целей на селе, выявить готовность трудиться и развиваться на селе, определить способствующие этому факторы.

Материалы и методы

Материалом для исследований послужили результаты анкетирования, проведенного в мае-ноябре 2023 г. в рамках реализации проекта «Молодежный фестиваль „Село: перезагрузка“» [13]. Анкетирование проводили на региональном уровне среди молодежи Костромской области с применением специально подготовленной анкеты «Портрет молодого человека Костромской области». Анкету разместили на бесплатном облачном сервисе Google, формы и ссылку на анкету разослали по школам области. Помощь в рассылке оказал Департамент образования и науки Костромской области.

Онлайн-формат позволил вовлечь в анкетирование большое количество респондентов от 16 до 25 лет и обеспечил репрезентативность выборки, учитывающей и отражающей особенности мнений целевой аудитории. Количество выпускников в области, по результатам сдачи ЕГЭ, составило около 3000 чел. В число респондентов были включены школьники невыпускных классов, а также будущие потенциальные аграрии – студенты младших курсов очного обучения в Костромской ГСХА. При определении количества репрезентативных ответов при известном объеме генеральной совокупности около 25400 чел. и закладываемых 99% надежности и допустимой погрешности в размере 3% по законам статистики было рассчитано, что для обеспечения достоверности выводов и результатов опроса необходимо опросить не менее 1724 чел. Предполагалось, что в анкетировании примут участие 25% школьников и студентов Костромской области. Фактически на вопросы анкеты «Портрет молодого человека Костромской области» ответили 2535 респондентов, что позволяет говорить о достоверности полученных результатов и достаточно масштабном исследовании.

Содержание анкеты разработали авторы данной статьи. Метод разработки содержания анкеты опирался на идею включения на паритетных началах вопросов, затрагивающих профессиональные предпочтения (с точки зрения профессионального самоопределения) и личные интересы в сфере жизни и труда на селе. С целью соблюдения принципа свободы выражения своих интересов и предпочтений анкета была анонимной. С целью создания условий для самоанализа и проявления своих предпочтений респонденту предлагались вопросы, отражающие субъектную позицию. Вопросы анкеты по форме были не только одновариантными

дихотомическими и альтернативными с одним выбором, но и многовариантными – с множественным выбором ответов, включающим в себя и свободный ответ. Содержались также вопросы, требующие ранжировать позиции на основе своих представлений. Результаты анкетирования позволили авторам определить профессиональные предпочтения молодых людей Костромской области и их готовность к реализации жизненных планов на сельских территориях.

Результаты и их обсуждение

На вопросы анкеты «Портрет молодого человека Костромской области» ответили 2535 студентов и школьников из 21 района этой области включая Антроповский, Буйский, Вохомский, Галичский, Кадынский, Кологривский, Костромской, Красносельский, Макарьевский, Мантуровский, Меженский, Нейский, Нерехтский, Октябрьский, Парфеньевский, Пыщугский, Солигаличский, Судиславский, Сусанинский, Чухломской и Шарынский.

Респондентами в большинстве стали молодые люди в возрасте от 16 до 17 лет (36,1%), 18-19 лет (37,0%) и 20-21 года (18,9%). Остальные – молодые люди от 22 до 25 лет.

Наиболее значимыми, по мнению авторов, позволяющими достигнуть цели исследований, были следующие вопросы:

1. Есть ли у тебя представление о сельской жизни? (Один вариант ответа.)

2. Если ты проживаешь в городе, готов ли ты переехать в сельскую местность, чтобы начать свое собственное дело? (Один вариант ответа.)

3. О каком направлении деятельности на селе тебе было бы интересно узнать: «Животноводство», «Пчеловодство», «Растениеводство», «Механизация в сельском хозяйстве», «Электроэнергетика», «Строительство», «Торговля» или другие услуги? (Можно выбрать три варианта ответа.)

4. Как ты считаешь, сможет ли цифровизация сельского хозяйства изменить жизнь на селе? (Один вариант ответа.)

5. Что могло бы тебя привести к решению жить в сельской местности: «Жить в чистой экологии»; «Фермерство»; «Работа на селе с приличной зарплатой», «Возможность быстро получить жилье в сельской местности, если ты профильный специалист», «Другое» (запиши свой ответ)? (Один вариант ответа.)

6. Что, ты считаешь, важно иметь в сельской местности: Интернет, кабельное (спутниковое) ТВ, молодежный клуб, библиотеку, фельдшерский (медицинский) пункт, близкое расположение трассы для поездок в областной, районный центры, магазины продовольственных товаров и промтоваров, кинотеатр,

точки выдачи товаров онлайн-магазинов? (Ранжируй варианты ответов.)

7. Как ты считаешь, может ли молодой человек сегодня реализовать свои жизненные планы на селе? (Один вариант ответа.)

8. Если ты ответил «Да» на предыдущий вопрос, то уточни, какая профессия наиболее предпочтительна для тебя на селе: сфера обслуживания, сфера образования, сфера производства с.-х. продукции, IT-сфера, сфера административного управления? (Один вариант ответа)

9. Если ты ответил «Нет», то уточни, что мешает молодому человеку жить и работать в селе: «Не вижу возможности реализовать себя на селе», «Низкий уровень дохода», «Слабо развита инфраструктура (нет школ, медицинских учреждений)», «Слабая интернет-связь», «Другое» (запиши свой ответ)? (Ранжируй ответы)

10. Какие темы для твоего дальнейшего развития тебе интересны: «Генерация предпринимательских идей», «Как оценить, где лучше выбрать место для бизнеса», «Как мне оценить свои жизненные планы», «Какое дело я смогу успешно реализовать», «История предпринимательства моего края», «Мне интересен опыт успешных молодых людей, реализовавших себя сейчас, в наше время»? (Можно выбрать несколько вариантов, в том числе ответы на все вопросы.)

Анализ результатов анкетирования показал, что больше половины из опрошенных (52,2%) представляют жизнь на селе в общих чертах; 10,2% ребят считают сельскую жизнь экзотикой и скучной для себя.

На вопрос «Если ты проживаешь в городе, готов ли ты переехать в сельскую местность, чтобы начать собственное дело?» 38,0% уверенно ответили «Да»; 9,1% опрошенных дали понять, что не видят, какое собственное дело может быть в селе, а остальные в разных вариантах ответили, что не готовы.

Наиболее интересными профессиональными направлениями деятельности на селе для молодежи являются животноводство, строительство и архитектура (по 41,33%), торговля и оказание других услуг (36,6%). В меньшей степени вызывают интерес растениеводство (25%), пчеловодство (19,6%), сфера механизации (17,1%) и электроэнергетики (13,3%) на селе.

46,4% респондентов уверены, что цифровизация сможет изменить жизнь на селе; 30,2% не уверены в том, что это произойдет в ближайшем будущем; остальные не готовы ответить на этот вопрос.

Факторы, которые могут способствовать тому, что молодой человек будет реализовывать свои жизненные планы в сельской местности, – это жизнь в экологически чистом месте (59,9%), работа с приличной зарплатой (47,1%), возможность быстро

получить жилье в сельской местности (26,4%), фермерство (17,8%). Особая значимость первого в этом ряду показателя практически согласуется с результатами исследований Н.Н. Пушкаревой и Г.А. Гурова [2], в которых экологию и близость к природе авторы транслируют как первостепенно важную позицию при создании привлекательного образа села. Уточним, что 59,9% молодых людей это понимают.

Используя метод ранжирования ответов в вопросе о том, что важно иметь в сельской местности, респонденты отметили, что для жизни в селе молодежи в первую очередь необходимы фельдшерский (медицинский) пункт, магазин продуктовых и продовольственных товаров, Интернет, близкое расположение трассы для поездок в районный или областной центр. Кабельное ТВ, молодежный клуб, библиотека, кинотеатр, точка выдачи товаров онлайн-магазинов заняли примерно одинаковые позиции в ранжированном списке. Близкие к этому результаты были получены в работе Н.Н. Пушкаревой и Г.А. Гурова [2]. Однако вопрос в ней предполагал выбор одного варианта ответа, что является важным для анализа стереотипов о сельской жизни. В наших исследованиях акцент сделан на предпочтениях молодежи. Можно сказать, что оба результата дополняют друг друга.

На вопрос с одновариантным выбором ответа «Как ты считаешь, может ли молодой человек реализовать свои жизненные планы сегодня на селе?» 63,9% респондентов ответили «Да» и уточнили, в какой сфере деятельности они бы предпочли работать. Для 39,0% опрошенных это сфера производства сельскохозяйственной продукции, для 19,6% – образование, для 15,7% – сфера административного управления, для 13,7% – сфера обслуживания, для 12,1% – ИТ-сфера. 36,1% респондентов ответили на поставленный вопрос «Нет» и пояснили, что является причиной такого ответа. Ранжирование привело к тому, что на первом месте оказался ответ «Не вижу возможности реализовать себя на селе», на втором месте – ответ «Низкий уровень зарплат», на третьем месте – «Слабо развитая инфраструктура». Несмотря на то, что эти три вопроса кажутся близкими к двум вопросам, имеющим место в исследовании [2], результаты данных двух анкетирований могут иметь разное смысловое содержание. В работе Н.Н. Пушкаревой и Г.А. Гурова [2] охвачен более широкий возрастной диапазон респондентов (14-35 лет), и поэтому появляются позиции «Имею свой бизнес/стартап», «Была попытка организовать свой бизнес/стартап», а также акцент делается на препятствиях для профессионального развития и карьерного роста в сельской местности.

В наших исследованиях возрастной диапазон респондентов смещен в сторону возраста

профориентационного периода (в преобладающем большинстве это молодые люди до 21 года). Поэтому можно утверждать, что первый вопрос в этой части анкетирования создает условия для самоанализа молодым человеком своих жизненных планов. Результат: 63,9% респондентов считают, что существует возможность реализовать свои планы на сельской территории. Второй вопрос о предпочитаемой сфере деятельности направляет к оценке своих возможностей, дополняя первое условие и заставляя молодого человека оценить свои профессиональные предпочтения, если бы они были проявлены на селе.

Отметим, что первой причиной отрицательного ответа на вопрос о возможности молодежи реализовать планы на селе становится ее позиция «Не вижу возможности реализовать себя на селе». Это дает основание утверждать, что молодому поколению сегодня необходимо оказывать помощь в формировании понимания своих возможностей в реализации жизненных планов, в том числе на сельских территориях, обладающих сегодня большим экономическим потенциалом. Возможно, поэтому актуальным для молодежи стал вопрос анкеты о темах, которые ей интересны для дальнейшего развития. Ответы на него подтвердили предыдущий вывод о том, что молодежь нуждается в оказании ей помощи в оценке своих жизненных планов и в выборе деятельности (56,6%). Ей также особенно интересен опыт успешных молодых людей, реализовавших себя сейчас, в наше время (51,1%).

Остальные позиции были выбраны респондентами в меньшем количестве, что является закономерным, если учесть, что не все молодые люди готовы погружаться в предпринимательскую деятельность. Объяснить это можно и тем, что у молодежи недостаточно понимания того, в чем может заключаться предпринимательская деятельность на селе и как ее реализовывать.

Выводы

1. Результаты исследований показали, что больше половины молодежи Костромской области (почти 60%) имеют общее представление о жизни на селе. Тем не менее 38% респондентов готовы переехать в сельскую местность, чтобы начать собственное дело, что можно принять за показатель готовности молодежи региона к реализации жизненных стратегий на сельской территории.

2. К наиболее интересным профессиональным направлениям деятельности на селе молодежь региона относит животноводство, строительство и архитектуру, торговлю и оказание других услуг. Растениеводство, пчеловодство, механизация и электроэнергетика села вызывают меньший интерес у молодых людей региона. Отметим, что в рамках всех выборов

ответов 46,3% респондентов считают, что цифровизация изменит жизнь на селе. При этом участие молодежи в сферах деятельности на селе проявилось таким образом: 39,0% – это сфера производства сельскохозяйственной продукции; 19,6% – образование; 15,7% – сфера административного управления; 13,7% – сфера обслуживания; 12,1% – IT-сфера.

3. Респонденты, ответившие, что сегодня молодой человек не может реализовать свои жизненные планы на селе, указали причины такой позиции. Это такие причины, как: на первом месте – «Не вижу возможности реализовать себя на селе», на втором месте – «Низкий уровень зарплат», на третьем – «Слабо развитая инфраструктура». Ответы намечают пути работы с молодежью в районах области с целью показать возможности реализации жизненных планов на сельских территориях, обладающих сегодня большим экономическим потенциалом.

Список источников

1. Калачикова О.Н., Будилов А.П. Отток молодежи из сельской местности: мотивы и возможности регулирования // Социальное пространство. 2018. № 3 (15). С. 1. <https://doi.org/10.15838/sa.2018.3.15.1>
2. Пушкарева Н.Н., Гуров Г.А. Анализ проблем привлечения молодежи в сельскую местность и пути их решения // Вестник Академии знаний. 2024. № 5 (64). С. 335-340. EDN: FJDPGI
3. Жуков Р.А., Прокопчина С.В., Бормотов И.В. и др. Модель ценностного мира российской молодежи на основе байесовских интеллектуальных измерений // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2024. Т. 15, № 1. С. 96-114. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2024.15.1.96-114>
4. Манойлова М.А., Виноградова Н.А. Идентичность и ценности современной молодежи по результатам эмпирического исследования // Православие и отечественная культура: потери и приобретения минувшего, образ будущего: Сборник материалов регионального этапа XXXII Международных Рождественских образовательных чтений, г. Псков, 8-10 декабря 2023 г. Псков: Псковский государственный университет, 2023. С. 261-272. EDN: ZGMMTY
5. Орлова Э.А., Передерий В.А., Телякова М.В. Социальный портрет студентов младших курсов системы среднего профессионального образования // Мировые научные исследования и разработки: современные достижения, риски, перспективы: Материалы XIV Международной научно-практической конференции, г. Рязань, 30 октября 2023 г. Рязань: Общество с ограниченной ответственностью Издательство «Концепция», 2023. С. 41-45. EDN: IMTKGD
6. Афанасьева Ю.С., Кострова Ю.Б. Социологический портрет современного студента // Образование и проблемы развития общества. 2023. № 1 (22). С. 124-129. EDN: MSLJIU
7. Вискова Т.А. Социально-психологический портрет современной молодежи // Актуальные проблемы общественных и гуманитарных наук: научный подход молодых исследователей: Сборник научных статей обучающихся Вологодского института права и экономики ФСИН России. Вологда: Вологодский институт права и экономики Федеральной службы исполнения наказаний, 2020. С. 37-41. EDN: EQGJSJ
8. Амбрушкевич К.В. Социальный портрет субъектов молодежного предпринимательства // Евразийский юридический журнал. 2022. № 9 (172). С. 489-490. EDN: LKUKFC

4. Реализации жизненных планов молодежи в сельской местности могут способствовать такие факторы, как жизнь в экологически чистом месте (59,9%), работа с приличной зарплатой (47,1%), возможность быстро получить жилье в сельской местности (26,4%), фермерство (17,8%).

5. Полученные результаты исследований могут быть использованы для стратегического и тактического планирования работы с молодежью при проведении профориентационной работы со школьниками региона, планировании образовательных траекторий агроклассов, осуществлении деятельности заинтересованных сторон по целевому набору абитуриентов аграрных вузов. Последнее является особенно актуальным на уровне снижения у современной российской молодежи интереса к высшему образованию в условиях роста неопределенности, который возникает, когда молодежь завершает очередную ступень образования [14].

References

1. Kalachikova O.N., Budilov A.P. Youth Urbanization: Motives and Regulation Options. *Social Area*. 2018;3(15):1. (In Russ.) <https://doi.org/10.15838/sa.2018.3.15.1>
2. Pushkareva N.N., Gurov G.A. Analysis of the problems of attracting youth to rural areas and ways to solve them. *Vestnik Akademii Znaniy*. 2024;5(64):335-340. (In Russ.)
3. Zhukov R.A., Prokopchiva S.V., Bormotov I.V., Manokhin E.V., Rudneva I.D. The model of the value system of Russian youth based on Bayesian intellectual measurements. *MIR (Modernization. Innovation. Research)*. 2024;15(1):96-114. (In Russ.) <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2024.15.1.96-114>
4. Manoilova M.A., Vinogradova N.A. Identity and values of the modern youth according to the results of empirical research. In: *Orthodoxy and domestic culture: losses and gains of the past, the image of the future*: Proceedings of the regional stage of the XXXII International Christmas Educational Readings, Pskov, December 08-10, 2023. Pskov: Pskov State University, 2023. Pp. 261-272. (In Russ.)
5. Orlova E.A., Perederiy V.A., Telyakova M.V. Social portrait of junior students of the secondary vocational education system. In: *World scientific research and development: modern achievements, risks, prospects*: Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference, Ryazan, October 30, 2023. Ryazan: OOO "Izdatelstvo Contsept", 2023. Pp. 41-45. (In Russ.)
6. Afanasyeva Yu.S., Kostrova Yu.B. Sociological portrait of a modern student. *Obrazovanie i Problemy Razvitiya Obshchestva*. 2023;1(22):124-129. (In Russ.)
7. Viskova T.A. Social and psychological portrait of modern youth. In: *Current problems of social sciences and humanities: scientific approach of young researchers*: Collection of scientific articles written by students of the Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penitentiary Service of Russia. Ed. by V.N. Nekrasov. Vologda: Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penitentiary Service, 2020. Pp. 37-41. (In Russ.)
8. Ambrushevich K.V. Social portrait of subjects of youth entrepreneurship. *Evrasiyskiy Yuridicheskiy Zhurnal = Eurasian Legal Journal*. 2022;9(172):489-490. (In Russ.)
9. Andrianova E.V., Pecherikina I.F., Tarasova A.N. Potential of youth entrepreneurship. *Education: Youth, Competitiveness*:

9. Андрианова Е.В., Печеркина И.Ф., Тарасова А.Н. Потенциал молодежного предпринимательства // Образование: молодежь, конкурентоспособность: Сборник докладов Международной научно-практической конференции, приуроченной к 80-летию юбилею академика Российской академии образования, доктора философских наук, профессора Г.Ф. Шафранова-Кутцева, г. Тюмень, 21-22 сентября 2018 г. Тюмень: Тюменский государственный университет, 2018. С. 169-174. EDN: YPPUWL

10. Иняткина А.Л. Социальный портрет предпринимателя в оценках молодежи города Перми // Тенденции развития науки и образования. 2018. № 44-4. С. 48-50. <https://doi.org/10.18411/lj-11-2018-94>

11. Гусманов Р.У., Стомба Е.В., Стомба А.В. Современная молодежь как стратегический ресурс развития сельских территорий региона (на примере Республики Башкортостан) // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. № 4 (48). С. 296-303. <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2018-14118>

12. Артамонова Т.А. Социокультурный потенциал сельского образа жизни с позиций новых цивилизационных отношений: взгляд из Сибири // Идеи и идеалы. 2022. Т. 14, № 3-2. С. 468-485. <https://doi.org/10.17212/2075-0862-2022-14.3.2-468-485>

13. Мамаева И.А., Василькова Т.М., Кальмин И.А. и др. Молодежный фестиваль: новые возможности // Образовательная деятельность вуза в современных условиях: Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, пос. Караваево, 23 мая 2024 г. Караваево: Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2024. С. 199-207. EDN: IJEKBL

14. Чудновская И.Н., Липатова М.Е. Агенты социально-коммуникативного воздействия на формирование образовательных стратегий нового поколения молодежи России // Общество: социология, психология, педагогика. 2019. № 11 (67). С. 50-58. EDN: MMMCKX

Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the academician Russian Academy of Education, Professor G.F. Shafranov-Kutseva, Doctor of Philosophy, Tyumen, September 21-22, 2018. Tyumen: Tyumen State University, 2018. Pp. 169-174. (In Russ.)

10. Inyatkina A.L. Social portrait of an entrepreneur as viewed by the Perm youth. *Tendentsii Razvitiya Nauki i Obrazovaniya*. 2018;44-4:48-50. (In Russ.)

11. Gusmanov R.U., Stovba E.V., Stovba A.V. Today's young people as a strategic resource of development of rural areas of the region (by example of the Republic of Bashkortostan). *Dalnevostochniy Agrarniy Vestnik = Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2018;4(48):296-303. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2018-14118>

12. Artamonova T.A. Socio-Cultural Potential of Rural Lifestyle from the Perspective of New Civilizational Relations: A View from Siberia. *Ideas and Ideals*. 2022;14(3-2):468-485. (In Russ.) <https://doi.org/10.17212/2075-0862-2022-14.3.2-468-485>

13. Mamaeva I.A., Vasilkova T.M., Kalmin I.A. et al. Youth festival: new opportunities. *Educational activities of the university in modern conditions: Proceedings of the All-Russian scientific and methodological conference with international participation, Karavaevo, May 23, 2024. Karavaevo: Kostroma State Agricultural Academy, 2024. Pp. 199-207. (In Russ.)*

14. Chudnovskaya I.N., Lipatova M.E. Agents of social and communicative influence on the development of educational strategies of a new generation of youth in Russia. *Obshchestvo: Sotsiologiya, Psikhologiya, Pedagogika = Society: Sociology, Psychology, Pedagogy*. 2019;11(67):50-58. (In Russ.)

Информация об авторах

¹ Мамаева Ирина Алексеевна, д-р пед. наук;
irina-mamaeva@yandex.ru[✉];
<https://orcid.org/0000-0001-9416-0977>;
SPIN-код: 2732-4726, AuthorID: 700695

² Василькова Татьяна Максимовна, канд. экон. наук, доцент, заведующий кафедрой; wtab@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-6496-8895>;
SPIN-код: 7579-4079, AuthorID: 286070

³ Савин Юрий Васильевич, старший преподаватель;
jvs54@mail.ru

^{1,2,3} Костромская государственная сельскохозяйственная академия; 156530, Российская Федерация, Костромская область, Костромской р-н, пос. Караваево, Учебный городок, 34

Вклад авторов

И.А. Мамаева – разработка общей концепции, анализ научных источников, проведение исследований, подготовка итогового варианта анкеты, подготовка текстовой части статьи;
Т.М. Василькова – проведение исследований, подготовка итогового варианта анкеты, обработка, анализ и верификация данных, подготовка текстовой части статьи, оформление статьи и визуализация данных;
Ю.В. Савин – проведение исследований, подготовка первичного и итогового вариантов анкеты.

Конфликт интересов

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

Статья поступила 29.01.2025, после рецензирования и доработки 25.06.2025; принята к публикации 28.06.2025

Author Information

Irina A. Mamaeva¹, DSc (Ped). Professor;
irina-mamaeva@yandex.ru[✉];
<https://orcid.org/0000-0001-9416-0977>

Tatyana M. Vasilkova², CSc (Econ), Associate Professor, head of department; wtab@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-6496-8895>

Yuri V. Savin³, senior lecturer; jvs54@mail.ru

^{1,2,3} Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy". house 34, Educational campus, village Karavaevo, Kostroma district, Kostroma region, 156530, Russia

Author Contributions

I.A. Mamaeva – conceptualization, analyzing literature, research, final version of the questionnaire, preparation of the article text;
T.M. Vasilkova – research, final version of the questionnaire, analysis and data verification, preparation of the article text, formatting of the article and visualization;
Yu.V. Savin – research, development of the primary and final versions of the questionnaire.

Conflict of interests

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

Received 29.01.2025; Revised 25.06.2025; Accepted 28.06.2025