



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

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научный журнал

Том 25. № 5 / 2023

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

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 <http://elibrary.ru>

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.: (499) 976-07-27
E-mail: agroeng@rgau-msha.ru
<https://agroengineering.timacad.ru/jour/index>

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

Подписано в печать 18.10.2023 г.
Формат 60 84/8
Тираж 500 экз.

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева, 2023

Главный научный редактор

Ерохин М.Н., академик РАН, д-р техн. наук, профессор кафедры сопротивления материалов и деталей машин, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

Заместители главного научного редактора:

Дорохов А.С., академик РАН, д-р техн. наук, профессор, заместитель директора по научно-организационной работе, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

Водяников В.Т., д-р экон. наук, профессор кафедры организации производства, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0001-7111-9437>

Кубрушко П.Ф., чл.-корр. РАО, д-р пед. наук, профессор, заведующий кафедрой педагогики и психологии профессионального образования, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0002-2142-1037>

Члены редакционного совета:

Алдошин Н.В., д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>

Балабанов В.И., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0001-6486-6485>

Бердышев В.Е., д-р техн. наук, профессор, руководитель Центра учебно-методического обеспечения подготовки кадров для АПК, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

Гайдар С.М., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения и технологии машиностроения, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>

Девянин С.Н., д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры тракторов и автомобилей, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0001-6776-0432>

Загинайлов В.И., д-р техн. наук, профессор кафедры электроснабжения и электротехники имени академика И.А. Будзко, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0002-2623-760X>

Казанцев С.П., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов и деталей машин, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

Кобозева Т.П., д-р с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Москва, Российская Федерация)

Кравченко И.Н., д-р техн. наук, профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>

Левшин А.Г., д-р техн. наук, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <http://orcid.org/0000-0001-8010-4448>

Леонов О.А., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой метрологии, стандартизации и управления качеством, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>

Назарова Л.И., канд. пед. наук, доцент кафедры педагогики и психологии профессионального образования РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0001-5698-6284>

Роберт И.В., академик РАО, д-р пед. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ «Институт стратегии развития образования РАО» (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0001-9303-6560>

Сторчевой В.Ф., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородин, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>

Худякова Е.В., д-р экон. наук, профессор кафедры прикладной информатики, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0001-7875-074X>

Чумаков В.Л., канд. техн. наук, профессор кафедры тракторов и автомобилей, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация)

Чутчева Ю.В., д-р экон. наук, заведующая кафедрой экономики, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0002-7450-5664>

Шогенов Ю.Х., академик РАН, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, заведующий сектором механизации, электрификации и автоматизации ОСХН РАН, ФГБУ «Российская академия наук» (г. Москва, Российская Федерация), <https://orcid.org/0000-0002-7588-0458>

Иностранные члены редакционного совета:

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

Божков Снежана Ивановна, канд. техн. наук, проф., Институт почвоведения, агротехнологий и защиты растений им. Н. Пушкирова, Сельскохозяйственная академия (г. София, Болгария), <https://orcid.org/0000-0002-5702-4893>

Куанто Фредерик, профессор, Высший национальный институт аграрных наук, продовольствия и окружающей среды (АгроСюп, Дижон, Франция), <https://orcid.org/0000-0001-8541-8382>

Маматов Ф.М., 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>

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>

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



Founder and Publisher:

Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy

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

Founded in 2003

Publication Frequency:

6 issues per year

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 agroinzheneriy universitet imeni V.P. Goryachkina"] was renamed and registered under a new title on March 6, 2020.

Full versions are posted on the site
<http://elibrary.ru>

EXECUTIVE EDITORS:

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

Editors' office address:

Timiryazevskaya str., 58, Moscow, 127434
Tel.: 8 (499) 976-07-27;
E-mail: agroeng@rgau-msha.ru
<https://agroengineering.timacad.ru/jour/index>

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

Passed for printing 18.10.2023
Format – 60 84/8
Circulation – 500 copies.

© Federal State Budgetary Establishment
of Higher Education – Russian State
Agrarian University – Moscow Timiryazev
Agricultural Academy, 2023

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 State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, the Russian Federation) <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>

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 Agroengineering Center VIM (Moscow, the Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

Vladimir T. Vodyannikov, DSc (Econ), Professor, Professor of the Department of Organization of Production, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, the Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0001-7111-9437>

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, the Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0002-2142-1037>

Members of the Editorial Board:

Nikolay V. Aldoshin, DSc (Eng), Professor, Chief Research Engineer, Federal Agroengineering Center VIM (Moscow, the Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>

Viktor I. Balabanov, DSc (Eng), Professor, Head of the Department of Organisation and Technologies of Irrigation and Construction Works, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy Moscow, the Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0001-6486-6485>

Viktor Ye. Berdyshev, DSc (Eng), Professor, Head of the Centre for Education-and-Methodological Support of Human Resource Training for Agriculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russian Federation)

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, the Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>

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

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, the Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0002-2623-760X>

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, the Russian Federation)

Tamara P. Kobozeva, DSc (Ag), Professor, Chief Research Engineer, Federal Agroengineering Center VIM (Moscow, the Russian Federation)

Igor N. Kravchenko, DSc (Eng), Professor of the Department of Technical Service of Machinery and Equipment, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, the Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>

Aleksandr G. Levshin, DSc (Eng), Professor, Professor of the Department of Machine and Tractor Fleet Operation, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, the Russian Federation), <http://orcid.org/0000-0001-8010-4448>

Oleg. A. Leonov, DSc (Eng), Professor, Head of the Metrology, Standardization and Quality Management Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, the Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>

L.I. Nazarova, CSc (Ed), Associate Professor, Department of Pedagogy and Psychology of Professional Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, the Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0001-5698-6284>

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, Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0001-9303-6560>

Vladimir F. Storcheyov, DSc (Eng), Professor, Head of the Process Automation and Robotisation Department named after Academician I.F. Borodin, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, the Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0002-6929-3919>

Yelena V. Khudyakova, DSc (Econ), Professor, Department of Applied Informatics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, the Russian Federation)

Valeriy L. Chumakov, CSc (Eng), Professor, the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, the Russian Federation)

Yulia V. Chutcheva, DSc (Econ), Head of the Department of Economics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, the Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0002-7450-5664>

Yuriy Kh. Shogenov, Full Member of the Russian Academy of Sciences DSc (Eng), Senior Research Associate, Head of the "Mechanization, Electrification and Automation" Section, Department of Agricultural Sciences, the Russian Academy of Sciences (Moscow, the Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0002-7588-0458>

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>

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

Frederick Cointault, Professor, Higher National Institute of Agricultural Sciences, Food and Environment (Agrosup, Dijon, France), <https://orcid.org/0000-0001-8541-8382>

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>

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>

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

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А., Мокиев В.Ю. Исследование инерционного отделителя пневмозагрузчика клеверотёрки	4
Нечаев В.Н. Технологический процесс производства зерновой патоки: пути оптимизации	11
Савиных П.А., Турубанов Н.В., Мошонкин А.М. Определение оптимальных конструктивно-технологических параметров молотковой дробилки с решетами в торцевых поверхностях	17
Михальцов Е.М., Кем А.А., Даманский Р.В., Шмидт А.Н. О соответствии производительности отечественных зерноуборочных комбайнов и урожайности зерновых и зернобобовых культур в России	23
Ахалая Б.Х., Миронова А.В., Золотарев А.С., Беляева Н.И. Универсальный пневматический высевальный аппарат	29
Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Пестряков Е.В., Петрищев Н.А., Саяпин А.С. Дистанционный контроль частоты вращения коленчатого вала двигателя трактора с использованием алгоритма машинного обучения	34
Ушаков А.Е., Скамарохов Н.В. Оценка эффективности почвообрабатывающих элементов глубокорыхлителей с применением коэффициента рационального использования	40
Гайдар С.М., Мирзаев Р.Р., Пикина А.М., Балькова Т.И. Разработка математической модели определения эффективности сельскохозяйственной техники на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества	46

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

Балабанов В.И., Добряков Д.В., Алипичев А.Ю. Разработка технологического процесса фрикционного алитирования	52
Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Гринченко Л.А., Александрук К.И. Расчёт и выбор посадки с зазором с использованием теории гидродинамической смазки	57

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Долгих П.П., Трепуз С.В., Попова Н.М. Роль спектральных характеристик источников излучения в формировании урожая салата при выращивании методом гидропонии	62
Вернези М.А., Лукьянов А.Д., Вернези Е.А. Устройство детектирования ферромагнитных тел в подающем тракте кормоуборочных комбайнов на базе датчика Холла	68
Черкасова Э.И., Антонова У.Ю., Голиницкий П.В., Краеченко И.Н., Пупкова Д.А. Применение СВЧ-энергии для улучшения показателей безопасности зернового сырья	73

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

Зайцева Н.Л., Рябова Н.Ю. Машинно-испытательная станция как база практической подготовки агроинженеров	78
Ерохин М.Н., Апатенко А.С. Вся жизнь в творчестве	84

CONTENTS

FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Aleksandr I. Burkov, Andrey L. Glushkov, Viktor A. Lazykin, Valentin Yu. Mokiev Study of the inertial separator of the clover thresher with a pneumatic loader	4
Vladimir N. Nechaev Technological process of grain molasses production: ways to optimize	11
Petr A. Savinyh, Nikolay V. Turubanov, Aleksandr M. Moshonkin Determination of optimal design and technological parameters of a hammer crusher with sieves in end surfaces	17
Evgeniy M. Mikhaltsov, Aleksandr A. Kem, Roman V. Damanskiy, Andrey N. Schmidt On the compliance of the productivity of domestic combine harvesters and the yield of grain and leguminous crops in Russia ..	23
Badri K. Akhalaya, Anastasia V. Mironova, Andrey S. Zolotarev, Natalia I. Belyaeva Universal pneumatic seeding unit	29
Yuriy V. Kataev, Mikhail N. Kostomakhin, Efim V. Pestryakov, Nikolay A. Petrishev, Aleksandr S. Sayapin Remote control of the crankshaft speed of a tractor engine using a machine learning algorithm	34
Aleksandr E. Ushakov, Nikita V. Skamarokhov Estimation of the operating efficiency of deep loosening soil tillage elements using the rational utilisation factor	40
Sergey M. Gaidar, Rustam R. Mirzaev, Anna M. Pikina, Tatiana I. Balkova Developing a mathematical model for determining the efficiency of agricultural machinery at separate levels of a multilevel quality assessment system	46

TECHNICAL SERVICE IN AGRICULTURE

Viktor I. Balabanov, Dmitry V. Dobryakov, Aleksei Yu. Alipichev Developing the technology of friction alitising	52
Oleg A. Leonov, Nina Zh. Shkaruba, Yuliya G. Vergazova, Lavrenty A. Grinchenko, Kirill I. Aleksandrok Calculation and selection of a clearance fit using the theory of hydrodynamic lubrication	57

POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION

Pavel P. Dolgikh, Sergey V. Trepuz, Natalia M. Popova Role of the spectral characteristics of radiating sources in the formation of lettuce yield in hydroponics cultivation	62
Miroslav A. Vernezi, Aleksandr D. Lukyanov, Ekaterina A. Vernezi Device for detecting ferromagnetic bodies in the feed path of forage harvesting machinery based on the Hall sensor	68
Elmira I. Cherkasova, Uliana Yu. Antonova, Pavel V. Golinitzkiy, Igor N. Kravchenko, Daria A. Pupkova Application of microwave energy to improve the safety indicators of raw grain	73

TRIBUTE TO THE SCIENTIST

Natalia L. Zaitseva, Natalia Yu. Ryabova Machine testing station as a practical training base for agricultural engineers	78
Mikhail N. Erokhin, Aleksey S. Apatenko Lifetime of creativity	84

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.362.36

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-4-10



Исследование инерционного отделителя пневмозагрузчика клеверотёрки

Бурков Александр Иванович, д-р техн. наук, профессорburkov.46@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>**Глушков Андрей Леонидович**, канд. техн. наукglandrey@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1448-9930>**Лазыкин Виктор Алексеевич**, канд. техн. наукellestar@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3910-8620>**Мокиев Валентин Юрьевич**[✉], канд. техн. наукdizel154@bk.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-3368-1151>

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а

Аннотация. Клеверотёрка с пневматическим загрузчиком, имеющая инерционный жалюзийно-противоточный отделитель, отличается простотой устройства и эксплуатации, надёжностью и долговечностью работы, удобной компоновкой с другими элементами пневмосистемы и сравнительно небольшим гидравлическим сопротивлением. Осадочная камера (отделитель) клиновидной формы со смещённым по горизонтали выгрузным отверстием в сторону входного окна снабжена жалюзийной перегородкой, установленной в месте сопряжения входного и выходного окон. С целью обоснования основных конструктивных параметров инерционного жалюзийно-противоточного отделителя клеверотёрки на экспериментальной установке исследовалась пыжина клевера лугового влажностью 12...14% следующего состава: 57,4% бобиков с семенами; 16,6% свободных семян; 25,0% лёгких примесей; 1,0% тяжёлых примесей. В результате установлены следующие конструктивные параметры отделителя: жалюзийная решётка длиной 210 мм; шаг, длина и угол установки жалюзийных пластин – соответственно 40, 50 мм, 30°; высота входного и выходного окон отделителя – 120 и 280 мм; высота выходных окон жалюзийного и противоточного очистителей – 190 и 80 мм; глубина выгрузного патрубка осадочной камеры – 570 мм. Эффективность работы пневматического загрузчика при подаче 0,3 т/ч: количество выделенных тяжёлых примесей – 100%; лёгких примесей – 33,6%; потери полноценных семян в отходы – 0,8%; гидравлическое сопротивление – 196 Па. Результаты исследований дают основание рекомендовать данную конструкцию к применению.

Ключевые слова: клеверотёрка, инерционный отделитель, пыжина, жалюзийная решетка, степень выделения лёгких примесей, воздушный поток

Формат цитирования: Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А., Мокиев В.Ю. Исследование инерционного отделителя пневмозагрузчика клеверотёрки // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 4-10. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-4-10>.

© Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А., Мокиев В.Ю., 2023

ORIGINAL ARTICLE

Study of the inertial separator of the clover thresher with a pneumatic loader

Aleksandr I. Burkov, DSc (Eng)burkov.46@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>**Andrey L. Glushkov**, CSc (Eng)glandrey@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1448-9930>

Viktor A. Lazykin, CSc (Eng)

ellestar@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3910-8620>

Valentin Yu. Mokiev[✉], CSc (Eng)

dizel154@bk.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-3368-1151>

Federal Agricultural Research Centr of the North-East named after N.V. Rudnitsky; 166a, Lenina str., Kirov, 610007, Russian Federation

Abstract. The clover thresher with a pneumatic loader, having an inertial louvered counterflow separator, is characterized by a simple design and operation, reliability and durability, convenient arrangement with other elements of the pneumosystem and relatively low hydraulic resistance. The wedge-shaped sedimentation chamber (separator) with a horizontally displaced discharge opening towards the inlet window is equipped with a louvered partition installed at the junction of the inlet and outlet windows. To determine the basic design parameters of the inertial louvered counterflow separator of the clover thresher, the authors experimentally studied the hull of meadow clover with a humidity of 12 to 14% of the following composition: 57.4% of beans with seeds; 16.6% of free seeds; 25.0% of light impurities; 1.0% of heavy impurities. As a result, the main design parameters of the separator have been determined: the length of the louver grille is 210 mm, the pitch, length, angle of installation of the louver plates are 40mm, 50 mm, 30°, respectively, the height of the inlet and outlet windows of the separator is 120 and 280 mm, the height of the outlet windows of the louver and counterflow cleaners is 190 and 80 mm, the depth of the discharge pipe of the sedimentary chamber is 570 mm. The efficiency of the pneumatic loader when feeding 300 kg/h: the amount of released heavy impurities – 100%, light impurities – 33.6%, loss of full-fledged seeds to waste – 0.8% hydraulic resistance – 196 Pa. The research results give grounds to recommend this design for application.

Keywords: clover thresher, inertial separator, clover hull, louver grating, amount of light impurities separated, air flow.

For citation: 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 Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-4-10>.

Введение. Для повышения эффективности очистки вытертых семян и надёжности технологического процесса тёрочного устройства клеверотёрки целесообразно снабдить её осадочной камерой (отделителем), который из загружаемого материала (пыжины) будет удалять лёгкие примеси в отходы при допустимых потерях семян и бобиков с семенами.

Отделители для осаждения перемещаемого материала из потока аэросмеси по принципу действия подразделяются на объёмные (гравитационные) [1, 2], инерционные [3, 4] и центробежные (инерционно-гравитационные) [5-7]. Объёмные отделители отличаются небольшим гидравлическим сопротивлением (50...200 Па), большими габаритными размерами и способствуют осаждению наиболее тяжёлых частиц материала. Жалюзийные отделители в зависимости от назначения и конструктивных особенностей имеют гидравлическое сопротивление 100...1000 Па, являются неспособными осажать менее упругие и мелкие частицы. Центробежные отделители (циклоны) по сравнению с другими устройствами обладают более высокой эффективностью осаждения, но их гидравлическое сопротивление достигает 1200 Па и более.

Цель исследований: обосновать основные конструктивные параметры инерционного отделителя клеверотёрки с пневматическим загрузчиком, выделяющего 100% тяжёлых и 30...50% лёгких примесей

при потерях семян в отходы не более 1,0% и гидравлическом сопротивлении не более 200 Па.

Материалы и методы. Для исследования конструктивных параметров инерционного отделителя пневмозагрузчика клеверотёрки изготовлена экспериментальная установка, включающая в себя загрузочное устройство, пневматический транспортировочный канал, инерционный отделитель, циклон, радиальный вентилятор с электродвигателем, тканевый фильтр, регулятор расходов воздуха, приемники фракций (рис. 1).

Материалом для экспериментов служил ворох пыжины клевера лугового влажностью 12...14%, из которого предварительно выделено большинство лёгких, крупных, мелких примесей и свободных от оболочек семян. Состав пыжины: 57,4% бобиков с семенами; 16,6% свободных семян; 25,0% лёгких примесей; 1,0% тяжёлых примесей. Скорость витания лёгких примесей составляла 0,1...3,3 м/с, бобиков с семенами – 3,3...6,0 м/с, семян клевера – 4,2...7,6 м/с, тяжёлых примесей – более 10,0 м/с.

Экспериментальная установка работает следующим образом. Пыжина, полученная после сушки и очистки вороха от крупных и мелких примесей, загружается в приёмный бункер 5, из которого с помощью ворошилки 4 и питающего валика 3 подаётся через окно ввода 2 в пневматический транспортировочный канал (ПТК) 1. Воздушный поток, создаваемый радиальным вентилятором 12, поступает

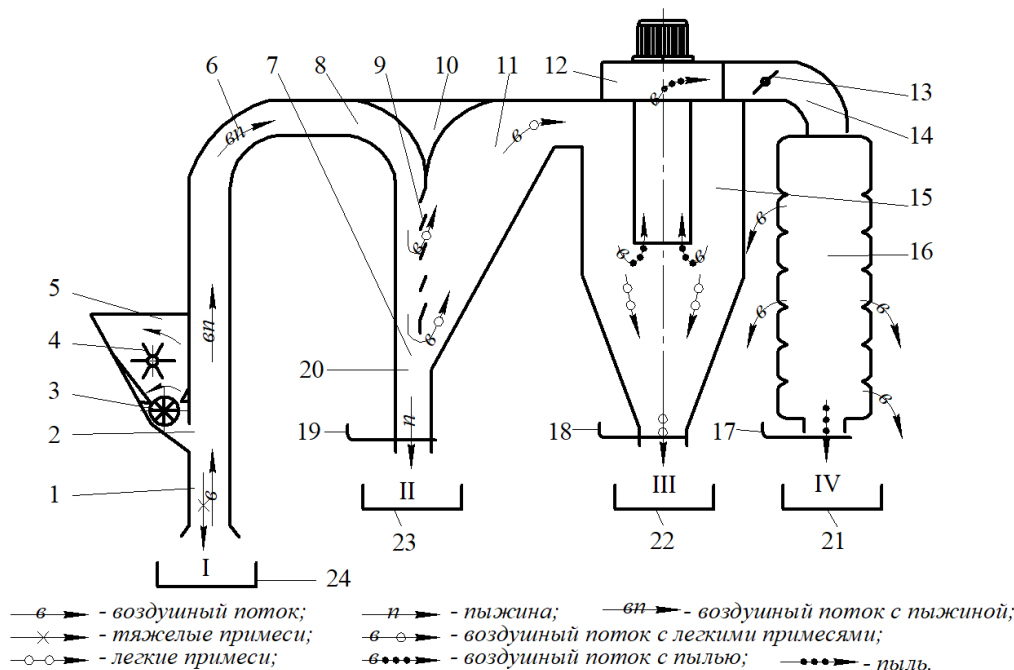


Рис. 1. Технологическая схема экспериментальной установки для исследования инерционного отделителя пневмозагрузчика клеверотёрки:

- 1 – пневматический транспортировочный канал; 2 – окно ввода материала; 3 – питающий валик; 4 – ворошилка; 5 – приёмный бункер; 6 – отвод; 7 – осадочная камера инерционного отделителя; 8 – входное окно инерционного отделителя; 9 – жалюзийная решетка; 10 – инерционный отделитель; 11 – выходное окно инерционного отделителя; 12 – радиальный вентилятор; 13 – дроссельная заслонка; 14 – отвод циклона; 15 – циклон; 16 – тканевый фильтр; 17, 18, 19 – задвижки; 20 – выгрузной патрубкок; 21, 22, 23, 24 – приёмники фракций

Fig. 1. Technological scheme of the experimental installation for the study of the inertial separator of the clover thresher:

- 1 – pneumatic conveying duct; 2 – material input window; 3 – feeding roller; 4 – agitator; 5 – receiving hopper; 6 – outlet; 7 – sedimentary chamber of inertial separator; 8 – inlet window of inertial separator; 9 – louvered grille; 10 – inertial separator; 11 – outlet window of inertial separator; 12 – radial fan; 13 – throttle valve; 14 – cyclone outlet; 15 – cyclone; 16 – fabric filter; 17, 18, 19 – valves; 20 – discharge pipe; 21, 22, 23, 24 – fraction receivers

в ПТК 1 из атмосферы, воздействует на пыжину с определённой скоростью и перемещает её по отводу 6 через входное окно 8 в инерционный отделитель 10. При этом тяжёлые примеси из ПТК падают вниз – в приемник 24 (фракция I). В инерционном отделителе воздушный поток с пыжиной движется вдоль жалюзийной перегородки 9 в осадочную камеру 7 и разворачивается в её нижней части вверх. При этом тяжёлые бобики и семена клевера под действием силы инерции и тяжести опускаются на дно осадочной камеры – в выгрузной патрубкок 20, в исходном положении закрытый задвижкой 19. Лёгкие примеси, содержащие мелкие частицы соцветий и стеблей растений, проходят вместе с воздушным потоком через жалюзийную решетку 9 и зазор между её нижним концом и наклонной стенкой камеры в выходное окно 11 инерционного отделителя и поступают в циклон 15. Под действием сил инерции и тяжести лёгкие примеси осаждаются вниз конической части циклона 15, закрытой в исходном положении задвижкой 18, а воздушный поток с пылью всасывается вентилятором 12 и нагнетается по отводу 14 в тканевый фильтр 16. Воздух проходит через ткань,

очищается от пыли и удаляется в атмосферу. Уловленная пыль осаждается в нижней части фильтра, закрытого в рабочем положении задвижкой 17. Минимально необходимая скорость воздушного потока в ПТК устанавливается поворотом дроссельной заслонки 13, расположенной в отводе циклона 14. Регулирование подачи материала осуществляется изменением частоты вращения питающего валика 3 с помощью частотного преобразователя.

После окончания опыта все фракции материала I, II, III, IV собираются в приёмники 24, 23, 22, 21 и взвешиваются. Во фракциях III и IV определяется содержание семян (потери).

Для исключения потерь полноценных семян в отходы при максимальном удалении лёгких примесей необходимо в выходном окне 11 инерционного отделителя выровнять воздушный поток и снизить его среднюю скорость до минимальной скорости витания семян в бобиках (3,3 м/с). Поскольку скорость воздушного потока при транспортировании исходного вороха пыжины составляет 10,0...15,0 м/с, то данная задача решается за счёт превышения высоты выходного окна 11 в 4...5 раз по сравнению с глубиной

ПТК 1 и регулированием количества воздуха, проходящего через жалюзийную перегородку 9 и нижнюю часть осадочной камеры 7 путём оптимизации их конструктивных параметров. При этом минимальная высота h_v входного окна (рис. 2) инерционного отделителя конструктивно принимается равной глубине h_T ПТК – 70 мм, максимальная высота h_w выходного окна – 350 мм. Максимальная длина L_R жалюзийной решётки с учётом максимальной глубины осадочной камеры $H_K = 900$ мм по компоновочным соображениям может составлять до 600 мм. Параметры решётки для обеспечения низкого гидравлического сопротивления и с учётом результатов исследований¹ приняты постоянными: шаг $S = 40$ мм; длина $l_g = 50$ мм; угол установки пластин $\beta = 30^\circ$. Верхняя кромка жалюзийной решётки установлена в месте сопряжения входного и выходного окон. Нижняя кромка жалюзийной решётки расположена выше выгрузного патрубка на расстоянии $Y = 200$ мм. Высота h_p выгрузного патрубка осадочной камеры равна высоте загрузочной горловины клеверотёрки КС-0,2 и составляет 120 мм [8].

Подлежит изучению положение нижней кромки жалюзийной решётки относительно стенок осадочной камеры, определяемое высотами h_{WG} и h_{WP} выходных окон жалюзийного и противоточного очистителей (угол γ наклона фронтальной поверхности решётки по отношению к набегающему потоку аэросмеси). Необходимо также установить длину L_R жалюзийной решётки, глубину входного и выходного окон инерционного отделителя h_v и h_w , глубину H_W выгрузного патрубка осадочной камеры.

Параметры h_{WG} и h_{WP} изменяли перемещением нижнего конца жалюзийной решётки с учётом длины L_R жалюзийной решётки и габаритных размеров осадочной камеры в пределах 50...265 и 10...225 мм соответственно. Длину L_R жалюзийной решётки регулировали количеством жалюзийных пластин и устанавливали на четырех уровнях: 210, 360, 480, 600 мм. Для сравнения один опыт проводили без жалюзийной решётки. Глубину H_W выгрузного патрубка устанавливали на трех уровнях (400, 485, 570 мм), исходя из общей компоновки клеверотёрки. Высоту h_v входного окна увеличивали до 120 и 170 мм за счёт уменьшения высоты h_w выходного окна до 300 и 250 мм (при постоянном габаритном размере по длине осадочной камеры).

Эффективность работы инерционного отделителя клеверотёрки оценивали степенью выделения лёгких примесей в отходы (E_d , %), потерями полноценных семян (свободных и в бобиках) в отходы (a , %) и его

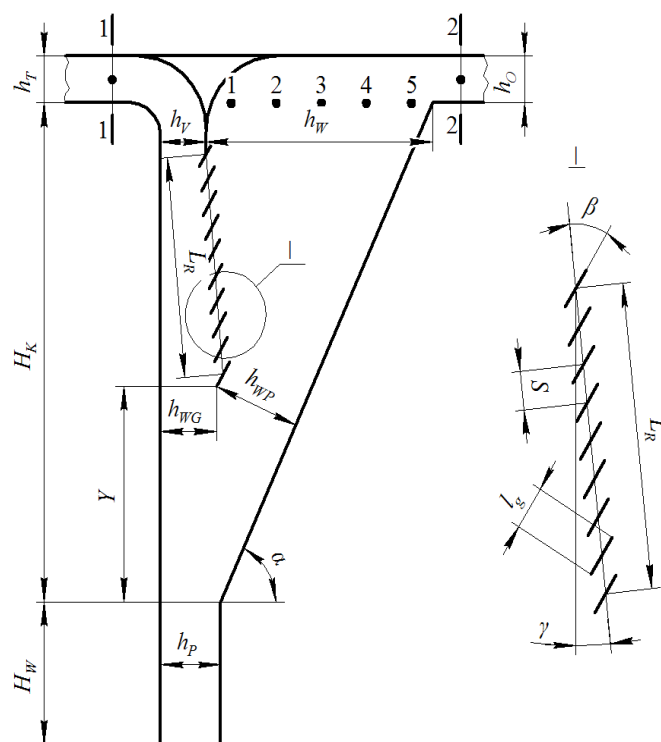


Рис. 2. Схема экспериментального инерционного отделителя пневматического загрузчика клеверотёрки
Fig. 2. Structural diagram of the experimental inertial separator of the clover thresher

гидравлическим сопротивлением (P_{SV} , Па) по следующим выражениям:

$$E_d = (m_{Ц} / m_{И}) \cdot 100, \% \quad (1)$$

$$a = (m_{ЦИ} / m_{СИ}) \cdot 100, \% \quad (2)$$

$$P_{SV} = P_{V2} - P_{V1}, \text{ Па}, \quad (3)$$

где $m_{Ц}$ и $m_{СИ}$ – масса лёгких примесей и семян в циклоне и тканевом фильтре, г; $m_{И}$ и $m_{СИ}$ – масса лёгких примесей и семян в исходном материале, г; P_{V1} и P_{V2} – полное давление на входе и выходе из инерционного отделителя, Па. При равной площади входного и выходного отверстий инерционного отделителя его гидравлическое сопротивление определяли по разности статических давлений в сечениях 1-1 и 2-2: $P_{SV} = P_{SV2} - P_{SV1}$. Качество воздушного потока в выходном окне отделителя оценивали коэффициентом μ вариации средней скорости.

При сравнительной оценке работы инерционного отделителя наиболее важными являются показатели E_d и a , отражающие технологическую эффективность, и P_{SV} , учитывающий энергетическую эффективность. Коэффициент μ отражает равномерность воздушного потока в выходном окне и является вспомогательным показателем.

Опыт выполняли в такой последовательности. В инерционном отделителе 10 (рис. 1) устанавливали конструктивные параметры на заданных уровнях.

¹ Бурков А.И. Инерционные пылеуловители зерно- и семяочистительных машин. Разработка, исследование, применение. Киров: ГНУ НИИСХ Северо-Востока Россельхозакадемии, 2013. 156 с.

Загружали в приёмный бункер 5 некоторое количество отсортированной пыжины. Включали установку в работу при закрытых задвижках 17, 18, 19 (сначала вентилятор 12, затем – привод питающего валика 3 и ворошилки 4). Изменением частоты n вращения питающего валика 3 устанавливали подачу материала $q = 0,3 \pm 0,02$ т/ч, положением дроссельной заслонки 13 – скорость воздушного потока в ПТК $V_r = 9,8 \pm 0,1$ м/с. Затем очищали все выходы фракций материала, засыпали в приёмный бункер навеску пыжины массой 1 кг.

В процессе пропуска пыжины измеряли в сечениях 1-1 и 2-2 статическое давление P_{SV1} и P_{SV2} на входе и выходе из отделителя, а также динамическое давление P_{dV} в центрах пяти равных прямоугольников (1, 2, 3, 4, 5) в выходном окне отделителя. После пропуска навески пыжины открывали задвижки 17, 18, 19, собирали в приемники 21, 22, 23, 24 и взвешивали с точностью до 0,1 г массу фракций I, II, III, IV. Далее, в соответствии с ГОСТ 12036-85, отбирали из фракции II пробу массой 100 г, из фракции III – 25 г. На решетке с круглыми отверстиями диаметром 2 мм подразделяли пробы материала на крупную и мелкую фракции. Крупные фракции перетирали на лабораторной клеверотёрке КПЛ-100 [9], мелкие фракции обрабатывали на пневматическом классификаторе К-293

при скорости воздушного потока $3,3 \pm 0,1$ м/с и определяли массу лёгких примесей и семян в осадочной камере, циклоне и тканевом фильтре. С учётом массового содержания фракций I и IV (тяжёлые примеси и пыль) выполняли расчёты по определению $E_{дл}$ и a , а также рассчитывали P_{SV} и коэффициент μ вариации скорости воздуха в выходном окне отделителя. Эксперименты проводили в трехкратной повторности.

Результаты и их обсуждение. Изучали влияние высоты h_{WG} и h_{WP} выходных окон жалюзийного и противоточного очистителей (положения нижней кромки жалюзийной решётки относительно стенок осадочной камеры) на степень $E_{дл}$ выделения лёгких примесей в отходы, потери a полноценных семян в отходы и гидравлическое сопротивление P_{SV} проточной части отделителя при длине L_R жалюзийной решетки 600, 480, 360 мм, при постоянных других параметрах (высота $h_V = 70$ мм, высота $h_W = 350$ мм, глубина $H_W = 400$ мм, расстояние нижней кромки жалюзийной решётки от выгрузного патрубка $Y = 200$ мм). С целью уменьшения прорыва аэросмеси через начало решётки первая жалюзийная пластина установлена вертикально (угол $\beta = 0^\circ$).

Результаты исследования влияния конструктивных параметров инерционного отделителя на показатели эффективности его работы приведены в таблице.

Таблица

Эффективность работы инерционного отделителя при различном сочетании конструктивных параметров

Table

Efficiency of the separator with a different combination of design parameters

№ опыта Experiment number	Значения переменных конструктивных параметров инерционного отделителя, мм Values of variable design parameters of the separator, mm					Показатели эффективности Performance indicators			
	L_R	h_{WG}	h_{WP}	H_W	h_V	$E_{дл}$, %	a , %	P_{SV} , Па	μ
1	600	50	130			31,3	5,5	235	0,38
2		65	110			20,9	2,5	204	0,46
3		95	85			16,7	0,8	120	0,65
4		110	65			24,6	4,7	161	0,27
5	480	50	130			25,0	3,0	239	0,97
6		65	110			18,6	1,0	226	1,03
7		95	85			16,1	0,8	157	0,55
8		150	40			22,9	2,1	184	0,04
9	360	50	140			18,1	0,8	239	0,99
10		155	45			20,1	0,3	193	0,16
11*	360	50	140	400	-	25,6	1,8	232	0,72
12*				485	-	25,8	1,2		-
13*				570	-	26,1	0,7		-
14	Без решётки / Without the grille			570	-	16,8	0,1	95	-
15	210	50	225	570	70	25,1	0,3	226	0,99
16		165	110		70	25,2	0,1	259	0,99
17		215	60		120	36,5	0,8	261	1,10
18		265	10		170	51,1	4,2	285	0,93
19		195	80		120	33,6	0,8	196	0,95
20		175	100		120	26,9	0,3	165	0,80

*Первая жалюзийная пластина установлена под углом $\beta = 0^\circ$ / First louvered plate is installed at an angle $\beta = 0^\circ$

Исследования показали, что наибольшее влияние на эффективность работы отделителя оказывает высота выходных окон жалюзийного и противоточного очистителей (h_{WG} и h_{WP}). При малых значениях h_{WG} и больших значениях h_{WP} повышается степень выделения лёгких примесей (E_L) и одновременно увеличиваются потери полноценных семян (a) в отходы и гидравлическое сопротивление (P_{SV}). При больших значениях h_{WG} и малых значениях h_{WP} степень выделения лёгких примесей и потери полноценных семян имеют также относительно высокие значения, но меньшее гидравлическое сопротивление (не более 200 Па).

В первом варианте происходящее обусловлено повышением эффективности работы жалюзийного очистителя за счёт поддержания в нём постоянной скорости движения аэросмеси и высокой скорости воздуха между жалюзийными пластинами.

Во втором варианте E_L и a повышаются в связи с увеличением скорости воздушного потока в выходном отверстии противоточного очистителя, а снижение гидравлического сопротивления отделителя – в связи с уменьшением сопротивления жалюзийного очистителя.

Длина жалюзийной решётки L_R оказывает незначительное влияние на показатели эффективности работы отделителя. При меньшей длине решётки наблюдаются более низкие значения E_L и a , гидравлическое сопротивление повышается, но не существенно. Заданным требованиям по потерям полноценных семян в отходы и гидравлическому сопротивлению соответствуют опыты № 3, 5, 10. Однако степень выделения лёгких примесей при данных конструктивных параметрах отделителя находится на низком уровне ($E_L = 16 \dots 20\%$).

В опыте № 11 установка первой жалюзийной пластины под углом $\beta = 0^\circ$ за счёт большего перетока воздуха через решётку повысила E_L от 18,1 до 25,6% и a от 0,8 до 1,8%. Увеличение глубины H_W выгрузного патрубка осадочной камеры от 400 до 485 и 570 мм при отмеченных конструктивных параметрах отделителя (опыты 12 и 13) повысило E_L соответственно до 25,8 и 26,1% и снизило a до 1,2 и 0,7%. Гидравлическое сопротивление отделителя при этом не изменилось.

Дальнейшее увеличение H_W ограничивалось габаритным размером установки по высоте. Значительное снижение потерь a семян обусловлено отводом осаждаемого материала из зоны выходных окон жалюзийного и противоточного очистителей на большее расстояние – в зону малых скоростей воздушного потока.

Все дальнейшие опыты проводили при максимально возможной глубине выгрузного патрубка $H_W = 570$ мм.

В опыте № 14 (без жалюзийной решётки) создаются хорошие условия осаждения компонентов пыжины при низком гидравлическом сопротивлении и малых потерях семян. Ввиду малой степени выделения лёгких примесей в отходы $E_L = 16,8\%$ продолжены исследования при укороченной длине жалюзийной решётки $L_R = 210$ мм и постоянной глубине осадочной камеры $H_K = 660$ мм и выгрузного патрубка $H_W = 570$ мм. Поисковые опыты проведены при $h_{WG} = 50$ мм, $h_{WP} = 225$ мм и $h_{WG} = 165$ мм, $h_{WP} = 110$ мм. При этих параметрах наблюдаются низкие потери a семян в отходы (0,3 и 0,1%), но недостаточные значения E_L (25,1 и 25,2%) и завышенные значения P_{SV} (226 и 259 Па).

С целью снижения скорости частиц, движущихся вдоль жалюзийной решётки, и улучшения условий сепарации лёгких примесей высота входного окна увеличена до $h_V = 120$ и 170 мм за счёт уменьшения высоты выходного окна до $h_W = 300$ и 250 мм. В опыте № 17 E_L повышается до 36,5%, потери семян a находятся в пределах допуска (0,8%), а сопротивление P_{SV} превышает норматив (261 Па). В опыте № 18 E_L повышается до 51,1%, потери a – до 4,2%, сопротивление P_{SV} – до 285 Па. В опытах № 19 и 20 показатели находятся на требуемом уровне: a – не более 1,0%, P_{SV} – не более 200 Па. По степени выделения лёгких примесей лучшим является вариант 19 ($E_L = 33,6\%$).

Сравнительный анализ потерь a семян в отходы и значений коэффициента вариации μ скорости воздушного потока в выходном окне отделителя во всех опытах показывает, что их прямая связь между собой не наблюдается.

Выводы

Определены в первом приближении конструктивные параметры инерционного жалюзийно-противоточного отделителя клеверотёрки: длина жалюзийной решётки – 210 мм; шаг, длина, угол установки жалюзийных пластин – соответственно 40 мм, 50 мм, 30° ; высота входного и выходного патрубков отделителя – 70 мм; высота входного и выходного окон отделителя – 120 и 300 мм; высота выходных окон жалюзийного и противоточного очистителей – 190 и 80 мм; глубина осадочной камеры – 660 мм; глубина выгрузного патрубка осадочной камеры – 570 мм. При данных параметрах количество выделенных тяжёлых примесей составляет 100%, лёгких примесей – 33,6%; потери полноценных семян в отходы – 0,8%; гидравлическое сопротивление – 196 Па.

Список использованных источников

1. Гиевский А.М., Оробинский В.И., Чернышов А.В., Баскаков Д.С., Тарабрин Д.С. Обоснование размеров осадочных камер двух аспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (51). С. 87-95. EDN: XUVHCB.
2. Сычугов Ю.В., Казаков В.А. Новые технологии и технические средства после уборочной обработки и переработки зерна // Проблемы интенсификации животноводства с учётом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза. Т. XXVII. Варшава: Технолог-природоведческий институт, национальный исследовательский институт, 2021. С. 199-205. EDN: WYWDYL.
3. Andreev V.L. Calculation of the effective separation of light impurities in the inertial jalousie-countercurrent dust collector. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019;537:032097. <https://doi.org/10.1088/1757899X/537/3/032097>
4. Холоденина Г.С. Показатели, характеризующие работу пылеуловителей // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: Сборник научных статей по итогам Десятой Международной научной конференции. Ч. 1. Казань: Конверт, 2020. С. 255-257.
5. Muratova K.M., Makhnin A.A., Volodin N.I., Chistyakov Ya.V. Treatment of Industrial Dust-Air Flows in Centrifugal-Inertial Apparatuses // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2017;53:185-189. <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0319-5>
6. Kazakbaev S.Z., Karymsakov N.S. Progressive machines for pre-cleaning of grain // *ISJ Theoretical & Applied Science*. 2020;05 (109):870-879. <https://doi.org/10.15863/TAS.2022.05.109.84>
7. Карманов В.В., Кузнецов С.И. Анализ пылеулавливающего оборудования льнозаводов // Вестник Херсонского национального технического университета. 2017. № 2 (61). С. 147-154. EDN: ZURQMT.
8. Бурков А.И., Симонов М.В., Мокиев В.Ю. Клеверотёрка барабанного типа с тангенциальной подачей // Сельский механизатор. 2016. № 4. С. 12. EDN: VUYLGR.
9. Конышев Н.Л., Симонов М.В., Клеверотёрка КПЛ-100 // Сельский механизатор. 2012. № 6. С. 8-9. EDN: PAVMVZ.

Вклад авторов

А.И. Бурков – формулирование основной концепции исследования, формирование выводов исследования.
 А.Л. Глушков – разработка методологии исследования, анализ и описание результатов.
 В.А. Лазыкин – изготовление экспериментальной установки, обработка результатов опытов, подготовка начального варианта текста.
 В.Ю. Мокиев – изготовление экспериментальной установки, анализ литературы.

Конфликт интересов

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

Статья поступила 28.03.2023, после рецензирования и доработки 11.09.2023, принята к публикации 11.09.2023

References

1. Gievskiy A.M., Orobinskiy V.I., Chernyshov A.V., Baskakov D.S., Tarabrin D.S. Determining the sizes of sedimentary chambers of the two-air pneumatic system of the grain cleaning machine. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2016;4(51):87-95. (In Rus.) <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2016.4.87>
2. Sychugov Yu.V., Kazakov V.A. New technologies and technical means for post-harvesting grain processing and treatment. *Problemy intensifikatsii zhivotnovodstva s uchetom okhrany okruzhayushhey sredy i proizvodstva alternativnykh istochnikov energii, v tom chisle biogaza. Vol. XXVII. Warsaw: Technological and Natural Sciences Institute, National research institute*. 2021. P. 199-205. (In Rus.)
3. Andreev V.L. Calculation of the effective separation of light impurities in the inertial jalousie-countercurrent dust collector. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering International Workshop “Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering”. 2019;537:032097. <https://doi.org/10.1088/1757899X/537/3/032097>
4. Kholodenina G.S. Indicators characterising the performance of dust collectors. *Prioritetnye napravleniya innovatsionnoy deyatel'nosti v promyshlennosti: Collection of the proceedings of the 10th International Scientific Conference. M.: Konvert, 2020. 255-257*. (In Rus.)
5. Muratova K.M., Makhnin A.A., Volodin N.I. et al. Treatment of Industrial Dust-Air Flows in Centrifugal-Inertial Apparatuses. *Chem Petrol Eng*. 2017;53:185-189. <https://doi.org/10.1007/s10556-017-0319-5>
6. Kazakbaev S.Z., Karymsakov N.S. Progressive machines for pre-cleaning of grain. *ISJ Theoretical & Applied Science*. 2020;05(109):870-879. <https://doi.org/10.15863/TAS.2022.05.109.84>
7. Karmanov V.V., Kuznetsov S.I. Analysis of the dust-collecting equipment of flax plants. *Vestnik Khersonskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017;2(61):147-154.
8. Burkov A.I., Simonov M.V., Mokiev V.Yu. Drum-type clover thresher with tangential feed. *Selskiy mekhanizator*. 2016;4:12. (In Rus.)
9. Konyshchev N.L., Simonov M.V., Clover thresher KPL-100. *Selskiy mekhanizator*. 2012;6:8-9. (In Rus.)

Contribution of the authors

A.I. Burkov – conceptualization, conclusions.
 A.L. Glushkov – research methodology, formal analysis and description of the results.
 V.A. Lazikin – designing the experimental installation, processing experimental results, original draft preparation
 V.Yu. Mokiev – designing the experimental installation, literature review.

Conflict of interests

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

Received 28.03.2023; revised 11.09.2023; accepted 11.09.2023

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.363

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-11-16



Технологический процесс производства зерновой патоки: пути оптимизации

*Нечаев Владимир Николаевич, канд. техн. наук, доцент*nechaev-v@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7566-6013>

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет; 606340, Российская Федерация, г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22

Аннотация. Добавление в рацион коров зерновой патоки позволяет повысить энергетическую питательность корма. Недостаток данных о силе смятия зерновки в процессе приготовления корма, вязкости и текучести зерновой патоки в зависимости от вида злаковой культуры сужает представление о возможных способах совершенствования процесса производства зерновой патоки. С этой целью проведено сравнение физико-механических характеристик зерна ярового ячменя (сорт Раушан), озимой ржи (сорт Графиня), яровой пшеницы (сорт Московская 35) по силе смятия. Доказано, что максимальной силой смятия зерна (10 Н) характеризуется ячмень (в 1,06 раза больше, чем озимая рожь, и в 2,00 раза больше, чем яровая пшеница). Доказано, что применение решётки пассивного измельчителя позволяет ускорить процесс разрушения зерна в среднем на 15,0%. Выявлена зависимость между силой смятия зерна, временем циркуляции водно-зерновой смеси в водяном контуре установки, температурой, кинематической вязкостью водно-зерновой смеси и текучестью зерновой патоки. Максимальный потенциал вязкости водно-зерновой смеси наблюдался в диапазоне температур 34...56°C. При этом вязкость водно-ржаной смеси выше, чем водно-пшеничной и водно-ячменной смесей. Установлено, что использование измельчённого зерна повышает стартовое значение вязкости смеси в 10 раз по сравнению с целым зерном, но при 60°C эта разница не превышает 4% (на примере ярового ячменя). Кинематическая вязкость готового продукта в период постферментации для пшеничной и ячменной патоки возрастает соответственно в 2,7 и 1,6 раза, для ржаной патоки снижается в 1,2 раза. При этом текучесть пшеничной патоки составляет $0,129 \cdot 10^{-3}$ сП⁻¹, ржаной – $0,53 \cdot 10^{-3}$ сП⁻¹, ячменной – $0,3 \cdot 10^{-3}$ сП⁻¹. В целях оптимизации процесса производства зерновой патоки необходимо ячмень загружать в технологическую ёмкость измельчённым либо целым при температуре воды менее 30°C; уменьшать процентное соотношение зерна пшеницы к воде при загрузке или добавлять воду в конце рабочего процесса.

Ключевые слова: зерно, процесс производства зерновой патоки, водно-зерновая смесь, зерновая патока, сила смятия зерна, вязкость водно-зерновой смеси, текучесть зерновой патоки, пассивный измельчитель

Формат цитирования: Нечаев В.Н. Технологический процесс производства зерновой патоки: пути оптимизации // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 11-16. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-11-16>.

© Нечаев В.Н., 2023

ORIGINAL ARTICLE

Technological process of grain molasses production: ways to optimize

*Vladimir N. Nechaev, CSc (Eng), Associate Professor*nechaev-v@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7566-6013>

Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics; 22, Oktyabrskaya Str., Knyaginino, 606340, Russian Federation

Abstract. Enriching the diet of cows with grain molasses increases the energy value of forage. Lack of data on the grain crumbling force acting in the process of fodder preparation; viscosity and fluidity of grain molasses depending on the type of cereal crop prevents finding possible ways to improve grain molasses production. To solve this problem, the author compared physical and mechanical characteristics of the grain of spring barley (the Raushan variety), winter rye (the Grafinya variety), and spring wheat (the Moskovskaya 35 variety) on the force of crumbling. The study proved that the maximum force of grain crumbling (10 N) is characteristic of barley (1.06 times more than winter rye and 2.00 times more than spring wheat). It was also found that the use of a passive grain crusher with a grating accelerates grain crushing by 15.0% on average. The study revealed the relationship between the force of grain crumbling, circulation time of water-grain mixture in the water circuit of the plant, temperature, kinematic viscosity of water-grain mixture, and the fluidity of grain molasses. The maximum viscosity potential of the water-grain mixture was observed

in the temperature range of 34 to 56°C, and the viscosity of water-rye mixture was higher than that of water-wheat and water-barley mixtures. It was found that the use of crushed grain increases the starting value of the mixture viscosity by 10 times as compared to the whole grain. However, at 60°C this difference does not exceed 4% (as exemplified by spring barley). The kinematic viscosity of the finished product during post-fermentation for wheat and barley molasses increases in 2.7 and 1.6 times, respectively, while for rye molasses it decreases in 1.2 times. The fluidity of wheat molasses is $0.129 \cdot 10^{-3} \text{ cP}^{-1}$, rye – $0.53 \cdot 10^{-3} \text{ cP}^{-1}$, barley – $0.3 \cdot 10^{-3} \text{ cP}^{-1}$. To optimize grain molasses production, it is necessary to feed crushed barley into the technological container, or feed whole barley at water temperature less than 30°C; reduce the percentage ratio of wheat grain to water during feeding or add water at the end of the working process.

Keywords: grain, grain molasses production, water-grain mixture, grain molasses, grain crumbling force, viscosity of water-grain mixture, fluidity of grain molasses, passive grain crusher

For citation: Nechaev V.N. Technological process of grain molasses production: ways to optimize. Agricultural Engineering (Moscow), 2023;25(5):11-16. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-11-16>.

Введение. Производство концентрированных легкопереваримых и сбалансированных по всем питательным веществам кормов для высокоудойных коров является актуальной проблемой. Обострение проблемы вызвано в первую очередь дефицитом сахаров, сырого и переваримого протеина в рационе животных, приводящим к нарушению обмена веществ и развитию вторичных иммунодефицитов¹ [1]. Добавление в рацион зерновой патоки позволяет восполнить дефицит кормового сахара, протеина и в целом повысить энергетическую питательность корма [2]. Знание реологических свойств зерновой патоки, например, её вязкости, является важным как при конструировании и оценке эффективности работы соответствующего технологического оборудования для её приготовления, транспортировки, раздачи, так и для прогнозирования стабильности корма при хранении [3, 4]. Учёт таких свойств при численном моделировании процессов, происходящих в установках, позволит создавать новые продукты желаемого вкуса, текстуры и определённой текучести.

В научно-технической литературе, изучающей процесс производства зерновой патоки, отсутствуют сведения о характере изменения твердости или силы смятия зерновки за время приготовления корма, о том, каким образом меняются вязкость и текучесть зерновой патоки в зависимости от вида злаковой культуры и как меняется вязкость за время ферментации. Недостаток этих данных сужает представление о возможных способах совершенствования технологии приготовления и раздачи кормосмесей с включением в их состав зерновой патоки.

Цель исследований: определить прочностные свойства зерна в процессе приготовления зерновой патоки, а также вязкость водно-зерновой смеси на определённых температурных режимах и в конце ферментации.

¹ Мотовилов К.Я., Мотовилов О.К., Аксенов В.В. Нанобиотехнологии в производстве зерновых патонок для животноводства: Монография. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2015. 134 с.

Материалы и методы. Процесс производства зерновой патоки обеспечивался с помощью установки, разработанной сотрудниками Княгининского университета (рис. 1). Установка предусматривает замкнутый водяной контур, состоящий из системы трубопроводов с запорными кранами, центробежного насоса и технологической ёмкости с пассивным измельчителем.

Технология предусматривает следующие этапы: нагрев воды, загрузку зерна и фермента, получение водно-зерновой смеси, выдержку смеси и получение зерновой патоки.

После предварительного заполнения технологической ёмкости необходимым объёмом воды и включения центробежного насоса происходит нагрев воды до 30°C за счёт постоянной циркуляции в замкнутом водяном контуре. Далее, при достижении заданной температуры, зерно и фермент равномерно засыпаются в технологическую ёмкость установки. После этого в водяном контуре начинают циркулировать вода, зерно и фермент до образования однородной суспензии и достижения ею температуры 58...60°C. Далее центробежный насос отключается, и запускается процесс ферментации продолжительностью 1,0-1,5 ч.

Пассивный измельчитель с рациональным углом наклона и диаметром отверстий решётки под определённую злаковую культуру способствует сокращению



Рис. 1. Общий вид установки
Fig. 1. General view of the installation

процесса приготовления зерновой патоки [5, 6], повышает ресурс рабочего колеса центробежного насоса и даёт возможность использовать не только измельченное (плющенное), но и цельное зерно. Центробежный насос, являясь генератором тепла, обеспечивает массоперенос, перемешивание и образование новых поверхностей путём взаимодействия с частицами смеси, направляет их к решётке пассивного измельчителя, где происходит дополнительное их измельчение.

Для реализации серии опытов и приготовления зерновой патоки выбраны яровая ячмень (сорт Раушан), озимая рожь (сорт Графиня), яровая пшеница (сорт Московская 35) как наиболее распространённые виды зерна в хозяйствах, используемые при производстве кормов, выработке комбикормов и переработке их в жидкие сахаристые кормосмеси¹ [3, 6].

На первом этапе определены физико-механические параметры зерна: влажность, натура и эквивалентный диаметр зерна, определяемый как диаметр шара объёмом, равным объёму одной зерновки (табл. 1). Для определения влажности зерна использован влагомер Фауна-М.

При определении значения силы смятия использовалась малая выборка из 15 шт. зёрен каждого вида, взятых из тех же партий зерна, из которых приготавливалась патока. При измерении зерновка располагалась горизонтально на неподвижной плоской опорной поверхности бороздкой вверх, а сверху прижималась плоской насадкой подвижного штока динамометра до характерного разрушения тела зерновки. При таком расположении площадь поперечного сечения зерновки является максимальной, что позволяет в большей степени раскрыть эндосперм при смятии [7]. На цифровом мониторе динамометра Мегеон фиксировалось максимальное значение силы смятия $F_{см}$ в кН.

Вязкость водно-зерновой смеси определялась вискозиметром Viscolead Advance со сменными адаптерами с разными пределами допустимой максимальной вязкости. В контейнер помещалась исследуемая смесь объёмом порядка 0,7 л. В меню Measurement Configuration задавались параметры измерения вязкости жидкой среды: тип шпинделя серии R (ротационный), скорость вращения шпинделя, об/мин, плотность жидкого

образца, г/см³. Автоматически сообщалось максимальное значение вязкости, определяемой при выбранных параметрах шпинделя и скорости. Далее в контейнер со смесью погружались шпиндель до середины метки на его оси и температурный зонд вискозиметра. После нажатия кнопки ON в меню Measuring отслеживалась процентная величина закручивания пружины. Результат считался значимым, если момент закручивания находился в пределах 50...95%. Это достигалось регулировкой скорости вращения и (или) сменой шпинделя.

Результаты и их обсуждение. Значения силы смятия по видам культур представлены в форме сравнительной диаграммы размаха (рис. 2). Максимальное значение определяемого показателя присуще ржи, но в среднем сила смятия зерновки ячменя больше, чем зерновки ржи, на 6,3%, а для зерновки пшеницы значение меньше в 2 раза. Равномерное распределение значений и небольшая дисперсия характерны для ячменя. Найденные значения являлись начальным условием при определении зависимости изменения силы смятия от времени циркуляции водно-зерновой смеси в водяном контуре установки.

Для каждой культуры проведена отдельная серия опытов. Решётка пассивного измельчителя устанавливалась с оптимальными значениями угла наклона и диаметром отверстий, при которых зафиксированы наименьшие удельные энергозатраты: например, для ржи угол настраивался на 60°, диаметр отверстий решётки – 6 мм. Согласно технологии, исходя из 50 кг готовой зерновой патоки, отмеряли 1/3 часть зерна + фермент и 2/3 воды. В процессе приготовления зерновой патоки с периодичностью в 7,5 мин отбирались пробы мерным ведёрком из-под сливного отверстия нагнетательного трубопровода. После этого из пробы выделялась одна часть навеской 100 г и равномерно распределялась по плоской чаше. Отбирались менее разрушенные зерновки, и в трёхкратной повторности определялась сила смятия на динамометре. Полученные результаты сведены в таблицу 2. Наименьшее время достижения рабочей смесью температуры 60°C, равное 30 мин, отмечено у пшеницы; немного больше – для водно-ржаной смеси, и самый длительный процесс (40,48 мин) зафиксирован для водно-ячменной смеси.

Основные физико-механические параметры зерна

Таблица 1

Main physical and mechanical parameters of grain

Table 1

Вид зерна (год урожая) Type of grain (harvest year)	Натура, г/см ³ Grain unit, g/cm ³	Плотность зерновки, г/см ³ Grain density, g/cm ³	Влажность, % Moisture content, %	Эквивалентный диаметр зерна, мм Equivalent grain diameter, mm
Пшеница (2022 г.) / Wheat (2022)	0,790	1,06	12,6	3,91
Ячмень (2022 г.) / Barley (2022)	0,720	1,14	13,6	4,41
Рожь (2019 г.) / Rye (2019)	0,806	1,06	14,8	3,87

Сила смятия постепенно снижается и в конце рабочего процесса уходит в ноль, кроме случая с ячменём. Это говорит о том, что в ячменной патоке остаются явные частицы, значение силы смятия которых в среднем составляет порядка 10 Н. Экспериментальные значения с высокой степенью адекватности описываются полиномиальными зависимостями:

$$F_{\text{см}}(\text{п}) = 8 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^2 - 0,006 \cdot \tau + 0,11; \quad (1)$$

$$F_{\text{см}}(\text{р}) = 0,0001 \cdot \tau^2 - 0,0103 \cdot \tau + 0,2035; \quad (2)$$

$$F_{\text{см}}(\text{я}) = -5 \cdot 10^{-6} \cdot \tau^3 + 0,0003 \cdot \tau^2 - 0,0117 \cdot \tau + 0,2193. \quad (3)$$

Для пшеницы ($R^2 = 0,9999$) и ржи ($R^2 = 0,9853$) можно использовать полиномы 2 степени, для ячменя ($R^2 = 0,9996$) – полином 3 степени.

В качестве экспериментальной проверки проведён опыт приготовления ячменной патоки при использовании пассивного измельчителя со снятой решёткой. Как показывает график (рис. 3), кривая, описывающая процесс с применением решётки, находится ниже кривой силы смятия без решётки в среднем на 15%. Этот факт

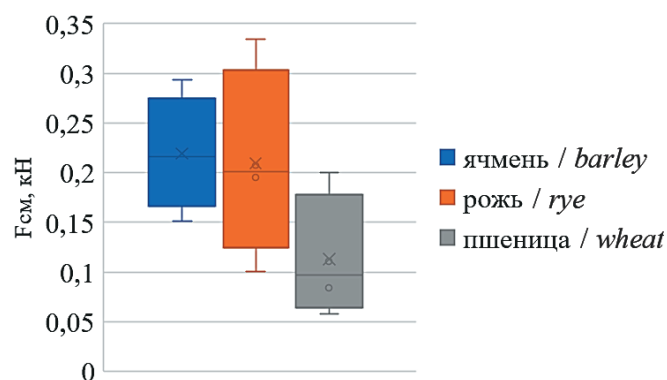


Рис. 2. Диаграмма размаха значений силы смятия исходных образцов зерна

Fig. 2. Scale diagram of the crumbling force values of initial grain samples

Таблица 2
Среднее значение силы смятия зерновок в процессе производства зерновой патоки

Table 2
Average value of grain crumbling force after grain feeding into the process tank

Время τ , мин Time τ , min	Сила смятия $F_{\text{см}}$, кН / Crumpling force F_{cm} , kN		
	Пшеница / Wheat	Ячмень / Barley	Рожь / Rye
0	0,1100	0,2200	0,2070
7,50	0,0690	0,1470	0,1210
15,00	0,0380	0,1100	0,0920
22,50	0,0137	0,0800	0,0250
30,00	0	0,0570	0,0070
31,50	-	-	0
37,50	-	0,0260	-
40,48	-	0,0100	-

подтверждает необходимость установки решётки, способствующей ускоренному процессу разрушения зерновки за счёт совокупности физических явлений истирания и деформации от удара. С точки зрения эксплуатации машины установка малозатратной решётки позволит увеличить ресурс насоса и в целом снизить энергозатраты на единицу корма. Гипотетически, с точки зрения физико-химических процессов, за счёт ускоренного разрушения зерновки увеличивается скорость набухания и клейстеризации, что приводит к превращению крахмала в легкодоступные сахара.

Другая часть отобранной пробы использовалась для определения плотности и кинематической вязкости. Графическое изображение зависимости между кинематической вязкостью и температурой показывает, что для всех случаев с повышением температуры вязкость растёт (рис. 4). Потенциал вязкости водно-ржаной смеси на участке температуры от 34 до 56°C выше, чем для водно-пшеничной и водно-ячменной смесей. Возможной причиной этого является отличительная особенность зерна ржи образовывать

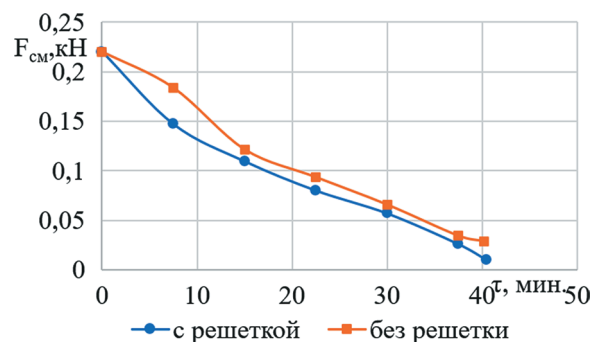


Рис. 3. Сила смятия зерновки ячменя в зависимости от времени циркуляции смеси в водяном контуре установки с пассивным измельчителем

Fig. 3. Barley grain crumbling force depending on the circulation time of the mixture in the water circuit of the installation with a passive grain crusher

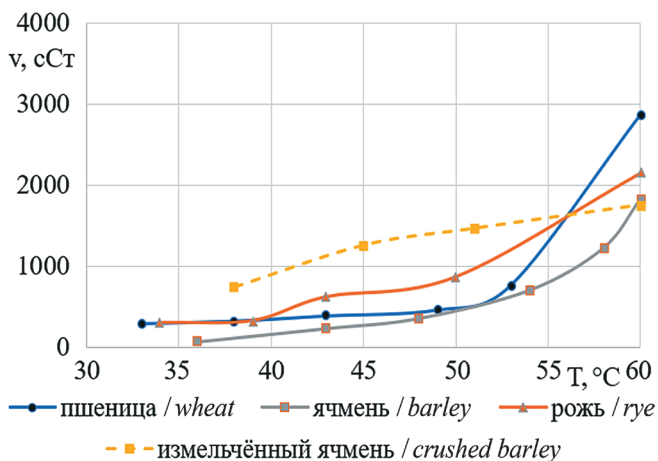


Рис. 4. Кинематическая вязкость водно-зерновой смеси
Fig. 4. Kinematic viscosity of water-grain mixture

слизеобразующие пентозаны при низких температурах [8]. Содержание водорастворимых моносахаридов типа ксилозы, влияющих на высокие показатели вязкости [9], в 2 раза выше в зерне ржи, чем в пшенице, и в несколько раз выше, чем в ячмене [10].

Вязкость для водно-пшеничной смеси носит также неоднозначный характер. Относительно медленный подъём вязкости наблюдался на участке температуры 33...53°C в связи с поглощением воды и постепенным набуханием крахмальных зерен [11]. После полного разрушения зерна наступает стадия клейстеризации крахмала с образованием малоподвижных мицелл, а следовательно, происходит повышение вязкости. Известно, что температура клейстеризации крахмала пшеницы наступает раньше и составляет 52...64°C, для ржи – от 55°C, а для ячменя – 61...62°C [10]. При 60°C вязкость водно-пшеничной смеси на 30% больше, чем вязкость водно-ржаной смеси. Вязкость водно-ячменной смеси возрастает более плавно и при 60°C составляет 1823 сСт, что на 57% меньше вязкости водно-пшеничной смеси, поскольку используемый ячмень имел цветковую оболочку, которая трудно гидролизует ферментами². Однако экспериментальной проверкой установлено, что при использовании в качестве зернового компонента измельчённого ячменя со средневзвешенным диаметром частиц 1,39 мм стартовая кинематическая вязкость водно-ячменной смеси по сравнению со смесью, где использован целый ячмень, в 10 раз выше. Но в конце рабочего цикла при 60°C вязкость между данными группами отличается несущественно – всего на 4%.

Во всех случаях полученные смеси можно отнести к неньютоновским реопектантным жидкостям. Основными факторами, влияющими на вязкость во время эксперимента, являлись температура, физико-механическое воздействие, скорость сдвига, время, а также состав смеси. Роль физико-механического воздействия на белки и полипептиды, вызывающего изменение их структуры, свойств, активность фермента, показана в исследованиях А.М. Дубинской [12].

Текущность смесей φ (сП⁻¹) как величина, обратно пропорциональная динамической вязкости, в процессе приготовления зерновой патоки снижается (рис. 5). Определение такого параметра имеет практическую ценность, и его нужно учитывать в технологии производства патоки. От первого замера текущность водно-ячменной смеси снижается в 26 раз (с $13,36 \cdot 10^{-3}$ до $0,519 \cdot 10^{-3}$ сП⁻¹), для водно-пшеничной смеси – в 10 раз (с $3,21 \cdot 10^{-3}$ до $0,326 \cdot 10^{-3}$ сП⁻¹), для водно-ржаной смеси – в 6 раз (с $2,87 \cdot 10^{-3}$ до $0,465 \cdot 10^{-3}$ сП⁻¹). Как видим, пшеничная патока на момент приготовления обладает минимальной текучностью.

² Тетяников Н.В., Боме Н.А. Генетические ресурсы ячменя и их использование в селекции: Монография. М., 2022. 215 с.

Заключительным этапом исследований являлось определение кинетики процесса вязкости в постферментации на момент выхода готового продукта – зерновой патоки. В случае с пшеничной и ячменной патокой процесс ферментации благоприятно влияет на увеличение вязкости и имеет выраженный постэффект (рис. 6). Так, кинематическая вязкость возрастает для пшеничной патоки с 2862 до 7820 сСт (практически в 2,7 раза) с уменьшением текучести до $0,129 \cdot 10^{-3}$ сП⁻¹, для ячменной – на 60% с уменьшением текучести до $0,3 \cdot 10^{-3}$ сП⁻¹.

Уникальной особенностью ржаной патоки в пост-ферментации являлось снижение вязкости на 20% – до 1788 сСт, а текучесть увеличивалась до $0,53 \cdot 10^{-3}$ сП⁻¹. По мнению Л.А. Кушнерук [13], такое свойство объясняется происходящими процессами внутри белковых мицелл по перераспределению связанной воды между молекулами сахара и белка. Причины этого явления окончательно не установлены.

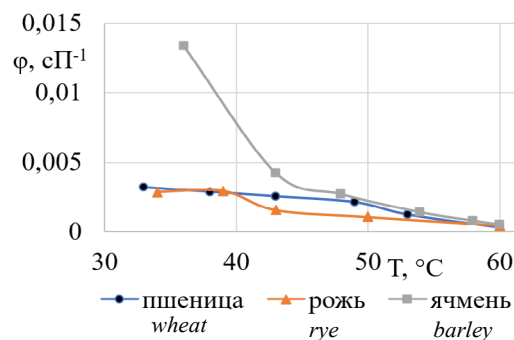


Рис. 5. Текущность водно-зерновой смеси

Fig. 5. Fluidity of water-grain mixture

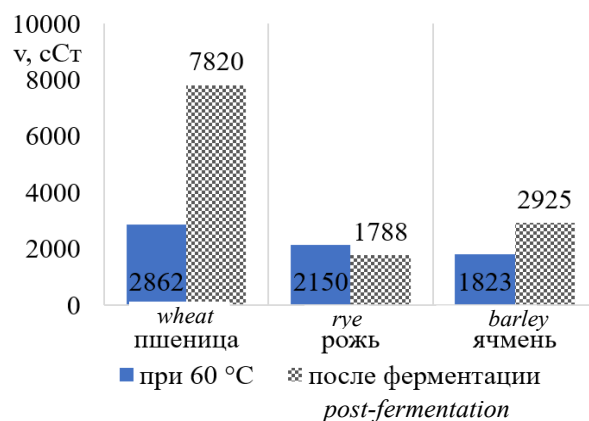


Рис. 6. Кинематическая вязкость на момент окончания циркуляции смеси и в постферментации

Fig. 6. Kinematic viscosity at the end of the mixture circulation and in post-fermentation

Выводы

1. Использование решётки в пассивном измельчителе благоприятно влияет на разрушение зерна и процесс производства зерновой патоки.

2. При производстве ячменной патоки рекомендуется загружать зерно в технологическую ёмкость либо предварительно измельчённым, либо целым при температуре воды менее 30°C.

3. При производстве пшеничной патоки, обладающей слабой текучестью ($0,129 \cdot 10^{-3}$ сП⁻¹), необходимо

уменьшать концентрацию зерна за счёт изменения процентного соотношения зерна к воде при загрузке или добавления воды в конце рабочего процесса. Это является задачей последующих исследований.

4. Для ржаной патоки в период постферментации необходимо учитывать эффект снижения вязкости на 20%.

Список использованных источников

1. Мищенко В.А., Мищенко А.В., Ермилов И.В., Черных О.Ю., Якубенко Е.В., Думова В.В. Анализ нарушений обмена веществ у высокоудойных коров // Ветеринария Кубани. 2012. № 6. С. 15-17. EDN: PNFBVT.

2. Сизова Ю.В., Булатов С.Ю., Нечаев В.Н. Приготовление зерновой патоки из зерна // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (67). С. 143-146. EDN: NSVEJV.

3. Аксёнов В.В. Переработка зерна ржи и пшеницы на кормовые углеводные добавки и их использование в рационах лактирующих коров // Вестник КрасГАУ. 2007. № 1. С. 184-186. EDN: HBWZSC.

4. Шлейкин А.Г., Баракова Н.В., Петрова М.Н., Данилов Н.П., Аргымбаева А.Е. Влияние сахарного сиропа, мёда и злаков на реологические свойства йогурта // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015. № 2. С. 24-34. EDN: TWCWBD.

5. Сергеев А.Г., Савиных П.А., Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Шамин А.Е. Малозатратная установка для производства зерновой патоки // Сельский механизатор. 2020. № 5-6. С. 26-27. EDN: BWPXHD.

6. Marczuk A., Misztal W., Bulatov S., Nechayev V., Savinykh P. Research on the work process of a station for preparing forage. Sustainability. 2020;12(3):1050. <https://doi.org/10.3390/su12031050>

7. Чикина Е.Ю., Злочевский В.Л. Энергия сжатия зерновки при площении // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 7 (81). С. 93-96. EDN: NUOSTP.

8. Бахитов Т.А., Челнокова Е.Я., Зайцева Л.В., Колпакова В.В. Ресурсосберегающие способы переработки зерна ржи // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2008. № 5-6. С. 49-52. EDN: JVXPID.

9. Гончаренко А.А., Тимошенко А.С. Сравнительная оценка сортов зерновых культур по вязкости водного экстракта и структуре водорастворимых пентозанов // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2007. № 1. С. 60-61. EDN: HYLKBB.

10. Васильева А.А., Парамонов Т.А., Панова Т.М. Совершенствование технологии пивного сусле с повышенной дозировкой несоложенного сырья // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2020. № 1. С. 18-27. EDN: STDZHB.

11. Холманский А.С., Сидоренко А.С. Зависимость кинетики набухания семян от температуры // Физико-химический анализ свойств многокомпонентных систем. 2008. № 6. С. 8. EDN: KTZJHT.

12. Dubinskaya A.M. Transformations of organic compounds under the action of mechanical stress // Успехи химии. 1999. № 68 (8). С. 722-724. EDN: MPDECN.

13. Бахитов Т.А. Ресурсосберегающие технологии хлеба и комбикормов с использованием продуктов ферментативного гидролиза зерна ржи // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. № 9 (59). С. 279-283. EDN: RBOLTR.

References

1. Mishchenko V.A., Mishchenko A.V., Ermilov I.V., Chernyh O. Yu., Yakubenko E.V., Dumova V.V. Analysis of metabolic disorders in high-yielding cows. *Veterinariya Kubani*. 2012;6:15-17. (In Rus.)

2. Sizova Yu.V., Bulatov S.Yu., Nechaev V.N. Preparation of grain molasses from grain. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2021;4(67):143-146. (In Rus.)

3. Aksenov V.V. Processing of grain of a rye and wheat on feed carbohydrate additives and their use in diets of the lactating cows. *Bulletin of KSAU*. 2007;1:184-186. (In Rus.)

4. Shlenkin A.G., Barakova N.V., Petrova M.N., Danilov N.P., Argymbaeva A.E. Influence of sugar syrup, honey and cereals on the rheological properties of yogurt. *Scientific Journal of ITMO University. Series: Processes and Food Production Equipment*. 2015;2:24-34. (In Rus.)

5. Sergeev A.G., Savinyh P.A., Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Shamin A.E. Low-cost grain molasses plant. *Selskiy mekhanizator*. 2020;5-6:26-27. (In Rus.)

6. Marczuk A., Misztal W., Bulatov S., Nechayev V., Savinykh P. Research on the work process of a station for preparing forage. *Sustainability*. 2020;12(3):1050. <https://doi.org/10.3390/su12031050>

7. Chikina E.Yu., Zlochevskiy V.L. Energy of grain compression during flattening. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2011;7(81):93-96. (In Rus.)

8. Bakhitov T.A., Chelnokova E.Ya., Zaytseva L.V., Kolpakova V.V. Resource-saving ways of processing rye grain. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2008;5-6:49-52. (In Rus.)

9. Goncharenko A.A., Timoshchenko A.S. Comparative evaluation of grain crop varieties by the viscosity of the aqueous extract and the structure of water-soluble pentosans. *Vestnik Rossiyskoy akademii selskokhozyaystvennykh nauk*. 2007;1:60-61. (In Rus.)

10. Vasilieva A.A., Paramonov T.A., Panova T.M. Improvement of beer wort technology with an increased share of unsalted raw materials. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya*. 2020;1:18-27. (In Rus.)

11. Kholmanskiy A.S., Sidorenko A.S. Dependence of the kinetics of seed swelling on the temperature. *Fiziko-khimicheskiy analiz svoystv mnogokomponentnykh sistem*. 2008;6:8. (In Rus.)

12. Dubinskaya A.M. Transformations of organic substances under the action of mechanical stresses. *Uspekhi khimii*. 1999;68(8):708-724. (In Rus.)

13. Bakhitov T.A. Resource-saving technologies of bread and compound feed making with the use of enzymatic rye grain hydrolysis products. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2006;9:279-283. (In Rus.)

Статья поступила в редакцию 11.03.2023, после рецензирования и доработки 06.07.2023, принята к публикации 10.07.2023

Received 11.03.2023; revised 06.07.2023; accepted 10.07.2023

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.363.7

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-17-22

**Определение оптимальных конструктивно-технологических параметров
молотковой дробилки с решетами в торцевых поверхностях****Савиных Петр Алексеевич**, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник¹priemnaya@fanc-sv.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0524-9721>, AuthorID426517**Турубанов Николай Валентинович**✉, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник¹nikolaytu@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1446-6851>, AuthorID455809**Мошонкин Александр Михайлович**, канд. техн. наук, доцент²a.moshonkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6624-4847>, AuthorID858451¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого; 610007, Российская Федерация, г. Киров, ул. Ленина, 166а² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. Измельчение зерна при подготовке зерновых кормов в хозяйствах осуществляется в основном на молотковых дробилках. Для получения более качественного готового продукта с меньшими энергетическими затратами необходимо определить оптимальные конструктивно-технологические параметры молотковой дробилки. С этой целью в лаборатории механизации животноводства разработана молотковая дробилка с решетами в торцевых поверхностях, позволяющая производить регулировку сечения отверстий решёт без их замены. На производственной базе ФАНЦ Северо-Востока проведены экспериментальные исследования по определению влияния изменения конструктивно-технологических параметров на основные показатели её работы. По результатам исследований получены математические модели рабочего процесса молотковой дробилки, согласно которым наилучшими конструктивно-технологическими параметрами молотковой дробилки являются площадь отверстий решёт 58,6 мм², высота кольца сепарации материала 40 мм и площадь воздушного фильтра воздуха 6 м². При этом пропускная способность дробилки составляет 1,23 т/ч, удельные энергозатраты – 3,44 кВт·ч/(т·ед.ст.изм.), средний размер измельченных частиц – 1,45 мм, процентное содержание целых зерен в готовом продукте – 0,17%.

Ключевые слова: дробилка, измельчение зерна, математические модели, решето, площадь отверстий решёт, высота кольца сепарации материала, площадь воздушного фильтра, удельные энергозатраты

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0002).

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

Формат цитирования: Савиных П.А., Турубанов Н.В., Мошонкин А.М. Определение оптимальных конструктивно-технологических параметров молотковой дробилки с решетами в торцевых поверхностях // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 17-22. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-17-22>.

© Савиных П.А., Турубанов Н.В., Мошонкин А.М., 2023

ORIGINAL PAPER

Determination of optimal design and technological parameters of a hammer crusher with sieves in end surfaces

Petr A. Savinyh, DSc (Eng), Professor, Chief Research Associate, Head of the Laboratory¹

priemnaya@fanc-sv.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0524-9721>, AuthorID426517

Nikolay V. Turubanov✉, PhD (Eng), Associate Professor, Senior Research Associate¹

nikolaytu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1446-6851>, AuthorID455809

Aleksandr M. Moshonkin, PhD (Eng), Associate Professor²

info@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6624-4847>, AuthorID858451

¹ Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitsky, 166a, Lenina str., Kirov, 610007, Russian Federation

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

Abstract. When preparing compound feeds, the main machines used for grain crushing are hammer crushers. To obtain a better-quality finished product with lower energy costs, it is necessary to determine the optimal design and technological parameters of a hammer crusher. To this end, the laboratory of livestock production mechanization has designed a hammer crusher with sieves in the end surfaces. The hammer crusher has adjustable cross-sections of the sieve holes, so there is no need to replace the sieves. Experimental studies have been carried out at the production facilities of the North-East Federal Agency of Scientific Institutions to determine the impact of changes in structural and technological parameters of the crusher on its main performance indicators. According to the results of experimental studies, mathematical models of the working process of the hammer crusher have been obtained. As a result, the optimal design and technological parameters of the hammer crusher have been determined: the area of the sieve openings 58.6 mm²; the height of the material separation ring 40 mm and the size of the air filter area 6 m², while the throughput capacity of the crusher is 1.23 t/h, specific energy consumption is 3.44 kWh/(t×units of fineness degree), the average size of crushed particles is 1.45 mm, the share of whole grains in the finished product is 0.17%.

Keywords: crusher, grain crushing, mathematical models, sieve, area of sieve openings, height of material separation ring, air filter area, specific energy consumption.

Funding. The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State Assignment of the Federal Agrarian Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitskiy" (topic No. FNWE-2022-0002).

Acknowledgements. The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

For citation: Savinyh P.A., Turubanov N.V., Moshonkin A.M. Determination of optimal design and technological parameters of a hammer crusher with sieves in end surfaces. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023; 25(5):17-22. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-17-22>.

Введение. При подготовке зерновых кормов к скармливанию основной технологической операцией является измельчение. При измельчении снижается прочность зерновки, образуется множество частиц и увеличивается поверхность корма, за счёт чего улучшается его усвояемость [1-3]. При приготовлении комбикормов дроблённые компоненты более равномерно перемешиваются [4]. В основном для измельчения зерна в хозяйствах используются простые в эксплуатации молотковые дробилки, позволяющие получать дерть различного помола в зависимости от зоотехнических требований и перерабатывать большинство используемых концентрированных кормов.

Широкое распространение получили дробилки, в которых в качестве сепарирующего элемента используется решето, его достаточно просто менять

при поломке и легко подобрать необходимый размер отверстий. Для получения более качественного готового продукта и снижения энергоёмкости его получения необходимо более глубокое изучение рабочего процесса дробилок.

Цель исследований: провести оптимизацию конструктивно-технологических параметров молотковой дробилки с решетами в торцевых поверхностях.

Научная новизна работы заключается в получении математических моделей процесса измельчения зерновых материалов в молотковой дробилке, позволяющих определить оптимальные показатели её работы.

Материалы и методы. В лаборатории механизации животноводства ФАНЦ Северо-Востока разработана молотковая дробилка с решетами в торцевых поверхностях (патент на изобретение № RU2338441).

Проведены экспериментальные исследования по определению влияния конструктивно-технологических факторов на основные показатели её работы.

В корпусе дробилки 1 размещены молотковый ротор 2 с подвешенными на стержнях молотками 3, дека 4, охватывающая по периметру дробильную камеру 5, неподвижные 6 и подвижные 7 решета и вентилятор 8. Материал в дробилку подается загрузочным устройством 9 (рис.).

В начале работы через загрузочное устройство 9 воздушным потоком, создаваемым за счёт разрежения вентилятором 8, материал подаётся в дробильную камеру 5, где под действием молотков 3 молоткового ротора 2 и деки 4 подвергается измельчению. Готовый продукт выводится из дробильной камеры воздушным потоком через подвижные 7 и неподвижные 6 решета и далее вентилятором 8 направляется на выгрузку. Подвижные решета 7, установленные с возможностью перемещения относительно неподвижных 6, позволяют регулировать крупность помола за счёт изменения площади отверстий.

Мощность, затрачиваемую ротором дробилки на измельчение зерна, можно определить по формуле [5]:

$$N_{\text{эф}} = N_{\text{эл}} \cdot \eta_{\text{рх}},$$

где $N_{\text{эл}}$ – мощность, замеренная ваттметром, кВт; $\eta_{\text{рх}}$ – КПД электродвигателя.

Удельные энергозатраты ($q_{\text{эл}}$, кВт·ч·т), отнесенные к единице массы готового продукта, определяются выражением [5]:

$$q_{\text{эл}} = \frac{N_{\text{эл}}}{Q},$$

где Q – пропускная способность дробилки при установленном режиме работы, т/ч;

$$Q = \frac{3,6 \cdot G}{t},$$

где G – масса готового продукта за время опыта, кг; t – время опыта, с.

Удельные затраты энергии ($q_{\text{эф}}$, кВт·ч/т) непосредственно на измельчение зерна [6] составляют:

$$q_{\text{эф}} = \frac{N_{\text{эф}}}{Q}.$$

Удельные энергозатраты электрической энергии $\Theta_{\text{эл}}$, кВт·ч/(т·ед.ст.изм.) с учётом степени измельчения [7] –

$$\Theta_{\text{эл}} = \frac{N_{\text{эл}}}{Q \cdot \lambda},$$

где λ – степень измельчения;

$$\lambda = \frac{D_{\text{экв}}}{d_{\text{ср}}},$$

где $D_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр зерна; $d_{\text{ср}}$ – средневзвешенный размер частиц дерти;

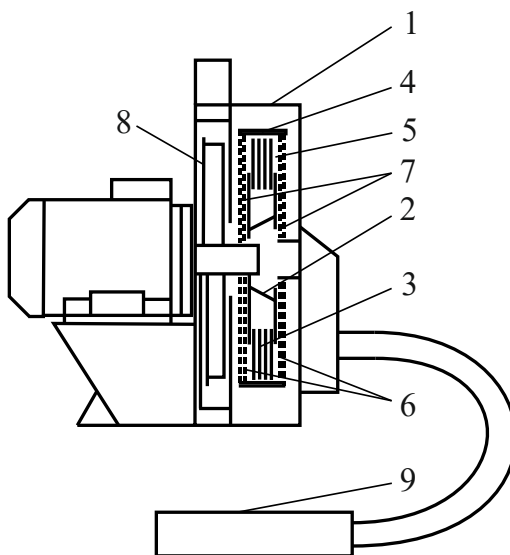
$$D_{\text{экв}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot V_z}{\pi}},$$

где V_z – средний объём зерна, определяемый погружением 100 зёрен в мерный цилиндр, частично заполненный жидкостью (бензин, толуол, ксилол).

При определении средневзвешенного размера частиц дерти из контрольной пробы отбиралась навеска массой 0,1 кг (ГОСТ 13496.0-2016. Комбикорма, комбикормовое сырьё. Методы отбора проб). Навеску помещали в вибрационный классификатор и просеивали в течение 5 мин. Для отсева использовали набор сит с отверстиями: (дно; 0,244; 0,5; 1,00; 1,50; 2,00; 2,50; 3,00) · 10⁻³ м. Остаток материала с каждого сита взвешивался на весах ВЛКТ-500 г-М. Для получения более точных результатов анализ каждой пробы проводили в трёхкратной повторности [8, 9].



а



б

Рис. Дробилка, общий вид (а) и схема (б):

- 1 – корпус; 2 – молотковый ротор; 3 – молотки; 4 – дека;
5 – дробильная камера; 6 – неподвижные решета;
7 – подвижные решета; 8 – вентилятор; 9 – загрузочное устройство

Fig. Crusher (a) general view; (b) structural diagram:

- 1 – housing; 2 – hammer rotor; 3 – hammers; 4 – deck;
5 – crushing chamber; 6 – fixed sieves; 7 – movable sieves; 8 – fan; 9 – loading device

Средневзвешенный размер частиц дерти определяли по выражению [7]:

$$d_{cp} = \frac{\sum p_i \cdot d_i}{100},$$

где p_i – массовый остаток на сите, %; d_i – средний размер частиц, м.

Средневзвешенное квадратическое отклонение и коэффициент вариации рассчитывали по формулам:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2 p_i}{\sum p_i}}; \quad v = \frac{1}{\bar{d}} \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2 p_i}{\sum p_i}} \cdot 100,$$

где $\bar{d}$ – средневзвешенный размер частиц, м.

В эксперименте использовался ячмень влажностью 14...14,5% с эквивалентным диаметром зёрен 4,25 мм.

Результаты и их обсуждение. Однофакторные экспериментальные исследования позволили выявить наиболее значимые факторы и уровни их варьирования. Для нахождения оптимальных значений факторов применена методика планирования многофакторного эксперимента [10-12]. При проведении исследований использовался план Бокса-Бенкина, имеющий три уровня с нулевым значением факторов [13].

В качестве исследуемых факторов выбраны площадь отверстий решёт k_s , мм² (x_1), высота кольца сепарации материала H , мм (x_2), и величина площади воздушного фильтра S_ϕ , м² (x_3) (табл.). Площадь отверстий решёт изменяется за счёт перемещения подвижного решета относительно неподвижного в горизонтальном направлении. Величина перемещения контролируется шириной отверстия в горизонтальной плоскости. Высота кольца сепарации материала

регулируется установкой дисков различного диаметра, закрывающих решета. Величина площади воздушного фильтра, установленного на вертикальном смесителе (циклоне), изменяется путём перевязывания его в необходимых точках.

В качестве критериев оптимизации выбраны: пропускная способность Q , т/ч (y_1); удельные энергозатраты $\mathcal{E}$, кВт·ч/(т·ед.ст.изм.) (y_2); средний размер измельченных частиц d_{cp} , мм (y_3); процентное содержание целых зёрен в готовом продукте m , % (y_4).

После проведения экспериментальных исследований и обработки полученных результатов в программе Statgraphics получены математические модели процесса измельчения материала в молотковой дробилке с решетками в торцевых поверхностях дробильной камеры (незначимые факторы исключены):

$$y_1 = 1,094 + 0,033 \cdot x_1 - 0,042 \cdot x_2 + 0,013 \cdot x_3 + 0,037 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,050 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,028 \cdot x_2^2; \quad (1)$$

$$y_2 = 3,916 - 0,085 \cdot x_2 + 0,054 \cdot x_1^2 - 0,112 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,318 \cdot x_2^2 - 0,180 \cdot x_3^2; \quad (2)$$

$$y_3 = 1,528 + 0,036 \cdot x_1 - 0,053 \cdot x_2 - 0,037 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,087 \cdot x_2^2 - 0,044 \cdot x_3^2; \quad (3)$$

$$y_4 = 0,193 + 0,063 \cdot x_1 + 0,053 \cdot x_2 + 0,022 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,050 \cdot x_2^2 + 0,025 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,043 \cdot x_3^2 \quad (4)$$

Полученные уравнения (1-4) позволяют рассчитывать значения основных показателей работы дробилки в зависимости от величины рассматриваемых факторов. Коэффициент детерминации R^2 для уравнения (1) составил 95,6%; для уравнения (2) $R^2 = 97,3\%$; для (3) $R^2 = 97,7\%$; для (4) $R^2 = 96,7\%$ [14, 15].

Величину влияния каждого фактора на показатели работы дробилки можно оценить по коэффициентам уравнений (1-4)¹. Можно сказать, что наибольшее влияние на показатели работы оказывает высота кольца сепарации материала (x_2). При уменьшении параметра x_2 воздушный поток, поступающий в камеру измельчения, начинает проходить через воздушно-продуктовый слой в большем объёме и тем самым способствует отводу готового продукта. Таким образом, уменьшение высоты кольца сепарации (x_2) способствует увеличению пропускной способности дробилки (y_1), удельных энергозатрат (y_2), среднего размера измельченных частиц (y_3) и снижению количества целых зёрен в готовом продукте (y_4).

¹ Сысоев В.А., Исупов А.Ю., Иванов И.И. Результаты экспериментальной части исследования измельчителя зерна центробежно-роторной конструкции // В книге: Проблемы интенсификации животноводства с учётом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза. Фаленты, Варшава, 2019. С. 144-153. EDN: AQUFEK.

Таблица
Факторы и уровни их варьирования

Table 1
Factors and levels of their variation

Уровни варьирования факторов <i>Levels of variation of factors</i>	Факторы / Factors		
	Площадь отверстий решет, k_s , мм ² <i>Area of the sieve holes, k_s, mm²</i>	Высота кольца сепарации материала, H , мм <i>Height of the separation ring of the material. H, mm</i>	Площадь воздушного фильтра, S_ϕ , м ² <i>Size of the air filter area, S_ϕ, m²</i>
	x_1	x_2	x_3
Верхний (+) <i>Upper</i>	78	120	6
Средний (0) <i>Middle</i>	68	80	4
Нижний (-) <i>Lower</i>	58	40	2

На процентное содержание целых зерен в готовом продукте (y_4) наибольшее влияние оказывает площадь отверстий решёт (x_1). При уменьшении параметра x_1 происходит снижение содержания целых зёрен (y_4).

Величина площади воздушного фильтра (x_3) оказывает существенное влияние на удельные энергозатраты (y_2), средний размер измельченных частиц (y_3) и количество целых зёрен в готовом продукте (y_4). На пропускную способность молотковой дробилки (y_1) фактор (x_3) оказывает незначительное влияние.

Согласно полученным моделям (1-4) максимальное значение пропускной способности молотковой дробилки $y_1 = 1,23$ т/ч достигается при площади отверстий решёт 58,63 мм², высоте кольца сепарации 40 мм и величине площади воздушного фильтра 6 м². Средний размер измельченных частиц $y_2 = 1,58$ мм достигается при площади отверстий решёт 78 мм², высоте кольца сепарации 67,74 мм и величине площади воздушного фильтра 3,16 м². Минимальное значение удельных энергозатрат $y_3 = 3,28$ кВт·ч/(т·ед.ст.изм.)

достигается при площади отверстий решёт 78 мм², высоте кольца сепарации 120 мм и величине площади воздушного фильтра 2 м². Минимальное значение процентного содержания целых зёрен в готовом продукте $y_4 = 0,12\%$ достигается при площади отверстий решёт 58 мм², высоте кольца сепарации 66,8 мм и величине площади воздушного фильтра 4,19 м².

Выводы

Полученные математические модели позволяют сделать вывод о том, что наилучшими конструктивно-технологическими параметрами молотковой дробилки являются: площадь отверстий решёт 58,6 мм²; высота кольца сепарации материала 40 мм; величина площади воздушного фильтра воздуха 6 м². При этом пропускная способность дробилки составляет 1,23 т/ч, величина удельных энергозатрат – 3,44 кВт·ч/(т·ед.ст.изм.), средний размер измельченных частиц – 1,45 мм, процентное содержание целых зерен в готовом продукте – 0,17%.

Список использованных источников

1. Натynchик Т.М., Радчиков В.Ф., Цай В.П., Бесараб Г.В. Физиологическое состояние и продуктивность бычков при скормливании зерна с разной крупностью измельчения // От инерции к развитию: научно-инновационное обеспечение развития животноводства и биотехнологий: Сборник материалов Международной научно-практической конференции «От инерции к развитию: научно-инновационное обеспечение АПК». 2020. С. 135-138. EDN: FTAVSK.
2. Радчикова Г.Н., Богданович Д.М., Медведева Д.В., Васильюк О.Я., Марусич А.Г. Влияние степени измельчения зерна на физиологическое состояние, обмен веществ и продуктивность молодняка крупного рогатого скота // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2022. № 25-1. С. 224-231. EDN: WPLSCQ.
3. Радчиков В.Ф., Кот А.Н., Цай В.П., Бесараб Г.В. и др. Физиологическое состояние и продуктивность бычков при скормливании зерна с разной степенью измельчения // Инновационные технологии в сельском хозяйстве, ветеринарии и пищевой промышленности: Материалы 83-й Международной научно-практической конференции. 2018. С. 117-123. EDN: YLRBEL.
4. Savinyh P., Aleshkin A., Turbanov N., Ivanovs S. Investigation of impact of technological and structural parameters upon energy indicators of work of mixer // Engineering for rural development. 2020. № 19. Pp. 1338-1348. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF334>
5. Федоренко И.Я. Методологические аспекты экспериментальной оптимизации процесса измельчения кормового зерна // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (199). С. 101-107. EDN: XCTRAV.
6. Сундеев А.А., Воронин В.В., Акименко А.В. Сравнительная оценка энергетических показателей измельчения зерна молотковыми дробилками // Наука и образование в современных условиях: Материалы Международной научной конференции. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2016. С. 368-371. EDN: VZFJBN.
7. Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Низовцев С.Л., Сергеев А.Г., Мансуров А.П. Оценка рабочих параметров стержневого

References

1. Natynchik T.M., Radchikov V.F., Tsai V.P., Besarab G.V. Physiological state and productivity of bulls when feeding grain with different grinding sizes. In: *Ot inertsii k razvitiyu: nauchno-innovatsionnoe obespechenie razvitiya zhivotnovodstva i biotekhnologii: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Ot inertsii k razvitiyu: nauchno-innovatsionnoe obespechenie APK"*. 2020:135-138. (In Rus.)
2. Radchikova G.N., Bogdanovich D.M., Medvedeva D.V., Vasilyuk O.Ya., Marusich A.G. Influence of the degree of grain grinding on the physiological state, metabolism and productivity of young cattle. *Aktualnye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva*. 2022;25-1:224-231. (In Rus.)
3. Radchikov V.F., Kot A.N., Tsai V.P., Besarab G.V. Physiological state and productivity of bulls when feeding grain with different grinding sizes. In: *Ot inertsii k razvitiyu: nauchno-innovatsionnoe obespechenie razvitiya zhivotnovodstva i biotekhnologii: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Ot inertsii k razvitiyu: nauchno-innovatsionnoe obespechenie APK"*. 2018:117-123. (In Rus.)
4. Savinyh P., Aleshkin A., Turbanov N., Ivanovs S. Investigation of the impact of technological and structural parameters upon energy indicators of work of mixer. *Engineering for rural development*. 2020;19:1338-1348. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF334>
5. Fedorenko I.Ya. Methodological aspects of experimental optimization of the process of grinding feed grain. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;5(199):101-107. (In Rus.)
6. Sundeev A.A., Voronin V.V., Akimenko A.V. Comparative evaluation of energy indicators of grain crushing by hammer crushers. In: *Nauka i obrazovanie v sovremennykh usloviyakh. Proceedings of the international scientific conference. Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I*. 2016:368-371. (In Rus.)
7. Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Nizovtsev S.L., Sergeev A.G., Mansurov A.P. Evaluation of the operating parameters of a rod crusher when crushing wet grain. *Bulletin NGIEI*. 2022;10(137):48-58. (In Rus.)
8. Baldanov M.B., Sergeev Yu.A., Kononov V.I., Kononova A.A. On determining the rational parameters of a hammer crusher

измельчителя при измельчении влажного зерна // Вестник НГИ-ЭИ. 2022. № 10 (137). С. 48-58. EDN: XVFWMJ.

8. Балданов М.Б., Сергеев Ю.А., Коновалов В.И., Конова-лова А.А. О выборе рациональных параметров молотковой дробилки с монолитным молотком // Вестник ВСГУТУ. 2020. № 1 (76). С. 55-60. EDN: OQGOE.

9. Казаков В.А., Мошонкин А.М. Усовершенствование питающего устройства двухступенчатой плющилки зерна // Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России: Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвященной 100-летию академика Д.К. Беляева. 2017. Т. 3. С. 75-79. EDN: YRAJLD.

10. Marczuk A., Blicharz-Kania A., Savinykh P.A., Isupov A. Yu., Palichyn A.V., Ivanov I.I. Studies of a rotary-centrifugal grain grinder using a multifactorial experimental design method. *Sustainability*. 2019. № 11 (19). P. 5362. <https://doi.org/10.3390/su11195362>

11. Команов П.А., Тавасиев Д.А. Разработка методики по проведению эксперимента на примере полного факторного эксперимента // Академическая публицистика. 2019. № 12. С. 50-52. EDN: EXJVJN.

12. Зверев С.В., Косолапов В.М., Тютюнов С.И., Ставцев А.Э. Оптимизация режимных параметров молотковой дробилки при производстве кормов из зерна люпина белого сорта Дега // Кормопроизводство. 2021. № 2. С. 36-41. EDN: MBJYRO.

13. Казаков В.А., Мошонкин А.М. Экспериментальные исследования питающего устройства плющилки зерна // Энергосберегающие агротехнологии и техника для северного земледелия и животноводства: Международная научная конференция «Энергосберегающие агротехнологии. Техника для северного земледелия и животноводства»; семинар для молодых ученых «Методика научных исследований в механизации сельского хозяйства». Киров: ООО «Кировская областная типография», 2018. С. 218-225. EDN: VTDCQJ.

14. Миронов К.Е., Оболенский Н.В., Гоева В.В., Гришин Н.Е. Разработка и исследование рабочего процесса измельчения зерна дробилки ударно-отражательного действия // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14, № 1 (52). С. 100-106. EDN: ZIJUBN.

15. Исупов А.Ю., Иванов И.И., Плотникова Ю.А., Сухопаров А.И. Исследование показателей работы роторно-центробежного измельчителя // АгроЭкоИнженерия. 2021. № 3 (108). С. 90-99. EDN TYAVLX.

Критерии авторства

П.А. Савиных – концептуализация, методология, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование

Н.В. Турубанов – информационные ресурсы, аналитика, создание черновика рукописи

А.М. Мошонкин – описание результатов, анализ литературы

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 30.03.2023, после рецензирования и доработки 11.09.2023, принята к публикации 18.09.2023

with a monolithic hammer. *Vestnik VSGUTU*. 2020;1(76):55-60. (In Rus.).

9. Kazakov V.A., Moshonkin A.M. Improvement of the feeding device of a two-stage grain flattener. In: *Agrarnaya nauka v usloviyakh modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya APK Rossii. Proceedings of the All-Russian Scientific and Methodological Conference with international participation dedicated to the 100th anniversary of Academician D.K. Belyaev*. 2017:75-79. (In Rus.).

10. Marczuk A., Blicharz-Kania A., Savinykh P.A., Isupov A. Yu., Palichyn A.V., Ivanov I.I. Studies of a rotary-centrifugal grain grinder using a multifactorial experimental design method. *Sustainability*. 2019;11(19):5362. <https://doi.org/10.3390/su11195362>

11. Komanov P.A., Tavasiev D.A. Development of a methodology for conducting an experiment on the example of a complete factor experiment. *Akademicheskaya publitsistika*. 2019;12:50-52. (In Rus.)

12. Zverev S.V., Kosolapov V.M., Tyutyunov S.I., Stavtsev A.E. Optimization of the operating parameters of a hammer crusher in the production of feed from white dega lupine grain. *Kormoproizvodstvo*. 2021;2:36-41. (In Rus.).

13. Kazakov V.A., Moshonkin A.M. Experimental studies of the feeding device of the grain crusher. In: *Energoberegayushchie agrotekhnologii i tekhnika dlya severnogo zemledeliya i zhivotnovodstva*. 2018:218-225. (In Rus.).

14. Mironov K.E., Obolensky N.V., Goeva V.V., Grishin N.E. Development and research of the working process of grain crushing by an impact-reflective crusher. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2019;14(1):100-106. (In Rus.).

15. Isupov A. Yu., Ivanov I.I., Plotnikova Yu.A., Sukhoparov A.I. Investigation of performance indicators of a rotary-centrifugal crusher. *Agroekoenzhineriya*. 2021;3(108):90-99. (In Rus.).

Authors' contribution

P.A. Savinykh – conceptualization, methodology, manuscript finalizing and editing

N.V. Turubanov – information resources, analytics, original draft preparation;

A.M. Moshonkin – description of results, literature review

Conflict of interests

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

Received 30.03.2023; revised 11.09.2023; accepted 18.09.2023

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК: 631.354.2.076

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-23-28

**О соответствии производительности отечественных зерноуборочных комбайнов и урожайности зерновых и зернобобовых культур в России****Михальцов Евгений Михайлович** , канд. техн. наук, ведущий научный сотрудникmihalcov@anc55.ru , <https://orcid.org/0009-0000-5814-5462>**Кем Александр Александрович**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудникkem@anc55.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5979-8246>**Даманский Роман Викторович**, канд. техн. наук, научный сотрудникdamanskiy@anc55.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3663-3630>**Шмидт Андрей Николаевич**, научный сотрудникshmidt@anc55.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5025-6982>

Омский аграрный научный центр; 644012, Российская Федерация, г. Омск, пр-кт Академика Королёва, 26

Аннотация. Возделывание зерновых и зернобобовых культур не подкреплено производством отечественных зерноуборочных комбайнов, способных обеспечить организацию уборочных работ с высоким уровнем эффективности во всём диапазоне урожайности, характерной для условий России. Анализ основных характеристик современных зерноуборочных комбайнов «Ростсельмаш» в привязке их к урожайности зерновых и зернобобовых культур выявил необходимость доработки номенклатуры производимых в Российской Федерации зерноуборочных комбайнов. Расчётно-графический метод показал, что в линейке зерноуборочных комбайнов отечественного производства отсутствуют модели, рассчитанные на уборку зерновых и зернобобовых культур с урожайностью до 1,7 т/га и от 2,9 до 3,5 т/га. Отсутствие этих моделей обуславливает рост себестоимости производства зерновых в хозяйствах, для которых данная урожайность является типичной. Установлено, что для уборки зерновых и зернобобовых культур различной урожайности достаточно иметь линейку из 5 моделей зерноуборочных комбайнов. При этом каждая из них будет иметь 100%-ную загрузку и максимальную эффективность применения в том диапазоне урожайности, на который она рассчитана. Линейка моделей, выстроенная по предлагаемому принципу, обеспечит потребность любого хозяйства в комбайнах на уборке зерновых и зернобобовых культур с урожайностью от 0,87 до 10 т/га. Расчётно-графический метод облегчает подбор рациональной модели комбайна, подходящей к местным условиям по критерию максимальной загрузки молотильно-сепарирующего устройства.

Ключевые слова: зерновые и зернобобовые культуры, урожайность, зерноуборочный комбайн, производительность комбайна, ширина захвата жатки

Формат цитирования: Михальцов Е.М., Кем А.А., Даманский Р.В., Шмидт А.Н. О соответствии производительности отечественных зерноуборочных комбайнов и урожайности зерновых и зернобобовых культур в России // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 23-28. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-5-23-28>.

© Михальцов Е.М., Кем А.А., Даманский Р.В., Шмидт А.Н., 2023

ORIGINAL PAPER

On the compliance of the productivity of domestic combine harvesters and the yield of grain and leguminous crops in Russia**Evgeniy M. Mikhaltsov** , CSc (Eng), Lead Research Engineermihalcov@anc55.ru , <https://orcid.org/0009-0000-5814-5462>**Aleksandr A. Kem**, CSc (Eng), Lead Research Engineerkem@anc55.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5979-8246>**Roman V. Damanskiy**, CSc (Eng), Research Engineerdamanskiy@anc55.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3663-3630>**Andrey N. Schmidt**, Research Engineershmidt@anc55.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5025-6982>

Omsk Agrarian Research Center; 26, Akademika Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

Abstract. The industry of growing grain and leguminous crops is not supported by the production of domestic combine harvesters capable of ensuring the organisation of harvesting operations with a high level of efficiency in the whole

range of yields typical for Russian conditions. The analysis of the main characteristics of modern “Rostselmash” combine harvesters in relation to the yield of grain and leguminous crops has revealed the need to improve the range of combine harvesters produced in the Russian Federation. The calculation and graphic method has shown that in the line of domestic combine harvesters there are no models designed for harvesting grain and leguminous crops with yields up to 1.7 tons/ha and from 2.9 to 3.5 tons/ha. The absence of these models leads to higher production costs of cereals in farms, for which this yield is typical. It has been established that harvesting grain and leguminous crops of different yields requires a range of 5 models of combine harvesters. Each of them will have 100% use and maximum efficiency of utilization in the yield range, for which it is designed. The range of models, built according to the proposed principle, will provide the need of any farm in combines for harvesting grain and leguminous crops with yields from 0.87 to 10 tons per hectare. The graphical analysis method facilitates the selection of a rational combine harvester model suitable for local conditions by the criterion of maximum loading of the threshing and separating device.

Keywords: cereals and leguminous crops, productivity, combine harvester, combine productivity, header width

For citation: Mikhaltsov E.M., Kem A.A., Damanskiy R.V., Schmidt A.N. On the compliance of the productivity of domestic combine harvesters and the yield of grain and leguminous crops in Russia. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(5):23-28. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-23-28>.

Введение. Зерновые и зернобобовые культуры в общих посевных площадях нашей страны в настоящее время составляют около 59% (47 млн га). Многообразие почвенно-климатических зон Российской Федерации во многом определяет урожайность сельскохозяйственных культур. По некоторым зонам различия в урожайности одних и тех же культур достигают кратных величин. Например, в расчёте на убранную площадь средняя урожайность зерновых и зернобобовых культур за последние 20 лет в Краснодарском крае составила 4,78 т/га, а в Сибири – 1,51 т/га¹. Очевидно, что при такой разнице в урожайности уборка должна производиться различающимися по производительности техническими средствами. Для конкретного хозяйства выбор технических средств имеет большое значение, поскольку зерноуборочный комбайн эффективно используется только при загрузке молотильно-сепарирующего устройства, близкой к паспортной.

Исследованиями доказано, что на уборочные работы приходится 25...45% прямых технических затрат технологии производства зерновых культур в целом [1]. При нарушении оптимальных сроков уборки потери зерна яровой пшеницы самоосыпанием составляют от 0,77 до 1,0% в сутки [2], при этом большие потери наблюдаются в засушливые годы.

Одной из составляющих себестоимости зерна при комбайновой уборке является стоимость намолота 1 т зерна. Этот показатель характеризует эффективность применения зерноуборочных комбайнов и зависит от соответствия характеристик комбайна и урожайности убираемых культур. Поэтому себестоимость производства зерновых и зернобобовых

культур зависит, в том числе, от правильности подбора уборочного агрегата для уборки в условиях хозяйства. Для рационального подбора зерноуборочного комбайна на основе учёта урожайности возделываемых культур необходимо рассмотреть модельный ряд отечественных зерноуборочных комбайнов.

Цель исследований: выяснение соответствия линейки современных моделей отечественных зерноуборочных комбайнов условиям уборки в различных почвенно-климатических зонах страны с точки зрения загрузки их молотильно-сепарирующих устройств на хлебах различной урожайности.

Материалы и методы. Исследование проведено на основании анализа технических характеристик зерноуборочных комбайнов, производимых ООО Комбайновый завод «Ростсельмаш» и статистической информации о посевных площадях и урожайности зерновых и зернобобовых культур в регионах Российской Федерации. Применены метод математического анализа, расчётный и расчётно-графический методы.

Результаты и их обсуждение. Анализируя существующую классификацию зерноуборочных комбайнов, мы пришли к выводу о том, что она не способствует объективному выбору конкретной модели для применения в условиях определённой урожайности. Поскольку при прямом комбайнировании в условиях невысокой урожайности зерновых и зернобобовых культур подача хлебной массы жаткой даже максимальной ширины захвата не позволяет загрузить молотильно-сепарирующие устройства комбайна до оптимальных значений, оговорённых технической документацией завода-изготовителя, то добиться высокой эффективности его применения невозможно.

Сегодня на рынке сельскохозяйственной техники при очевидном дефиците современных отечественных комбайнов [3] поставки зарубежной техники и запасных частей к ней по объективным причинам

¹ Урожайность сельскохозяйственных культур (в расчёте на убранную площадь) // Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31533> (дата обращения: 18.01.2023).

становятся менее доступными. Дефицит уборочной техники стал причиной отхода большинства сельскохозяйственных предприятий от практики сочетания прямого и раздельного комбайнирования во время уборки. В большинстве случаев хозяйства производят уборку однофазным методом. Причина этого заключается не только в недостатке техники и кадров – существует необходимость повышения рентабельности производства. Ранее проведёнными исследованиями доказано, что максимальная эффективность использования зерноуборочного комбайна достигается при загрузке его молотильно-сепарирующего устройства на уровне 90...100% от паспортной [4].

Таблица

Модели зерноуборочных комбайнов «Ростсельмаш» и их основные характеристики

Table

Models of combine harvesters manufactured by Rostselmash and their main characteristics

Модель комбайна <i>Models of combine</i>	Максимальная производительность комбайна, т/ч <i>Combine productivity, t/h</i>	Ширина захвата жатки, м <i>Header width, m</i>
Nova	10	4; 5; 6; 7
Vector 410	12	5; 6; 7; 9
Acros 550 (585)	25	5; 6; 7; 9
T-500	30	7; 9
RSM 161	36	7; 9
Torum 785	45	7; 9

Российское сельскохозяйственное машиностроение в секторе производства зерноуборочной техники представлено одним предприятием – ООО Комбайновый завод «Ростсельмаш». Линейка зерноуборочных комбайнов, изготавливаемых этим предприятием, состоит из 6 моделей (табл.).

Для реальных условий эксплуатации на уборке незасорённых и неполеглых хлебов урожайностью 0,5...10 т/га и диапазоне рабочих скоростей 6...8 км/ч определена урожайность, при которой обеспечивается максимальная загрузка молотильно-сепарирующего устройства каждой из моделей (ширина захвата жатки – 7 и 9 м) (рис. 1). Максимальная рабочая скорость движения комбайна ограничивается 8 км/ч, поскольку при больших скоростях движения снижается качество работы жатки, повышается напряжённость труда механизатора и возрастают динамические нагрузки на всю конструкцию машины [5].

На диаграмме рисунка 1 утолщённые участки горизонтальных линий соответствуют диапазонам урожайности, в которых комбайн каждой из моделей используется со 100%-ной загрузкой молотильно-сепарирующего устройства при агрегатировании с жатками шириной захвата 7 и 9 м.

Анализ диаграмм свидетельствует о несогласованности смежных моделей линейки отечественных комбайнов по показателю максимальной производительности. Так, в диапазонах урожайности 1,9...2,4; 4,2...5; 7,2...8,5 т/га друг на друга накладываются коридоры эффективного применения двух моделей,

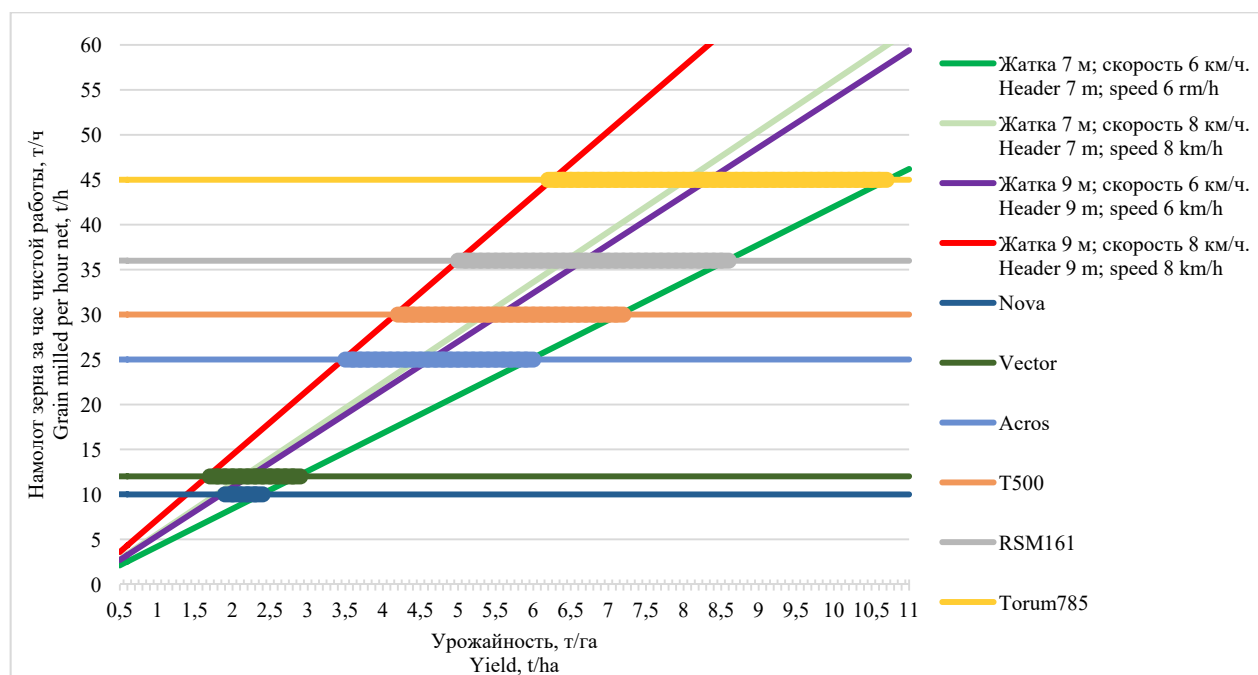


Рис. 1. Коридоры эффективного применения отечественных комбайнов (ширина захвата жатки – 7 и 9 м)

Fig. 1. Diagram illustrating the effective use ranges of various models of domestic harvesters with headers having a working width of 7 and 9 m

а в диапазонах урожайности 5...6 и 6,2...7,2 т/га – трёх моделей. Одновременно с этим в модельном ряду отсутствуют машины, предназначенные по своим характеристикам для высокоэффективной уборки зерновых и зернобобовых культур с урожайностью до 1,7 т/га и от 2,9 до 3,5 т/га. А это значит, что немалая часть сельскохозяйственных предприятий страны не имеет возможности приобрести отечественные зерноуборочные комбайны, которые соответствовали бы требованиям их номинальной загрузки при уборке хлебов с традиционной для местных условий урожайностью.

Статистические данные² свидетельствуют о том, что в 28 субъектах Российской Федерации средняя урожайность зерновых и зернобобовых культур за последние 5 лет соответствовала как раз тем величинам, для которых отечественная промышленность не производит подходящих по производительности комбайнов. Суммарные площади земель, отведённых в этих областях под посев зерновых и зернобобовых культур, равны примерно 16 млн га, что составляет более 1/3 от общих посевных площадей под этими культурами в Российской Федерации³.

Из вышеизложенного следует, что в данных зонах экономически нецелесообразно использовать рассматриваемые модели зерновых комбайнов. При этом существует возможность приобретения комбайнов зарубежного производства, что в современных условиях сопряжено с рисками при их покупке, а также при закупках запасных частей и расходных материалов к ним.

Для высокоэффективного проведения уборочных работ в различных зонах нашей страны на основе учёта местных условий необходимо модельный ряд зерноуборочных комбайнов согласовывать по производительности смежных моделей. Необходимо учитывать, что на значительных площадях возделывание сельскохозяйственных культур производится при относительно невысокой урожайности и относительно невысокой рентабельности.

Исследованиями, проведёнными на опытной станции ФГБНУ «ВНИИ Агрохимии» (Домодедовский район Московской области), определено, что потенциальная продуктивность озимой пшеницы за счёт селекции и применения минеральных удобрений в почвенно-климатических условиях Нечернозёмной зоны Российской Федерации может превышать 9 т/га [6].

² Урожайность сельскохозяйственных культур (в расчёте на убранную площадь) // Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31533> (дата обращения: 18.01.2023).

³ Посевные площади сельскохозяйственных культур // Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31328> (дата обращения: 10.02.2023).

Нижняя граница урожайности, при которой целесообразно возделывать зерновые, определяется уровнем рентабельности производства в конкретных местных условиях и существующей экономической политикой государства в отношении сельскохозяйственной отрасли. В настоящее время в России есть регионы, где возделывание зерновых и зернобобовых культур осуществляется при средней урожайности около 1 т/га.

Рассмотрим один из возможных методов расчёта линейки моделей зерноуборочных комбайнов для уборки зерновых и зернобобовых культур в определённом диапазоне урожайности. Для этого предварительно оговорим следующие допущения и ограничения в условиях России:

1. Максимальная эффективность использования зерноуборочного комбайна достигается при загрузке его молотильно-сепарирующего устройства на уровне 90...100% от паспортной [4].

2. Минимальная урожайность зерновых и зернобобовых культур, при которой имеется экономическая целесообразность их возделывания, условно принята за 1 т/га.

3. Максимальная перспективная урожайность зерновых и зернобобовых культур в производственных условиях – 10 т/га.

4. Для расчётов принято поле без сорной растительности с отсутствием полёглостей стеблестоя. Рабочая скорость комбайна при уборке варьирует от 6 до 8 км/ч.

5. Соломистость, как исходная характеристика хлебного вороха, уже учтена заводом-изготовителем при определении максимальной производительности комбайна, указанной в технических характеристиках.

6. Максимальная эффективность применения любой модели зерноуборочного комбайна как по убранной площади, так и по часовой производительности, достигается при использовании жаток максимальной ширины захвата.

7. Комбайн во время выполнения уборочных работ оборудован системой отслеживания межи между убранными и неубранными участками поля, поэтому использует всю конструктивную ширину захвата жатки.

8. В расчёт берётся только время чистой работы в загонке и не берутся логистические аспекты организации работы комбайнов на поле – такие, как контурность полей, ожидание выгрузки, переезды между полями и пр.

9. Каждая из моделей, имеющая большую производительность, предусматривает 10%-ное перекрытие по производительности со смежной моделью меньшей производительности.

На основании вышеперечисленных допущений и ограничений построена диаграмма (рис. 2).

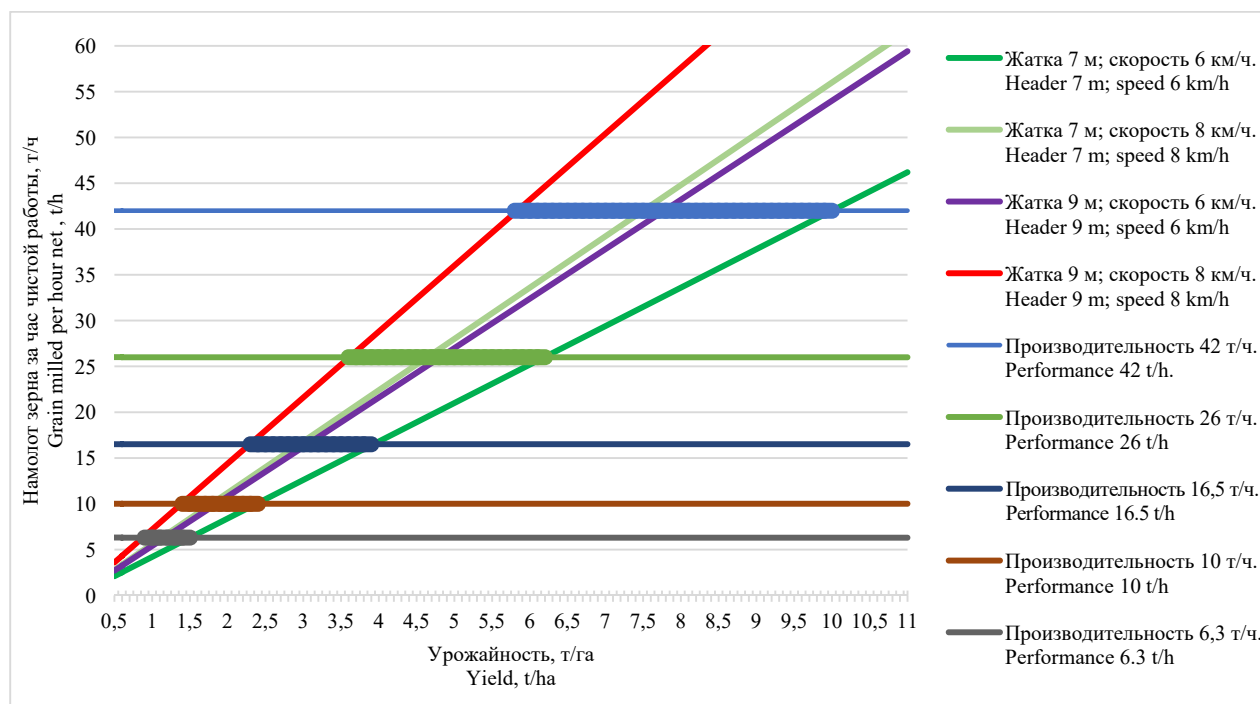


Рис. 2. Рациональное сочетание моделей зерноуборочных комбайнов в перспективной линейке моделей для уборки зерновых и зернобобовых культур при урожайности от 0,87 до 10 т/га

Fig. 2. Diagram illustrating the rational combination of combine harvester models in a promising range of models for harvesting grain and leguminous crops with a yield of 0.87 to 10 t/ha

Анализ диаграммы свидетельствует о том, что для уборки зерновых и зернобобовых культур в условиях России достаточно иметь линейку из 5 моделей зерноуборочных комбайнов. Согласно диаграмме (рис. 2) согласование смежных моделей по производительности не только позволяет количественно оптимизировать модельный ряд, но и обеспечивает потребности любого хозяйства страны в высокоэффективной зерноуборочной технике с учётом типичной для местных условий урожайности. При этом каждая из моделей будет иметь своего потребителя и 100%-ную загрузку в том диапазоне урожайности, на который она рассчитана, а весь модельный ряд даст возможность выбора машины для уборки зерновых и зернобобовых культур в диапазоне урожайности от 0,87 до 10 т/га.

Предложенная визуализация характеристик комбайновой уборки может быть откорректирована с учётом снижения рабочей скорости движения для уборки полёглых и засорённых хлебов или использования жаток меньшей ширины захвата для уборки полей со сложными контурами. Предлагаемый расчётно-графический метод представления характеристик комбайнов в привязке к шкале урожайности,

на наш взгляд, значительно облегчает процесс подбора модели комбайна, подходящей к местным условиям по критерию максимальной загрузки молотильно-сепарирующего устройства.

Выводы

1. Возделывание зерновых и зернобобовых культур не подкреплено производством отечественных зерноуборочных комбайнов, способных обеспечить организацию уборочных работ с высоким уровнем эффективности во всём диапазоне урожайности, характерной для условий России.

2. В линейке зерноуборочных комбайнов отечественного производства отсутствуют модели, рассчитанные на уборку зерновых и зернобобовых культур с урожайностью до 1,7 т/га и от 2,9 до 3,5 т/га. Отсутствие этих моделей обуславливает рост себестоимости производства зерновых в хозяйствах, для которых данная урожайность является типичной.

3. Номенклатура современных отечественных зерноуборочных комбайнов требует переработки с целью согласования смежных моделей по производительности.

Список использованных источников

1. Пронин В.М., Прокопенко В.А., Добрынин Ю.М. Критерии выбора зерноуборочных комбайнов // АгроСнабФорум. 2016. № 5 (144). С. 20-22. EDN: WCAPZZ.
2. Ряднов А.И., Федорова О.А., Поддубный О.И. Потери зерна от увеличения сроков уборки зерновых культур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 2 (58). С. 375-384. EDN: GOAQNO.
3. Чекусов М.С., Михальцов Е.М., Кем А.А., Шмидт А.Н., Даманский Р.В. Тракторы и комбайны в сельском хозяйстве Омской области // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (44). С. 251-260. EDN: XJPJJO.
4. Ряднов А.И., Федорова О.А., Поддубный О.И. Совершенствование методики выбора зерноуборочных комбайнов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 2 (38). С. 163-178. <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2020-2-163-178>
5. Ломакин С.Г., Бердышев В.Е. Формирование парка зерноуборочных комбайнов с учётом условий уборки // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2016. № 5 (75). С. 7-12. EDN: WMUKZZ.
6. Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Афанасьев Р.А., Коваленко А.А., Шатохин А.Ю. Факторы урожайности озимой пшеницы в условиях нечерноземья // Плодородие. 2021. № 3 (120). С. 66-70. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.12>

Вклад авторов

Михальцов Е.М. – концептуализация.
Кем А.А. – создание окончательной версии (доработка) рукописи и её редактирование.
Даманский Р.В. – визуализация.
Шмидт А.Н. – верификация данных

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 29.03.2023, после рецензирования и доработки 22.09.2023, принята к публикации 25.09.2023

References

1. Pronin V.M., Prokopenko V.A., Dobrynin Yu.M. Criteria for choosing combine harvesters. *AgroSnabForum*. 2016;5:20-22. (In Rus.)
2. Ryadnov A.I., Fedorova O.A., Poddubnyy O.I. Grain losses from increased harvesting time of grain crops. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2020;2:375-384. (In Rus.)
3. Chekusov M.S., Mihal'cov E.M., Kem A.A., Shmidt A.N., Damanskij R.V. Tractors and combines used in the agricultural sector of the Omsk region. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;4:251-260. (In Rus.)
4. Rjadnov A.I., Fedorova O.A., Poddubnyj O.I. Improving the methodology of selecting combine harvesters. *Nauchnyy zhurnal Rossijskogo NII problem melioratsii*. 2020;2:163-178. <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2020-2-163-178> (In Rus.)
5. Lomakin S.G., Berdyshev V.E. Formation of combine harvest fleet taking into account harvesting conditions. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2016;5:7-12. (In Rus.)
6. Sanduhadze B.I., Mamedov R.Z., Afanas'ev R.A., Kovalenko A.A., Shatokhin A.Ju. Factors of winter wheat yield in non-black soil conditions. *Plodorodie*. 2021;3(120):66-70. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.12> (In Rus.)

Authors' contributions

E.M. Mikhaltsov – conceptualization.
A.A. Kem – finalization (revision) and edition of the manuscript.
R.V. Damansky – visualization.
A.N. Schmidt – data verification.

Conflict of interests

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

Received 29.03.2023; revised 22.09.2023; accepted 25.09.2023

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.33

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-29-33



Универсальный пневматический высевальный аппарат

*Ахалая Бадри Хутаевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник*badri53@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8073-8790>*Миронова Анастасия Владимировна[✉], научный сотрудник*timchenko-anastasia93@mail.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0003-1390-1812>*Золотарев Андрей Сергеевич, научный сотрудник*

zl200@yandex.ru

Беляева Наталия Ивановна, научный сотрудник

catlin@mail.ru

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

Аннотация. Разработка высевального аппарата для совмещённого посева зерновых культур является актуальным и перспективным направлением развития посевной техники. С этой целью разработан универсальный пневматический высевальный аппарат вакуумного типа, позволяющий высевать одновременно семена двух культур пунктирным, совмещённым и гнездовым способами и обеспечивать различные нормы высева. Отверстия высевального полимерного диска снабжены встроенными металлическими втулками, расположенными с отступом от края диска на 20 мм. Выбор полимерного материала обусловлен большей эффективностью по сравнению с металлическим диском: большим ресурсом, влагоустойчивостью, меньшим повреждением семян. Разработанный высевальный диск снабжён круглыми магнитными накладками с диаметром, большим диаметра отверстия, соотношение диаметров высевального диска и отверстия составляет 1:20, соотношение толщины магнитной накладки к толщине высевального диска – 1:3. Магнитные накладки могут иметь до 4 отверстий диаметром 1,5...2 мм, что позволяет высевальному аппарату производить высев семян по различным схемам. При высева семян пунктирным способом в одну половину бункера высевального аппарата загружаются семена одной культуры, устанавливается сошник с одним полозом и используется один диск с магнитной накладкой с одним отверстием. Применение глухой магнитной накладки делает возможным менять расстояние между семенами в ряду.

Ключевые слова: высевальный аппарат, высевальный бункер, дозирующее устройство, металлические втулки, магнитные накладки, полозовидный сошник

Формат цитирования: Ахалая Б.Х., Миронова А.В., Золотарев А.С., Беляева Н.И. Универсальный пневматический высевальный аппарат // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 29-33. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-29-33>.

© Ахалая Б.Х., Миронова А.В., Золотарев А.С., Беляева Н.И., 2023

ORIGINAL PAPER

Universal pneumatic seeding unit

*Badri K. Akhalaya, CSc (Eng), Lead Research Engineer*badri53@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8073-8790>*Anastasia V. Mironova[✉], Research Engineer*timchenko-anastasia93@mail.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0003-1390-1812>*Andrey S. Zolotarev, Research Engineer*

zl200@yandex.ru

Natalia I. Belyaeva, Research Engineer

catlin@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Centre VIM; 5, 1st Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract. Designing a seeding unit for the combined sowing of grain crops is a relevant and promising area of the development of sowing equipment. For this purpose, the authors designed a universal pneumatic vacuum-type

seeding unit capable of sowing seeds of two crops simultaneously by dotted, combined, and nested methods and providing different sowing rates. Openings of the sowing polymer disc are equipped with built-in metal bushings, located at a 20-mm offset from the disc edge. The polymer material was chosen based on greater efficiency compared to a metal disc: longer life, moisture resistance, lower damage to seeds. The developed sowing disc is equipped with round magnetic pads with a diameter larger than the hole diameter, the ratio between the sowing disc diameter and the hole is 1:20; the ratio between the thickness of the magnetic pad and that of the sowing disc is 1:3. Magnetic pads may have up to four holes with a diameter of 1.5 to 2 mm. Due to this feature the sowing device can sow seeds according to different patterns. When sowing seeds in the dotted method, seeds of one crop are fed into a half-part of the sowing unit hopper, a coulter with one slide is installed and a one-hole disc with a magnetic pad is used. The use of a blind magnetic pad makes it possible to change the distance between seeds in the row.

Keywords: seeding unit, seeding hopper, metering device, metal bushings, magnetic pads, sliding coulter.

For citation: Akhalaya B.Kh., Mironova A.V., Zolotarev A.S., Belyaeva N.I. Universal pneumatic seeding unit. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(5):29-33. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-29-33>.

Введение. Увеличение производства качественной и конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции растениеводства и животноводства возможно при обеспеченности сельхозтоваропроизводителей современными машинными технологиями, энергонасыщенной техникой нового поколения, внедрением цифровых систем управления, эффективными системами энергообеспечения [1-2].

Одним из важнейших направлений развития современных технических средств является создание эффективной универсальной посевной техники [3-5].

В растениеводстве к сеялкам предъявляются высокие требования. Актуальной задачей является разработка высевающего аппарата для совмещённого посева кормовых культур [6-8].

Сложившаяся ситуация вынуждает производить импортозамещающие пневматические сеялки для точного высева семян кукурузы, подсолнечника, сои, сорго, клеверицы, сахарной свеклы, хлопчатника, овощных и бахчевых культур. Появились небольшие объёмы производства посевных машин в Татарстане, в Алтайском, Ставропольском и Краснодарском краях, в Ростовской, Воронежской, Пензенской, Липецкой, Кемеровской и других областях России.

Для совмещённых посевов нескольких культур известны конструкции А. Будагова и В. Иванова, разработанные на основе высевающих аппаратов сеялок СПСН-6 и СУПН-6-8 [9].

Цель исследований: разработка универсального пневматического высевающего аппарата для смешанных (бинарных) посевов, позволяющих обеспечивать различные способы и схемы высева семян.

Материалы и методы. Конструкция высевающего устройства, работающего на избыточном давлении воздушного потока, позволяет обеспечить совмещённый посев двух культур [9, 10].

Разработанное в ВИМе универсальное пневмовысевающее устройство (рис. 1) [11] состоит из бункера для семян 1, разделённого на две секции с помощью

перегородки 2, вентилятора (на рисунке не показан), воздухопровода 3, вакуумкамеры 4, сошника 5, дозирующего устройства 6 с ячейками 7 в виде сквозных отверстий. Дозирующее устройство 6 закреплено на оси 8 с соединительной втулкой 9, ворошилкой 10 и звездочкой 11.

Вакуумкамера 4 изготовлена в дугообразной форме, по сторонам камеры выполнены зазоры 12, с помощью которых создается вакуум и одновременно семена присасываются к ячейкам 7 дозирующего устройства 6 с обеих сторон дуги.

К воздухопроводу 3, присоединённому с наружной стороны дуги вакуумкамеры 4, с помощью отверстия вмонтированы два патрубка 13, выполненные по направлению движения воздушного потока, по одному на каждое дозирующее устройство 6.

Снаружи воздухопровода 3 к патрубкам 13 присоединены рукава 14 и 15 с сечениями разного диаметра. Рукава 14 предназначены для избавления от лишних семян, прижатых к ячейкам 7 у верхней половины дозирующего устройства 6. Воздушная струя от рукава 14 действует перпендикулярно ячейке 7.

Вторые рукава 15 расположены в нижней половине дозирующего устройства, служат для снятия прижатых семян и ускоряют их падение через сошник в открытую борозду.

Дозирующее устройство 6 выполнено из полимерного материала. Ячейки 7 оснащены металлическими втулками 17 для перекрытия отверстия магнитными накладками 18 диаметром, не меньшим диаметра ячейки 7. Ячейки 7 расположены с отступом от края дозирующего устройства 6 на 20 мм. Соотношение диаметров высевающего диска дозирующего устройства 6 и ячейки 7 составляет 1:20.

Соотношение толщины магнитной накладки 18 к толщине высевающего диска 6 составляет 1:3.

На магнитных накладках 18 выполнено до 4 отверстий диаметром 1,5...2 мм. Их число зависит от требуемого числа посевного материала на 1 пог. м.

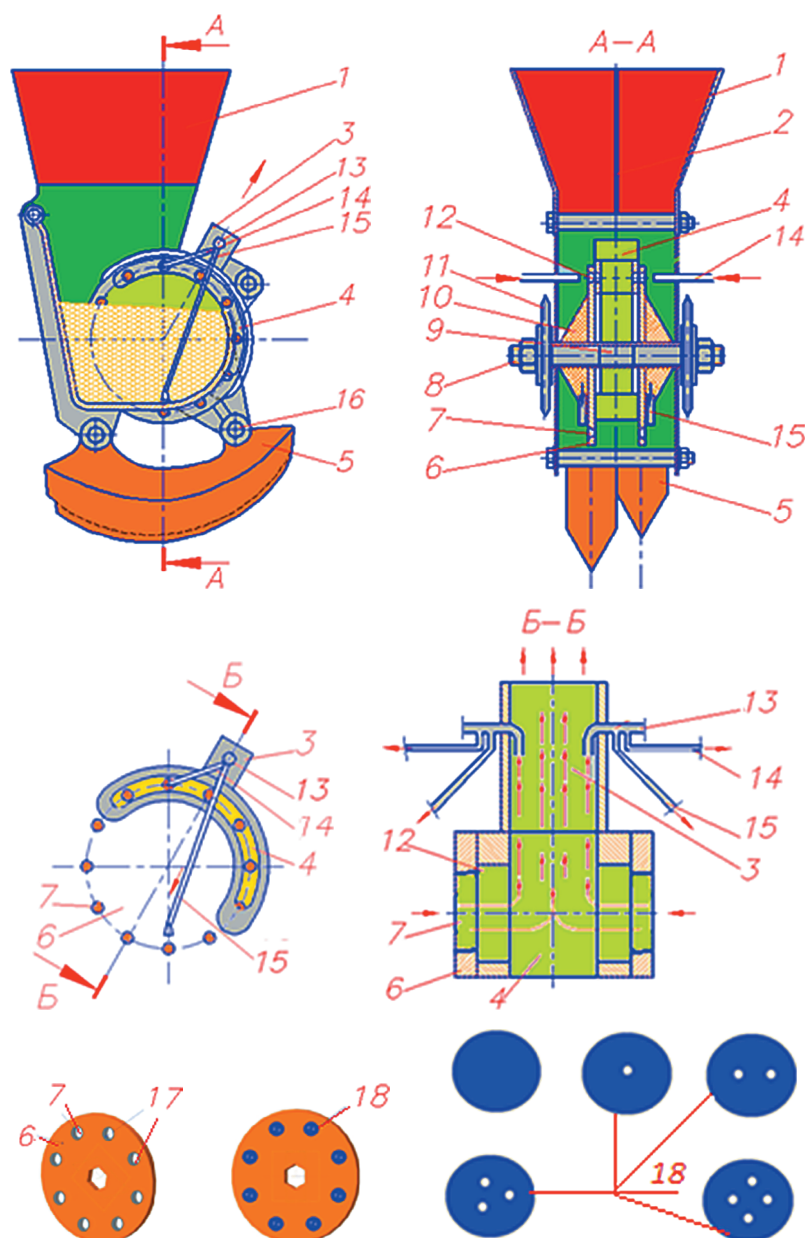


Рис. 1. Универсальный пневматический высевяющий аппарат:

1 – бункеры для семян; 2 – перегородка; 3 – воздухопровод; 4 – вакуумкамера; 5 – полозовидный сошник; 6 – дозирующее устройство (высевающий диск); 7 – ячейка; 8 – ось; 9 – соединительная втулка; 10 – ворошилка; 11 – звездочка; 12 – зазоры; 13 – патрубок; 14, 15 – рукава; 16 – ось; 17 – втулки; 18 – магнитные накладки

Fig. 1. Universal pneumatic seeding unit:

1 – seed hopper; 2 – partition; 3 – air duct; 4 – vacuum chamber; 5 – strip-shaped coulter; 6 – metering device (sowing disc); 7 – cell; 8 – axle; 9 – connecting sleeve; 10 – agitator; 11 – sprocket; 12 – gaps; 13 – branch pipe; 14, 15 – sleeves; 16 – axle; 17 – bushings; 18 – magnetic pads

Диаметр отверстия на магнитных накладках от 1,5 до 2 мм подобран с учётом параметров посевного материала: при отверстиях с меньшим диаметром семена будут плохо присасываться, при большем диаметре семена могут проникнуть сквозь отверстия, что приведёт к потерям семян и снижению урожая.

В сравнении с металлическим полимерный высевяющий диск влагоустойчив, обладает большим ресурсом, меньше изнашивается. Имея меньший коэффициент трения, он меньше повреждает семена.

Результаты и их обсуждение. Перед началом работы металлические втулки 17, встроенные в отверстия 7 полимерного диска 6, перекрываются магнитными накладками 18 с заранее установленным количеством отверстий.

Во время работы пневматического устройства посевной материал из двух половин бункера 1 попадает в приёмную камеру к ворошилкам 10. Некоторые семена по пути следования прижимаются к отверстиям магнитных накладок 18.

Лишние семена, присосавшиеся к отверстиям в верхней половине высеваящих дисков 6, удаляются воздушным потоком от рукава 14. Далее семена, прижатые к отверстиям магнитной накладки 18, перемещаются к месту сброса семян, где воздействием воздушного потока рукава 15 удаляются в нижней части высеваящего диска 6 и попадают в двухуровневый полозовидный сошник (рис. 2), который размещает семена двух культур в борозде на разную глубину заделки h .

Расстояние L между осями 16 сошника определено условием $L = 2a + b$, мм, где a – толщина диска, мм; b – ширина камеры разрежения, мм.

Наличие магнитных накладок с различным количеством отверстий позволяет высеваящему аппарату производить высев семян по различным схемам: пунктирным, совмещенным и гнездовым способами.

Наличие в комплекте глухой магнитной накладки делает возможным менять расстояние между семенами в ряду.

Для высева семян пунктирным способом необходимо установить сошник с одним полозом. В одну половину бункера высеваящего аппарата загружают семена одной культуры, используя при этом один диск с магнитной накладкой с одним отверстием.

При необходимости увеличения междурядья вдвое перекрывают все отверстия обоих дисков каждого второго высеваящего аппарата секции сеялки магнитными накладками. В таком случае будет работать каждая вторая секция сеялки. Например, если в многорядной сеялке междурядье составляет 35 см, то расстояние между рядами увеличится вдвое и составит 70 см.

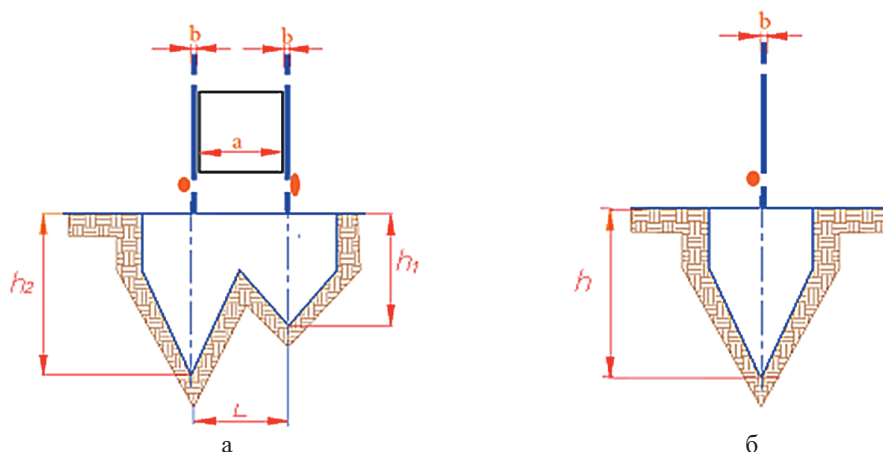


Рис. 2. Полозовидный сошник для совмещённого (а) и пунктирного посева (б)

Fig. 2. Strip-shaped coulter for combined sowing (a), for dotted sowing (b)

Выводы

Разработанный универсальный пневматический высеваящий аппарат вакуумного типа способен высевать семена двух культур пунктирным, совмещенным

и гнездовым способами и обеспечивать различную норму высева. Высеваящий полимерный диск влагонепроницаем, обеспечивает более высокий ресурс и меньшее повреждение семян.

Список использованных источников

1. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных учреждений для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // Техника и оборудование для села. 2021. № 4 (286). С. 2-11. EDN: LAQWUU.
2. Мазитов Н.К., Лобачевский Я.П., Рахимов Р.С., Хлызов Н.Т., Шарафиев Л.З., Садриев Ф.М., Дмитриев С.Ю. Российская технология обработки почвы и посева на основе собственных конкурентоспособных инновационных машин // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 7. С. 68-70. EDN: SJIZXV.
3. Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Starovoitov S.I., Kvas S.A. Constructive modernization of pneumatic seeding equipment. *Russian Agricultural Sciences*. 2023;49(1):96-99. <https://doi.org/10.3103/s1068367423010020>
4. Dorokhov A.S., Sibiryov A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Experimental studies on the development of an automated system for regulating the soil density used in a seeding

References

1. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Contribution of scientific and technical results of agro-engineering scientific institutions to the production of main groups of agricultural products. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021;4:2-11. (In Rus.)
2. Mazitov N.K., Lobachevsky Ya.P., Rakhimov R.S., Khlyzov N.T., Sharafiev L.Z., Sadriev F.M., Dmitriev S.Yu. Russian technology of tillage and sowing based on own competitive innovative machines. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2014;7:68-70. (In Rus.)
3. Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Starovoitov S.I., Kvas S.A. Constructive modernization of pneumatic seeding equipment. *Russian Agricultural Sciences*. 2023;49(1):96-99. <https://doi.org/10.3103/s1068367423010020>
4. Dorokhov A.S., Sibiryov A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Experimental studies on the development of an automated system for regulating the soil density used in a seeding

machine. *Agricultural Engineering*. 2021;2(102):9-15 (in Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-9-15>

5. Лобачевский Я.П., Ахалая Б.Х., Сизов О.А., Ловкис В.Б. Экономически эффективный и экологически обоснованный способ уплотненных посевов сельхозкультур // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 6. С. 4-8. EDN: VBETCR.

6. Aikins K.A., Antille D.L., Troy A.J., Blackwell J. Performance comparison of residue management units of no-tillage sowing systems. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2019;12(2):181-190. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.12.006>

7. Balsari P., Manzone M., Marucco P., Tamagnone M. Evaluation of seed dressing dust dispersion from maize sowing machines. *Crop Protection*. 2013;51:19-23. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.04.012>

8. Фирсов А.С., Голубев В.В. Результаты исследования параметров и режимов работы дискового пневматического высевального аппарата для льна // Агротехника и энергообеспечение. 2016. № 3. С. 43-45. EDN: WZZEXZ.

9. Ахалая Б.Х. Особенности совмещения посевов двух культур // Научные труды ВИМ. 2004. С. 113-119. EDN: UCUPKR.

10. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Миронова А.В. Разработка и исследование дозирующей системы высевального устройства пневматической сеялки // Техника и оборудование для села. 2021. № 6 (288). С. 8-11. EDN: MJETHT.

11. Пневматический высевальный аппарат: Пат. RU2788731 C1, МПК A01C 7/04 / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский, Б.Х. Ахалая. Заяв. 2022109128. Опубл. 24.01.2023. EDN: YMWESE.

Вклад авторов

Ахалая Б.Х. – концептуализация, руководство исследованием

Миронова А.В. – концептуализация, методология

Золотарев А.С. – формальный анализ, проведение исследования, создание черновика рукописи

Беляева Н.И. – ресурсы, проведение исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 24.03.2023, после рецензирования и доработки 13.09.2023, принята к публикации 25.09.2023

machine. *Agricultural Engineering*, 2021;2(102):9-15. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-9-15>

5. Lobachevskiy Ya.P., Akhalaya B.Kh., Sizov O.A., Lovkis V.B. Economically effective and ecologically reasonable way of band seeding. *Agricultural machinery and technologies*. 2015;1:4-8. (In Rus.)

6. Aikins K.A., Antille D.L., Troy A.J., Blackwell J. Performance comparison of residue management units of no-tillage sowing systems. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2019;12(2):181-190. <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.12.006>

7. Balsari P., Manzone M., Marucco P., Tamagnone M. Evaluation of seed dressing dust dispersion from maize sowing machines. *Crop Protection*. 2013;51:19-23. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.04.012>

8. Firsov A.S., Golubev V.V. Results of the study of parameters and modes of operation of a disk pneumatic seeding machine for flax. *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2016;3:43-45. (In Rus.)

9. Akhalaya B.Kh. Features of the combined sowing of two crops. *Nauchnye trudy VIM*. 2004:113-119. (In Rus.)

10. Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S., Mironova A.V. Development and research of a pneumatic seed drill seedmetering unit. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021;6:8-11. (In Rus.)

11. Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Akhalaya B.Kh. Pneumatic seeding machine: Pat. RF No. 2788731 IPC A01C7/04, 2023. (In Rus.)

Authors' contribution

B.Kh. Akhalaya – conceptualization, research supervision

A.V. Mironova – conceptualization, methodology

A.S. Zolotarev – formal analysis, investigation, original draft preparation.

N.I. Belyaeva – resources, investigation

Conflict of interests

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

Received 24.03.2023; revised 13.09.2023; accepted 25.09.2023

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.171:004.4

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-34-39



Дистанционный контроль частоты вращения коленчатого вала двигателя трактора с использованием алгоритма машинного обучения

Катаев Юрий Владимирович , канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник

ykataev@mail.ru ; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>

Костомахин Михаил Николаевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

redizdat@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1126-7520>

Пестряков Ефим Вадимович, младший научный сотрудник

unlimited-007@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7399-9906>

Петрищев Николай Алексеевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

gosniti14@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3608-5408>

Саяпин Александр Сергеевич, младший научный сотрудник

comaconcsas@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6527-780X>

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

Аннотация. Диагностика технического состояния сельскохозяйственной техники на основе машинного обучения, использующего искусственный интеллект, позволяет применять накопленный опыт для локализации неисправности и даёт возможность проводить оценку её технического состояния в максимально короткие сроки. Разработка новых вычислительных устройств (встроенных средств диагностирования) позволяет хранить и обрабатывать большие объёмы информации и сокращать время оценки технического состояния техники. С целью прогнозирования неисправностей проведен анализ частоты вращения коленчатого вала двигателя трактора с использованием алгоритма машинного обучения Random Forest. Разработаны счётчик-индикатор и программное обеспечение для дистанционного контроля частоты вращения коленчатого вала двигателя. Проверка разработанного прототипа счётчика-индикатора программного обеспечения осуществлялась на двигателе Д-243. В результате дистанционное диагностирование сельскохозяйственной техники выявило основные причины неисправностей, влияющие на частоту вращения коленчатого вала двигателя. Алгоритм Random Forest позволил «предсказать» неисправности с допустимой точностью: просчитал все значения правильно из выборки 13 значений и допустил 4 ошибки из выборки 51 значения. Диагностика с помощью алгоритма машинного обучения позволила в режиме реального времени провести оценку технического состояния техники без внесения принципиальных изменений в конструкцию, дать прогнозы и предложения по её обслуживанию и ремонту.

Ключевые слова: дистанционное диагностирование сельскохозяйственной техники, диагностика, техническое состояние, алгоритм машинного обучения, Random Forest, счётчик-индикатор

Формат цитирования: Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Пестряков Е.В., Петрищев Н.А., Саяпин А.С. Дистанционный контроль частоты вращения коленчатого вала двигателя трактора с использованием алгоритма машинного обучения // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 34-39. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-34-39>.

© Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Пестряков Е.В., Петрищев Н.А., Саяпин А.С., 2023

ORIGINAL ARTICLE

Remote control of the crankshaft speed of a tractor engine using a machine learning algorithm

Yuriy V. Kataev , CSc (Eng), Associate Professor, Lead Research Engineer

ykataev@mail.ru ; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>

Mikhail N. Kostomakhin, CSc (Eng), Lead Research Engineer

redizdat@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1126-7520>

Efim V. Pestryakov, Junior Research Engineer

unlimited-007@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7399-9906>

Nikolay A. Petrishev, CSc (Eng), Lead Research Engineer

gosniti14@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3608-5408>

Aleksandr S. Sayapin, Junior Research Engineer

comaconcursas@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6527-780X>

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

Abstract. Diagnostics of the technical condition of agricultural machinery based on machine learning with artificial intelligence employs the accumulated experience to localize the malfunction and makes it possible to evaluate its technical condition in the shortest possible time. New computing devices (built-in diagnostic tools) store and process large amounts of information and reduce the time needed to assess the technical condition of the equipment. To predict malfunctions, the authors analyzed the crankshaft speed of a tractor engine using the Random Forest machine learning algorithm. They developed a counter-indicator and software for the remote control of the engine crankshaft speed. The developed prototype counter-indicator software was tested on the D-243 engine. As a result, remote diagnostics of agricultural machinery revealed the main causes of malfunctions affecting the engine crankshaft speed. The Random Forest algorithm made it possible to “predict” malfunctions with acceptable accuracy: it calculated all values correctly from a sample of 13 values and made 4 errors from a sample of 51 values. Diagnostics with the help of a machine learning algorithm made it possible to assess the technical condition of the equipment in real time without making fundamental changes to the design, and to give forecasts and suggestions for its maintenance and repair.

Keywords: remote diagnostics of agricultural machinery, diagnostics, technical condition, machine learning algorithm, Random Forest, counter-indicator

For citation: Kataev Yu.V., Kostomakhin M.N., Pestryakov E.V., Petrishchev N.A., Sayapin A.S. Remote control of the crankshaft speed of a tractor engine using a machine learning algorithm. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(5):34-39. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-34-39>.

Введение. Важными направлениями научно-технологического развития в Российской Федерации на ближайшие 10-15 лет являются разработка современных цифровых, интеллектуальных, производственных технологий, роботизированных систем, программных комплексов, применение новых материалов и способов конструирования, создание систем обработки больших объёмов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта¹.

Применение в сельском хозяйстве современных цифровых интеллектуальных технологий, роботизированных систем и программных комплексов позволит управлять технологическими процессами и осуществлять мониторинг текущего состояния сельскохозяйственной техники. При этом важным является правильный и бесперебойный сбор данных с технического средства. Огромный массив данных требует качественного и быстрого анализа [1-3]. Для достижения этих целей существуют технологии: такие, как BigData и алгоритмы машинного обучения.

Внедрение современных цифровых средств измерения и вычисления контролируемых параметров состояния двигателя повышает достоверность измерений и существенно снижает риски использования

деталей и узлов в предельном техническом состоянии. Технологии машинного обучения в данном случае позволяют оперативно выявлять неисправности [4-6].

Отсутствие разработок специализированных технических средств, направленных на дистанционное диагностирование сельскохозяйственной техники, обрабатывающих данные в режиме реального времени с использованием алгоритмов машинного обучения, в частности, алгоритма Random Forest, позволяет говорить о новизне идеи и об актуальности данного направления. Применение этого алгоритма и прототипа счётчика-индикатора позволит контролировать частоту вращения коленчатого вала двигателя и осуществлять сбор первичных данных технического состояния двигателя, в цифровом виде оценивать изменение работы двигателя во время его эксплуатации, прогнозировать ряд неисправностей и передавать параметры на сервер для накопления BigData.

Цель исследований: разработка новых вычислительных устройств для контроля и анализа частоты вращения коленчатого вала двигателя с дальнейшим прогнозированием неисправностей с помощью алгоритмов машинного обучения.

Материалы и методы. Для контроля частоты вращения коленчатого вала двигателя трактора разработан прототип счётчика-индикатора.

Разработанный прототип счётчика-индикатора состоит из терминала или одноплатного компьютера с операционной системой на базе дистрибутива Linux,

¹ Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации: утв. Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71451998> (дата обращения: 12.03.2023).

где происходят основная обработка информации и отображение ее на дисплее или передача на сервер. Arduino UNO совместно с инфракрасным датчиком положения позволяет считывать и вычислять частоту вращения коленчатого вала двигателя за 1 мин.

Для передачи информации выбран интерфейс RS-485. За его реализацию отвечает TTL-преобразователь, который при необходимости передаёт информацию с Arduino на терминал и персональный компьютер [5-7]. На терминале также установлено программное обеспечение, которое с помощью алгоритма машинного обучения Random Forest сохраняет и анализирует получаемые данные. Анализ позволяет прогнозировать и выявлять неисправности в режиме реального времени. Выбран язык программирования Python, использующий технологию построения нейронных сетей cuDNN от компании Nvidia. Это заметно ускоряет вычисления, связанные с машинным обучением. Все устройство способно работать от бортовой сети трактора [8, 9].

Схема соединений модулей устройства представлена на рисунке 1.

Количество оборотов двигателя рассчитывается по формуле:

$$RPM = 60 / \left(\frac{t - t_0}{1000000} \right),$$

где RPM – количество оборотов в 1 мин; t – текущее время работы программы, микросекунды (мкс); t_0 – время последнего оборота, мкс.

Временные показатели поступают из системных функций микроконтроллера Arduino UNO. На нём же

сразу рассчитывается количество оборотов в 1 мин, что позволяет снять часть нагрузки с терминала. На терминал поступает уже готовая информация [10].

Анализ контролируемых параметров осуществлялся с помощью разработанного программного обеспечения, использующего алгоритм машинного обучения Random Forest.

Результаты и их обсуждение. Разработанное программное обеспечение реализуется по следующему принципу. Сначала через интерфейс RS-485 проводится сбор и накопление информации в базе данных. Если контрольно-диагностических параметров несколько и необходимо масштабирование данных, то задается диапазон их значений. Далее для обучения дерева принятия решений из этих данных на языке программирования Python создается программная модель и импортируются две специальные библиотеки: Pandas (обработка и анализ данных) и NumPy (реализация вычислительных алгоритмов для быстрой работы с многомерными массивами). На основе полученного массива строится дерево принятия решений – алгоритм контролируемого машинного обучения. Для каждого параметра в наборе данных алгоритм дерева решений формирует узел, в котором наиболее важный параметр помещается в корневой узел. С корневого узла обучение продвигается вниз по дереву, следуя за соответствующим узлом, который подходит нашему условию. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет достигнут конечный узел, содержащий прогноз или результат дерева решений². Структура дерева принятия решений представлена на рисунке 2 [11].

Достоинствами данного метода являются: способность эффективно обрабатывать большой массив данных как непрерывных, так и дискретных признаков; самостоятельная оценка способности модели к обобщению; возможность масштабирования и параллельных вычислений.

Недостатком данного метода является потребность в больших вычислительных мощностях. Необходим как минимум одноплатный компьютер не ниже 4 поколения с многоядерным процессором, с поддержкой многопоточности и большой оперативной

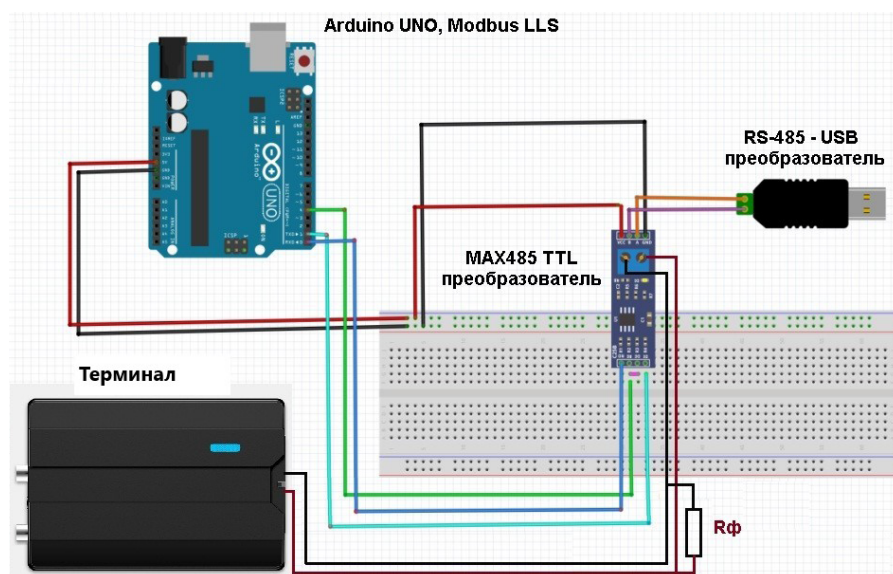


Рис. 1. Схема прототипа счётчика-индикатора для дистанционного контроля частоты вращения коленчатого вала двигателя

Fig. 1. Scheme of the prototype counter-indicator for the remote control of the engine crankshaft speed

² Гриффитс Д., Гриффитс Д. Изучаем программирование на C+. М.: Эксмо, 2019. 624 с.

памятью, а также с отдельным графическим модулем³ [12-13].

Проверка разработанного прототипа счётчика-индикатора программного обеспечения осуществлялась на двигателе Д-243. Была доказана возможность использования счётчика-индикатора для сбора исходной информации и применения её в дальнейшем для оценки технического состояния двигателя в процессе эксплуатации.

Диагностика выявила основные причины неисправностей, влияющие на частоту вращения коленчатого вала двигателя (табл.).

Отметим, что причины и вероятность их возникновения со временем могут измениться.

При выполнении алгоритма Random Forest получены два результата: «Error on test set 0.0» означает, что из тестовой выборки (13 значений) алгоритм просчитал все значения правильно; «Error on full set 4.0» означает, что алгоритм допустил 4 ошибки из всей выборки (51 значение). Два этих поля отображают точность, с какой Random Forest «предсказывает» неисправности. Последняя строка программы отображает массив из последних элементов, которые являются результатами расчёта (в данном случае – 5). Также в программе предусмотрена возможность ввода диапазона исследуемых значений – например, последние несколько тысяч масштабируемых значений оборотов двигателя, и если результат будет приводить к высокой вероятности неисправности, программа отразит ее.

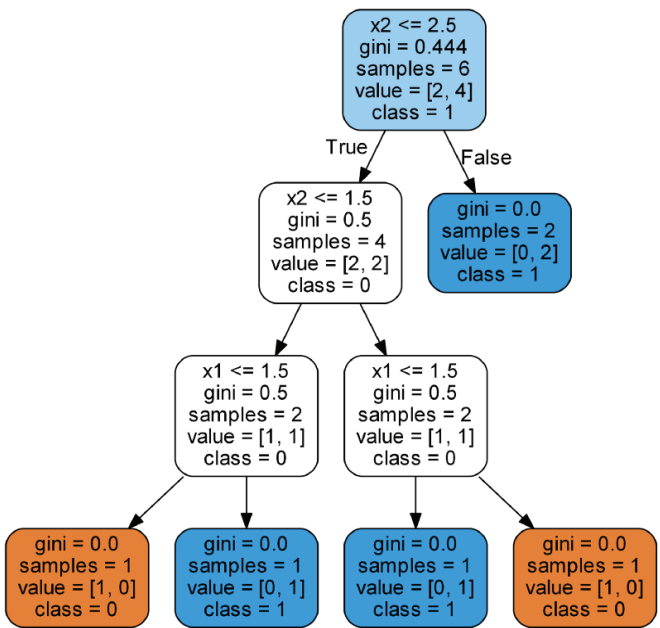


Рис. 2. Структура дерева принятия решений

Fig. 2. Decision tree structure

³ Сандерс Д., Кэндрот Э. Технология CUDA в примерах. Введение в программирование графических процессоров: пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2013. 232 с.

В процессе эксплуатации алгоритм машинного обучения будет переобучаться на новые показатели исходя из накопленного массива данных. Данная таблица хранится как в локальной базе данных (на терминале), так и на сервере. Для удобства создана база формата NoSQL, оперирующая JSON-файлами. Но использовать можно любую систему управления базами данных, так как на принципе и качестве работы программного обеспечения это никак не скажется⁴ [14-15].

Программа не только анализирует частоту вращения коленчатого вала, но и отслеживает динамику её изменения с учётом накопленной базы данных. При этом сохраняется история данной динамики, что позволяет выявить корреляцию изменений, происходящих со временем. Также предусмотрены временные отметки, хранящиеся в базе данных, с помощью которых можно отслеживать время (когда именно какой-либо параметр выходит за предельное состояние).

Таблица

Причины неисправностей, влияющие на увеличение частоты вращения коленчатого вала двигателя

Table

Causes of malfunctions that affect the increase in the engine crankshaft speed

Причины <i>Causes</i>	Вероятность, % <i>Probability, %</i>
Зажедание тросика педали акселератора <i>Dragging of the accelerator pedal</i>	90
Износ потенциометров (реостатов, переменных резисторов) в датчике педали акселератора <i>Wear of potentiometers (rheostats, variable resistors) in the accelerator pedal sensor</i>	80
Засорение воздушного фильтра <i>Clogged air filter</i>	70
Неисправность регулятора холостого хода <i>Malfunction of the idle regulator</i>	60
Износ форсунок / Exhaust nozzle	50
Растяжение ремня ГРМ (цепи) <i>Timing belt (chain) tension</i>	40
Зажедание электрического привода дроссельной заслонки <i>Failure of the electric actuator of the throttle valve</i>	30
Выход из строя датчика температуры <i>Temperature sensor failure</i>	20
Неправильная работа электронного блока управления <i>Incorrect operation of the electronic control unit</i>	10

⁴ Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. М.: ДМК Пресс, 2019. 232 с.; Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение: пер. с англ. М.: ДМК Пресс, 2018. 652 с.

Это дает возможность оценивать техническое состояние машины и правильно ее эксплуатировать.

При введении аналогично анализа других технических параметров появляется возможность получать в режиме реального времени информацию о техническом состоянии трактора и производить его плановое техническое обслуживание. Для этого и в программное обеспечение, и в само устройство заложена возможность быстрого модульного расширения спектра анализируемых параметров: достаточно подключить новый поток данных к CAN-шине или интерфейсу RS-485 и задать программе таблицу значений для обучения поиска новых неисправностей. Программное

обеспечение запускается на терминале разработанного устройства, что намного упрощает все монтажные работы на трактор. Благодаря этому данная разработка станет более гибкой и универсальной в её реализации.

Выводы

Разработанные счётчик-индикатор и алгоритм машинного обучения позволяют проводить дистанционное диагностирование сельскохозяйственной техники без внесения принципиальных изменений в конструкцию, отслеживать и прогнозировать целый ряд возможных неисправностей сельскохозяйственной техники до момента серьёзных поломок.

Список использованных источников

1. Дорохов А.С. Совершенствование входного контроля качества сельскохозяйственной техники на дилерских предприятиях // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2009. № 2 (33). С. 73-75. EDN: JWSYPN.
2. Петрищев Н.А., Костомахин М.Н., Саяпин А.С., Ивлева И.Б. Совершенствование мониторинга системы «Человек-машина-среда» и правил эксплуатации для повышения эксплуатационной надежности тракторов // Технический сервис машин. 2020. № 3 (140). С. 12-20. EDN: XFGLUF.
3. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники // Агроинженерия. 2021. № 2 (102). С. 45-50. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-45-50>
4. Дидманидзе О.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Тенденции развития цифровых технологий диагностирования технического состояния тракторов // Техника и оборудование для села. 2020. № 11 (281). С. 39-43. EDN: SUTTJS.
5. Саяпин А.С. Экспериментальный счётчик-индикатор для оценки технического состояния насоса гидропривода по амплитудно-фазовому методу // Технический сервис машин. 2021. № 4 (145). С. 76-85. EDN: XZCQTE.
6. Измайлов А.Ю. Синтез автоматизированных информационных технологий и микропроцессорных систем // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2007. № 5. С. 91-92. EDN: IBQGUX.
7. Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Петрищев Н.А., Саяпин А.С., Молибоженко К.К. Повышение уровня технического обслуживания энергонасыщенной техники // Техника и оборудование для села. 2022. № 4 (298). С. 27-31. EDN: BMPALW.
8. Pestryakov E.V., Sayapin A.S., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A. Analysis of the Technical Condition of Agricultural Machinery Using Neural Networks. *Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics III. CSDEIS2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2022. Vol. 121. Pp. 92-101. https://doi.org/10.1007/978-3-030-97057-4_9
9. Петрищев Н.А., Костомахин М.Н., Саяпин А.С., Макаркин И.М., Пестряков Е.В., Молибоженко К.К. Оперативная оценка предельного состояния узлов и агрегатов тракторов с применением счетчиков индикаторов // Технический сервис машин. 2021. Т. 59, № 3 (144). С. 12-21. EDN: YCZPHJ.
10. Курбанов Р.К., Захарова Н.И. Обоснование параметров полётного задания беспилотного воздушного судна для мультиспектральной аэрофотосъемки // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16, № 3. С. 33-39. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-3-33-39>

References

1. Dorokhov A.S. Perfection of entrance quality assurance of agricultural machinery at the dealer enterprises. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2009;2:73-75. (In Rus.)
2. Petrishchev N.A., Kostomakhin M.N., Sayapin A.S., Ivleva I.B. Improving the human-machine-environment monitoring system and operation rules for increasing operational tractor reliability. *Machinery Technical Service*. 2020;3(140):12-20. (In Rus.)
3. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Intelligent system for diagnosing the parameters of the technical condition of tractors. *Agricultural Engineering*. 2021;2(102):45-50. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-45-50>
4. Didmanidze O.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Trends in the development of digital technologies for diagnosing the technical condition of tractors. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2020;11(281):39-43. (In Rus.)
5. Sayapin A.S. Experimental indicator counter for estimating the technical state of a hydraulic drive pump by amplitude-phase method. *Machinery Technical Service*. 2021;4(145):76-85. (In Rus.)
6. Izmaylov A. Yu. Synthesis of automated information technologies and microprocessor systems for production processes. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2007;5:91-92. (In Rus.)
7. Kataev Yu.V., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A., Sayapin A.S., Molibozhenko K.K. Increasing the level of maintenance of energy-saturated equipment. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022;4(298):27-31. (In Rus.)
8. Pestryakov E.V., Sayapin A.S., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A. Analysis of the Technical Condition of Agricultural Machinery Using Neural Networks. *Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics III. CSDEIS2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2022, Vol 121. Pp. 92-101. https://doi.org/10.1007/978-3-030-97057-4_9
9. Petrishchev N.A., Kostomakhin M.N., Sayapin A.S., Makarkin I.M., Pestryakov E.V., Molibozhenko K.K. Operational assessment of the limit state of tractor units with the use of indicator counters. *Machinery Technical Service*. 2021;59(3):12-21. (In Rus.)
10. Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Justifying the parameters for unmanned aircraft flight missions of multispectral aerial photography. *Agricultural Machines and Technologies*. 2022;16(3):33-39. (In Rus.)
11. Makarkin I.M., Dunaev A.V., Galimov T.M. Some methods of diagnosing the reduction gears of driving axles of promising KamAZ vehicles. *Automotive Industry*. 2016;6:27-30. (In Rus.)
12. Karande A.M., Kalbande D.R. Weight assignment algorithms for designing fully connected neural network. *International*

11. Макаркин И.М., Дунаев А.В., Галимов Т.М. Приёмы диагностирования редукторов ведущих мостов перспективных автомобилей КамАЗ // Автомобильная промышленность. 2016. № 6. С. 27-30. EDN: WJKLBV.

12. Karande A.M., Kalbande D.R. Weight assignment algorithms for designing fully connected neural network. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*. 2018;10(6):68-76. <https://doi.org/10.5815/ijisa.2018.06.08>

13. Dharmajee Rao D.T.V., Ramana K.V. Winograd's Inequality: Effectiveness for Efficient Training of Deep Neural Networks // *International Journal of Intelligent Systems and Applications*. 2018. № 10 (6):49-58. <https://doi.org/10.5815/ijisa.2018.06.06>

14. Jiang W., Wang Ch., Zou J., Zhang Sh. Application of Deep Learning in Fault Diagnosis of Rotating Machinery // *Processes*. 2021;9(6):919. <https://doi.org/10.3390/pr9060919>

15. Нгуен М.Т. Диагностика автомобильного двигателя на основе нейронной сети // Молодой ученый. 2019. № 26 (264). С. 76-81. EDN: TDDFUD.

Вклад авторов

Ю.В. Катаев – формулирование основной концепции исследования
М.Н. Костомакхин – разработка методологии исследования

Е.В. Пестряков – табличное и графическое представление результатов, описание результатов

Н.А. Петрищев – подготовка начального варианта текста, формирование выводов, анализ литературы

А.С. Саяпин – описание результатов, анализ литературы

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 16.03.2023, после рецензирования 27.03.2023, принята к публикации 22.08.2023

Journal of Intelligent Systems and Applications. 2018;10(6):68-76. <https://doi.org/10.5815/ijisa.2018.06.08>

13. Dharmajee Rao D.T.V., Ramana K.V. Winograd's Inequality: Effectiveness for Efficient Training of Deep Neural Networks. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*. 2018;10(6):49-58. <https://doi.org/10.5815/ijisa.2018.06.06>

14. Jiang W., Wang Ch., Zou J., Zhang Sh. Application of Deep Learning in Fault Diagnosis of Rotating Machinery. *Processes*. 2021;9(6):919. <https://doi.org/10.3390/pr9060919>

15. Nguyen M.T. Diagnostics of an automobile engine based on a neural network. *Molodoy ucheniy*. 2019;26(264):76-81. (In Rus.)

Contribution of the authors

Yu.V. Kataev – conceptualization

M.N. Kostomakhin – research methodology

E.V. Pestryakov – tabular and graphical visualization of the results, description of the results

N.A. Petrishchev – original draft preparation, drawing conclusions, literature review

A.S. Sayapin – description of the results, literature review

Conflict of interests

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

Received 16.03.2023; revised 27.03.2023; accepted 22.08.2023

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.31:631.5:631.158(477.7)

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-40-45



Оценка эффективности почвообрабатывающих элементов глубокорыхлителей с применением коэффициента рационального использования

Ушаков Александр Евгеньевич, канд. техн. наук, старший преподаватель

sashka-ushakov@mail.ru

*Скамарохов Никита Викторович[✉], аспирант¹*skamarohov95@yandex.com[✉]

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета; 346428, Российская Федерация, Ростовская обл., г. Новочеркасск, Пушкинская ул., 111

Аннотация. В условиях увеличения объёмов производства и оборота сельскохозяйственных культур деградация почвы, связанная с ветровой и водной эрозией, приводит к истощению плодородной земли и снижению урожайности. Одним из способов повышения защитной способности обработанных участков является глубокое рыхление. Разработка способов оценки эффективности и прогнозирования использования почвообрабатывающих элементов, учитывающих экономические, качественные и агротехнические требования, является актуальной задачей. С целью рационального выбора почвообрабатывающего элемента сравнивались серийно выпускаемые отечественные и зарубежные долота, их механико-экономические параметры и агротехнические требования, предъявляемые к глубокой обработке почв Южного федерального округа. Для оценки эффективности рабочих органов почвообрабатывающих орудий использован анализ математических моделей и математических методов. Прогнозирование ресурса их наработки и оценки качества рыхления осуществлялось с помощью алгоритма, разработанного в среде Matlab. Алгоритм позволил рассчитать коэффициент рационального использования долота на основе данных его толщины и угла установки, начального размера комка почвы и степени крошения. Коэффициент рационального использования учитывает конструктивные параметры долота (марка стали, толщина, угол заточки и твёрдость), экономические (цена и заявленный ресурс) и агротехнические (глубина обработки) параметры. Зная коэффициент рационального использования, можно на стадии проектирования или приобретения получить примерную оценку качества орудия. Это позволяет сократить ненужные расходы, выявить недостатки конструкции, определить теоретическую степень крошения пассивными рабочими органами и выбрать оптимальное орудие с учётом экономических, качественных и агротехнических требований.

Ключевые слова: коэффициент рационального использования, долото, глубокое рыхление, ресурс, глубина обработки, конструктивные параметры долота

Финансирование. Исследование проводилось при поддержке и финансировании Фонда содействия инноваций в рамках договора «Старт-1»: Договор от 15 ноября 2021 г. 4290ГC1/70521. Вн. код 0070521; заяв. (C1-106429).

Формат цитирования: Ушаков А.В., Скамарохов Н.В. Оценка эффективности почвообрабатывающих элементов глубокорыхлителей с применением коэффициента рационального использования // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 40-45. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-40-45>.

© Ушаков А.В., Скамарохов Н.В., 2023

ORIGINAL ARTICLE

Estimation of the operating efficiency of deep loosening soil tillage elements using the rational utilisation factor

Aleksandr E. Ushakov, CSc (Eng), Senior Lecturer

sashka-ushakov@mail.ru

Nikita V. Skamarokhov[✉], postgraduate student¹

skamarohov95@yandex.com

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov – Branch of Don State Agrarian University; 111, Pushkinskaya Str., Novocherkassk, Rostov region, 346428, Russian Federation

Abstract. In conditions of increasing production and turnover of agricultural crops, soil degradation associated with wind and water erosion leads to depletion of fertile land and reduction of crop yields. One of the ways to increase the protective capacity of cultivated areas is deep loosening. The development of methods for assessing the efficiency and forecasting

the use of tillage elements, taking into account economic, qualitative and agrotechnical requirements is an urgent task. To provide for the rational choice of a tillage element, the authors compared commercially produced domestic and foreign chisels, their mechanical and economic parameters and agrotechnical requirements for deep tillage of soils in the Southern Federal District. The analysis of mathematical models and methods was applied to evaluate the efficiency of working elements of soil tillage implements. Forecasts of their service life and loosening quality evaluation were made based on the algorithm developed in Matlab. The algorithm was used to calculate the rational utilisation factor of the chisel based on the data of its thickness and angle of installation, the initial size of the soil clod and the degree of crumbling. The rational utilization factor takes into account chisel design parameters (steel grade, thickness, sharpening angle and hardness), economic (price and estimated service life) and agrotechnical (depth of cultivation). Knowing the rational utilisation factor, we can get a rough estimate of the tool quality at the stage of design or purchase. This solution will reduce unnecessary costs, identify design deficiencies, determine the theoretical degree of crumbling by passive working elements and select the optimal tool taking into account economic, qualitative and agrotechnical requirements.

Keywords: rational utilisation factor, bit, deep loosening, resource, working depth, chisel design parameters

Funding. The research was supported and financed by the Foundation for Promotion of Innovations under the contract “Start-1” Contract 4290GS1/70521 from 15.11.2021 Code 0070521 application (C1-106429).

For citation: Ushakov A.E., Skamarokhov N.V. Estimation of the operating efficiency of deep loosening soil tillage elements using the rational utilisation factor. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(5):40-45. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-40-45>.

Введение. В Российской Федерации эрозии подвержены свыше 117 млн га земель сельскохозяйственного назначения¹. Актуальность проблемы деградации почв подтверждается анализом запросов в Google Trends за последние 10 лет. Учёные всего мира пытаются решить задачу существенного снижения влияния дефляции на продуктивность почв.

Ветровая и водная эрозия является одной из основных проблем земель Южного федерального округа. Одним из способов повышения защитной способности обработанных участков является глубокое рыхление поперёк склона [1]. Данная операция осуществляется путём разрушения почвенного пласта при помощи глубокорыхлителя или чизельных плугов на глубину от 40 до 60 см в зависимости от высаживаемой культуры и сформированных ядер уплотнений. Глубокое рыхление повышает влагопроницаемость почвы и способствует переходу поверхностного стока в нижележащие слои почвы. К тому же снижение плотности и повышение пористости почвы приводят к большему насыщению её кислородом и росту аэробных микроорганизмов.

Глубокое рыхление заменяет более энергоемкую обработку – вспашку. Однако при работе на такой глубине почвообрабатывающие агрегаты испытывают высокие нагрузки. Как следствие, рабочие элементы в агрессивной среде подвержены интенсивному абразивному износу и имеют небольшой ресурс. В настоящее время не существует методов оценки рационального использования элементов глубокорыхлителей и чизельных плугов (долото), подверженных интенсивному износу и высоким тяговым нагрузкам.

¹ Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2019 году. М.: ФГБНУ Росинформагротех», 2021. 404 с.

Цель исследований: определение рационального выбора долота при глубоком рыхлении на почвах Южного федерального округа.

Материалы и методы. Изучены теоретические аспекты в области физики почвогрунтов и проведён анализ статей по оценке работоспособности и качества рыхления разнообразными орудиями² [2-4]. Из отчётов докладов Минсельхоза и Росстата¹ получены данные о почвах, подверженных различным факторам деградации, в том числе водной и ветровой эрозии.

Для оценки эффективности рабочих органов почвообрабатывающих орудий был применён анализ математических моделей и математических методов [5, 6]. Для прогнозирования ресурса их работы и оценки качества рыхления использовались алгоритмы, разработанные в среде Mathcad и Matlab. Популярность проблемы и её динамическое развитие выявлялись при анализе запросов в Google Trends.

Для определения лучшего решения необходимо ввести обобщённый показатель рационального использования долота $K_{р.исп}$, включающий в себя его экономические и качественные характеристики с учётом агротехнических требований с иерархической структурой построения. Согласно ГОСТ 15467-79 показатель – это характеристика свойств объекта (количественная), входящая в его качество, рассматриваемая при определённых условиях его создания или применения³.

² Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв: монография. Киев: Феникс, 2008. 266 с.

³ ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия термины и определения, с изм. № 1. М.: Стандартинформ, 2009. 22 с.

Чтобы правильно выбрать долото, необходимо определить факторы, влияющие на его эффективность. В таблице 1 представлены серийно выпускаемые отечественные и зарубежные долота, их механико-экономические параметры, заявленные производителями, и некоторые агротехнические требования, предъявляемые к глубокой обработке почвы.

Обобщённый показатель рационального использования долота $K_{р.исп}$, руб./га, можно определить по формуле:

$$K_{р.исп} = \frac{U}{K_{кач}}, \quad (1)$$

где U – удельные затраты на обработку 1 га, руб./га; $K_{кач}$ – качественный показатель выбранного сменного элемента с учётом теоретической степени крошения λ при обработке почвы на глубину 60 см.

$$U = \frac{C}{T}, \quad (2)$$

где T – заявленный производителем ресурс долота; C – стоимость долота, руб.

Смысл обобщённого показателя рационального использования долота заключается в учёте экономических затрат на глубокую обработку почвы, качественных характеристик самого элемента и интегрального показателя качества рыхления. Чем меньше показатель эффективности, тем меньше финансовых затрат на обработку 1 га за счёт качественных параметров выбранного почвообрабатывающего элемента, то есть $K_{р.исп} \rightarrow \min$.

На ранней стадии выбора примерную оценку качества использования долота можно получить с помощью коэффициента качества ($K_{кач} \rightarrow \max$).

Качественный коэффициент позволяет получить количественную оценку физико-механических свойств долота.

Согласно [2] элементы коэффициента качества $K_{кач}$ можно представить в виде аддитивного выражения процентов, заложенных в ограничениях по производству и в некоторых агротехнических требованиях. Выбор данных показателей обусловлен простотой получения информации от производителей почвообрабатывающих элементов, а также известными агротехническими требованиями к глубокой обработке почвы:

$$K_{кач} = K_{\sigma} + K_{\beta} + K_H + K_h + K_{sr} + K_{\lambda}, \quad (3)$$

где K_{σ} – коэффициент прочности; K_{β} – коэффициент угла заточки; K_H – коэффициент твёрдости; K_h – коэффициент глубины обработки почвы; K_{sr} – коэффициент сменности; K_{λ} – коэффициент степени крошения.

Марка стали и её количественный аналог заменяются на прочность, которая рассчитывается согласно теории прочности:

$$\sigma_{теор} \approx 0,1E,$$

где E – модуль Юнга (максимальная из возможных по данным маркам стали прочность составляет 100%);

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma}{21600}, \quad (4)$$

где σ – прочность согласно марке стали.

Таблица 1

Сравнение параметров почвообрабатывающих элементов отечественного и зарубежного производства

Table 1

Comparison of parameters of soil tillage elements of domestic and foreign manufacturing

Сравниваемые величины <i>Comparable values</i>	Почвообрабатывающий элемент (долото) / <i>Tillage element (chisel)</i>					
	Оборотное, <i>Gaspardo, rotary</i>	<i>Gregoire Besson</i>	<i>Case Ecolotaiger</i>	<i>Horsch MulchMix</i>	СабСоил	Агросервер
						
Конструктивный параметр / <i>Design parameter</i>						
Марка стали / <i>Steel grade</i>	15НЗМА	65Г	70Г	65 Mn	65Г	G15660
Твёрдость, HB / <i>Hardness, HB</i>	269	285	425	240	325	345
Угол заточки, ° / <i>Angle of sharpening, deg</i>	≈45	≈40	≈45	≈30	≈15	≈18
Толщина долота, мм / <i>Chisel thickness, mm</i>	40	40	25	20	30	14
Экономический показатель / <i>Economic indicator</i>						
Цена, руб. / <i>Price, rub</i>	9612	7500	19500	4400	3450	13500
Заявленный ресурс, га / <i>Indicated service life, ha</i>	До 1500	До 1200	До 2000	До 600	До 1000	До 1850
Агротехнический показатель / <i>Agrotechnical indicator</i>						
Глубина обработки, см / <i>Working depth, cm</i>	40...60	40...60	30...50	30...50	45...65	30...45

Угол установки долота является существенным показателем, отвечающим за качество проведённой обработки, и характера износа. Угол установки режущих элементов 45° обоснован рациональным выбором направления линий скольжения почвенной стружки²:

$$K_\beta = \frac{\beta}{45^\circ}, \quad (5)$$

где β – угол установки режущих элементов на выбранных образцах.

Одним из начальных пунктов формирования эффективности использования разнообразных элементов почвообрабатывающей техники является установление связи между условиями функционирования объекта и целесообразностью затрат [2].

Твёрдость H ограничивается максимально возможным уровнем её повышения до приемлемой хрупкости:

$$K_H = \frac{H}{425}. \quad (6)$$

Согласно данным литературы [7, 8] глубина обработки почвы адаптируется под культуры и сформированное внутри почвы уплотнение. При глубоком рыхлении глубина обработки h должна составлять 60 см [9]:

$$K_h = \frac{h}{60}. \quad (7)$$

Дополнительный коэффициент сменности K_{sr} позволяет определить, сколько раз механизатору необходимо сменить долото относительно лучшего из сравниваемых вариантов:

$$K_{sr} = \frac{T}{2000}, \quad (8)$$

где T – заявленный производителем ресурс работы долота.

Качество проведённой обработки оценивается с помощью алгоритма оценки теоретической степени крошения λ пассивными рабочими органами [10].

Лучшая степень крошения достигается активными рабочими органами и составляет 9-10:

$$K_\lambda = \frac{\lambda}{9,5};$$

$$\lambda = D / d. \quad (9)$$

Необходимо учесть, что на территории Южного федерального округа преобладают каштановые, серые лесные и чернозёмные почвы. Они, как правило, являются плодородными и имеют высокий процент органического вещества, что уменьшает удельные и экономические затраты на их обработку. Как известно, модуль упругости почвы зависит от многих факторов. Для таких почв влажность варьируются от 8 до 30%, твёрдость – соответственно 2...8 и 30...80 МПа.

Результаты и их обсуждение. Зарубежные [11-13] и отечественные ученые [2, 7-9] отмечают высокую эффективность применения технологии глубокой обработки почвы для снижения водной и ветровой эрозии. Рабочими органами глубокорыхлителей и чизельных плугов являются стойки, оснащённые разным видами долота. Их разнообразие объясняется тем, что правильно выбранное долото под соответствующие условия и режимы работы позволит фермерам повысить качество обработки почв и рентабельность хозяйства.

С помощью коэффициента рационального использования долота $K_{р.исп}$ можно достаточно быстро и без сложных математических действий принять решение по выбору почвообрабатывающего элемента при использовании на определённых почвах с учётом его качества.

Проведём сравнение рабочих органов глубокорыхлителя разных производителей с помощью алгоритма, разработанного в среде Matlab [10] (табл. 2). По полученным данным рассчитан коэффициент рационального использования долота (табл. 3).

Анализируя данные таблицы 3, можно сказать, что долото итальянской фирмы

Таблица 2

Данные, полученные с помощью алгоритма

Table 2

Data obtained with the help of the algorithm

Показатель Indicator	Долото, производитель / Chisel, manufacturer					
	Оборотное, Gaspardo rotary	Gregoire Besson	Case Ecolotaiger	Horsch MulchMix	СабСоил	Агросервер
Толщина долота, мм / Chisel thickness, mm	40	40	25	20	30	14
Угол установки, ° / Angle of installation, °	45	40	45	30	15	18
Начальный размер комка почвы, D, м / Initial soil clod size, D, m	0,089	0,09	0,0812	0,0814	0,089	0,0796
Степень крошения, λ / Crumbling degree, λ	2,9	2,8	2,91	2,77	2,8	2,75

Таблица 3

Коэффициент рационального использования долота

Table 3

Rational utilisation factor of the chisel

Показатель <i>Indicator</i>	Долото, производитель / <i>Chisel, manufacturer</i>					
	Оборотное, <i>Gaspardo rotary</i>	<i>Gregoire Besson</i>	<i>Case Ecolotaiger</i>	<i>Horsch MulchMix</i>	СабСоил	Агросервер
K_{σ}	1,00	0,96	1,00	0,94	0,96	0,94
K_{β}	1,00	0,89	1,00	0,67	0,89	0,56
K_H	0,63	0,67	1,00	0,56	0,76	0,81
K_h	0,83	0,83	0,67	0,67	0,92	0,67
K_{sr}	0,75	0,60	1,00	0,30	0,35	0,925
K_{λ}	0,305	0,295	0,306	0,292	0,295	0,289
$K_{\text{квч}}$	4,515	4,245	4,976	3,432	4,175	4,194
U	6,41	6,25	9,57	7,33	5,86	7,3
$K_{p, \text{исп}}$	1,42	1,47	1,96	2,14	1,40	1,74

Gaspardo ($K_{p, \text{исп}} = 1,42$), французского производителя Gregoire Besson ($K_{p, \text{исп}} = 1,47$) и отечественного производителя СабСоил ($K_{p, \text{исп}} = 1,4$) является лучшим. Однако стоит отметить, что у отечественного долота коэффициент сменности – $K_{sr} = 0,35$, что говорит о необходимости более частой замены элемента, но это несущественно снизит коэффициент его использования.

Оценка теоретической степени крошения пассивными рабочими органами и экономический показатель (затраты, руб. на 1 га обработанного участка) оказывают существенное влияние на качественный коэффициент. При увеличении стоимости повышается качество выбираемого почвообрабатывающего элемента, а дальнейшее увеличение качества сопряжено с существенным повышением экономических затрат.

Список использованных источников

1. Ушаков А.Е. Разработка и испытание почвообрабатывающего орудия для проведения мелиоративного глубокого рыхления склоновых земель // Вестник НГИЭИ. 2022. № 2 (129). С. 31-40. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-2-31-40>
2. Щириков В.Н., Пархоменко Г.Г. Метод оценки эффективности глубоких рыхлителей нового поколения по энергозатратам и качеству обработки почвы // Проблемы механизации и электрификации сельского хозяйства: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 6 декабря 2013 г. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2014. С. 176-181. EDN: SLLQAX
3. Хусниязов И.И., Ружьев В.А., Калинин А.Б. Управление качеством работы культиватора-глубокорыхлителя при дифференциальной по глубине обработке почвы // Роль молодых учёных и исследователей в решении актуальных задач АПК: Материалы Международной научно-практической конференции молодых учёных и обучающихся. СПб. – Пушкин, 2020. Ч. 1. С. 354-356. EDN: WMFNWT
4. Салахов И.М. Агротехнические аспекты применения рабочего органа для безотвальной обработки почвы //

Выводы

1. Обладая данными об обрабатываемых почвах в совокупности с предварительной теоретической оценкой качества рыхления, можно подобрать экономически выгодный почвообрабатывающий элемент (долото), применяя рациональный коэффициент использования. Это позволит сократить ненужные расходы, спрогнозировать период эксплуатации конструкции, выявить теоретическую степень крошения пассивными рабочими органами.

2. Применив экспериментальные данные и агротехнические требования, выдвигаемые к виду обработки, можно получить закономерности и зависимости между качественными, агротехническими и экономическими показателями рабочих органов почвообрабатывающих машин.

References

1. Ushakov A.E. Development and testing of tillage tools for reclamation deep loosening of sloping lands. *Vestnik NGIEI*. 2022;2(129):31-40. (In Rus.) <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-2-31-40>
2. Shchirov V.N., Parkhomenko G.G. Method for assessing the efficiency of new generation deep loosening machines in terms of energy inputs and tillage quality. *Problemy mekhanizatsii i elektrifikatsii selskogo khozyaystva: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Krasnodar, December 06, 2013. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvenniy agrarniy universitet, 2014:176-181. (In Rus.)
3. Khusniyarov I.I., Ruzhiev V.A., Kalinin A.B. Quality control of the performance of a deep loosener during differential depth tillage. *Rol molodykh uchenykh i issledovateley v reshenii aktualnykh zadach APK*. SPb., 2020;1:354-356. (In Rus.)
4. Salakhov I.M. Agrotechnical aspects of the working unit application for underground soil treatment. *Vestnik of the Kazan State Agrarin University*. 2017;12(3):82-85. (In Rus.) https://doi.org/10.12737/article_5a1d9aa31ec6e6.52700948
5. Dzhabborov N.I., Semenova G.A. Mathematical models of operating performance of tillage machines with dynamic working tools.

Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2017. Т. 12, № 3 (45). С. 82-85. https://doi.org/10.12737/article_5a1d9aa31ec6e6.52700948

5. Джаббаров Н.И., Семёнова Г.А. Математические модели эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов с динамичными рабочими органами // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 96. С. 93-104. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10062>

6. Брусенцов А.С., Дробот В.А. Исследование влияния конструктивных особенностей рабочих органов почвообрабатывающих машин на качество выполняемой операции // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 156. С. 180-191. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-156-011>

7. Камбулов С.И., Рыков В.Б., Трубилин Е.И., Колесник В.В. Технологические аспекты разуплотнения почвы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 153. С. 193-201. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-153-021>

8. Скороходов В.Ю., Максюттов Н.А., Зоров А.А., Митрофанов Д.В., Кафтан Ю.В., Зенкова Н.А. Влияние глубины и способа обработки почвы на ослабление засухи в Оренбургской области // Плодородие. 2022. № 2 (125). С. 29-33. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.125.08>

9. Даманский Р.В., Чекусов М.С., Кем А.А., Михальцов Е.М., Шмидт А.Н. Формирование технологических условий орудий для разуплотнения почвы // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (46). С. 138-144. EDN: WRXHTH.

10. Максимов В.П., Ушаков А.Е., Скамарохов Н.В. Математическое моделирование разрушения почвенного монолита глубокорыхлителем с заданной степенью крошения // Инженерный вестник Дона. 2022. № 12 (96). С. 788-802. EDN: IEPDOS

11. Jin H., Zhong Y., Shi D., Li J., Lou Y., Li Y., Li J. Quantifying the impact of tillage measures on the cultivated-layer soil quality in the red soil hilly region: Establishing the thresholds of the minimum data set. *Ecological Indicators*. 2021;130:108013. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108013>

12. Madaline D. Young, Gerard H. Ros, Wim de Vries. Impacts of agronomic measures on crop, soil, and environmental indicators: A review and synthesis of meta-analysis // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021;319:107551. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107551>

13. Jin He, Hongwen Li, Xiaoyan W., McHugh A.D., Wenying Li, Huanwen Gao, Kuhn N.J. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China // *Soil and Tillage Research*. 2007;94 (2):493-502. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.10.005>

Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2018;96:93-104. (In Rus.) <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10062>

6. Brusentsov A.S., Drobot V.A. Research of the influence of design features of tillage working tools on the quality of the performed operation. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2020;156:180-191. (In Rus.) <https://doi.org/10.21515/1990-4665-156-011>

7. Kambulov S.I., Rykov V.B., Trubilin E.I., Kolesnik V.V. Technological aspects of soil deployment. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2019;153:193-201. (In Rus.) <https://doi.org/10.21515/1990-4665-153-021>

8. Skorokhodov V.Yu., Maksyutov N.A., Zorov A.A., Mitrofanov D.V., Kaftan Yu.V., Zenkova N.A. Role of the depth and method of winter tillage in reducing drought in the Orenburg region. *Plodородие*. 2022;2(125):29-33. (In Rus.) <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.125.08>

9. Damanskiy R.V., Chekusov M.S., Kem A.A., Mikhailtsov E.M., Shmidt A.N. Providing technological conditions for using soil decompaction implements. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;2(46):138-144. (In Rus.) https://doi.org/10.48136/2222-0364_2022_2_138

10. Maksimov V.P., Ushakov A.E., Skamarokhov N.V. Mathematical modelling of soil monolith breaking by a deep loosener with a given degree of crumbling. *Engineering Journal of Don*. 2022;12:788-802. (In Rus.)

11. Jin H., Zhong Y., Shi D., Li J., Lou Y., Li Y., Li J. Quantifying the impact of tillage measures on the cultivated-layer soil quality in the red soil hilly region: Establishing the thresholds of the minimum data set. *Ecological Indicators*. 2021;130:108013. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108013>

12. Madaline D. Young, Gerard H. Ros, Wim de Vries. Impacts of agronomic measures on crop, soil, and environmental indicators: A review and synthesis of meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021;319:107551. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107551>

13. Jin He, Hongwen Li, Xiaoyan W., McHugh A.D., Wenying Li, Huanwen Gao, Kuhn N.J. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. *Soil and Tillage Research*. 2007;94(2):493-502. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.10.005>

Статья поступила 09.03.2023; после рецензирования и доработки 25.08.2023, принята к публикации 30.08.2023

Received 09.03.2023; revised 25.08.2023; accepted 30.08.2023

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 519.87:631.171

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-46-51



Разработка математической модели определения эффективности сельскохозяйственной техники на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества

*Гайдар Сергей Михайлович, д-р техн. наук, профессор*techmash@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>; Scopus Author ID: 57191589797; Researcher ID: I-4723-2018*Мирзаев Рустам Рахматжонович, инженер*

avtokon56@yandex.ru

Пикина Анна Михайловна , канд. техн. наук, ассистентpikina@rgau-msha.ru ; <https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>*Балькова Татьяна Ивановна, канд. техн. наук, доцент*balkova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6623-8113>

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

Аннотация. Оценка совокупности свойств качества сельскохозяйственной техники требует применения многокритериальных моделей оптимизации. Решение находится в области компромиссов, поскольку оцениваемый показатель одного из критериев не может варьироваться за счёт показателей оценки других критериев. Математическая модель определения эффективности объектов на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества сельскохозяйственной техники позволяет реализовать универсальный подход при решении задач с любым набором признаков и их разновидностей. При этом систематизации могут подвергаться не только сами решения, но и алгоритмы их поиска и выбора, включающие в себя процедуры описания условий (ситуаций). Предложено аналитическое определение коэффициентов по формуле, позволяющей исследовать информационные состояния по принципу снижения значимости приоритетов между признаками в матрице. По разработанной математической модели со случайным набором показателей приведен пример расчёта коэффициентов относительной важности для 4 исследуемых объектов по 4 признакам, представлены результаты перевода данных в относительные единицы и нормирования в «распознавателе». Результаты расчётов показывают, что разработанная математическая модель позволяет аналитически определить эффективность для любого количества исследуемых объектов по достаточно большому количеству признаков и объективно оценить их эффективность для отдельных «распознавателей» в системе оценки качества сельскохозяйственной техники для АПК.

Ключевые слова: математическая модель, сложная система, сельскохозяйственная техника, эффективность

Формат цитирования: Гайдар С.М., Мирзаев Р.Р., Пикина А.М., Балькова Т.И. Разработка математической модели определения эффективности сельскохозяйственной техники на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 46-51. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-46-51>.

© Гайдар С.М., Мирзаев Р.Р., Пикина А.М., Балькова Т.И., 2023

ORIGINAL ARTICLE

Developing a mathematical model for determining the efficiency of agricultural machinery at separate levels of a multilevel quality assessment system

*Sergey M. Gaidar, DSc (Eng), Professor*techmash@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4290-2961>; Scopus Author ID: 57191589797; Researcher ID: I-4723-2018*Rustam R. Mirzaev, Engineer*

avtokon56@yandex.ru

Anna M. Pikina , PhD (technical sciences), Assistant Professorpikina@rgau-msha.ru ; <https://orcid.org/0000-0001-7116-3526>*Tatiana I. Balkova, CSc (Eng), Associate Professor*balkova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6623-8113>

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

Abstract. The evaluation of a set of quality properties of agricultural machinery requires the application of multi-criteria optimisation models. A possible solution implies trade-offs, because the evaluated index of one

of the criteria cannot be varied at the expense of the evaluation indices of other criteria. The mathematical model for determining the efficiency of objects at individual levels of the multilevel system of agricultural machinery quality assessment implements a universal approach to solving problems with any set of attributes and their varieties. In this case, not only the solutions themselves, but also the algorithms of their search and selection, including procedures for describing conditions (situations), can be subject to systematisation. The authors propose an analytical definition of coefficients according to the formula used to study information states based on the principle of decreasing the importance of priorities between the attributes in the matrix. According to the developed mathematical model with a random set of indicators, the authors have calculated relative importance coefficients for four investigated objects by four attributes and presented the results of data conversion into relative units and normalisation in the “recogniser”. The calculation results show that the developed mathematical model makes it possible to analytically determine the efficiency for any number of investigated objects by a sufficiently large number of attributes and objectively assess their efficiency for individual “recognisers” in the system of quality assessment of agricultural machinery.

Keywords: mathematical model, complex system, agricultural machinery, efficiency

For citation: Gaidar S.M., Mirzaev R.R., Pikina A.M., Balkova T.I. Developing a mathematical model for determining the efficiency of agricultural machinery at separate levels of a multilevel quality assessment system. Agricultural Engineering (Moscow), 2023;25(5):46-51. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-46-51>.

Введение. Анализ актуальных критериев качества эксплуатации сельскохозяйственной техники и регламентирующих её нормативно-технических документов показал, что каждый из них может быть представлен в виде комплексных показателей качества. Поэтому иерархическая структура системы сравнительной оценки может состоять из нескольких уровней показателей [1].

Общая схема структуры критериев с учётом актуального целеполагания требований к качеству техники, эксплуатирующейся в АПК, представлена на рисунке.

Верхний уровень системы сравнительной оценки представлен в таблице 1.

На втором уровне должно производиться формирование комплексных показателей по отдельным критериям качества эксплуатации [1]. Например, комплексный показатель свойства «Безопасность эксплуатации» должен содержать ряд единичных показателей, отражающих состояние, наличие или отсутствие отдельных систем, узлов или агрегатов в сельскохозяйственной технике.

Для объективной оценки совокупности свойств качества техники, экспортируемой в сельском хозяйстве РФ, требуется применение многокритериальных моделей оптимизации. Оцениваемые

показатели по одному из критериев не могут быть занижены или завышены за счёт показателей оценки по другим критериям. Поэтому получаемое решение всегда находится в области компромиссов, учитывающей весь спектр функциональных свойств [2-4].

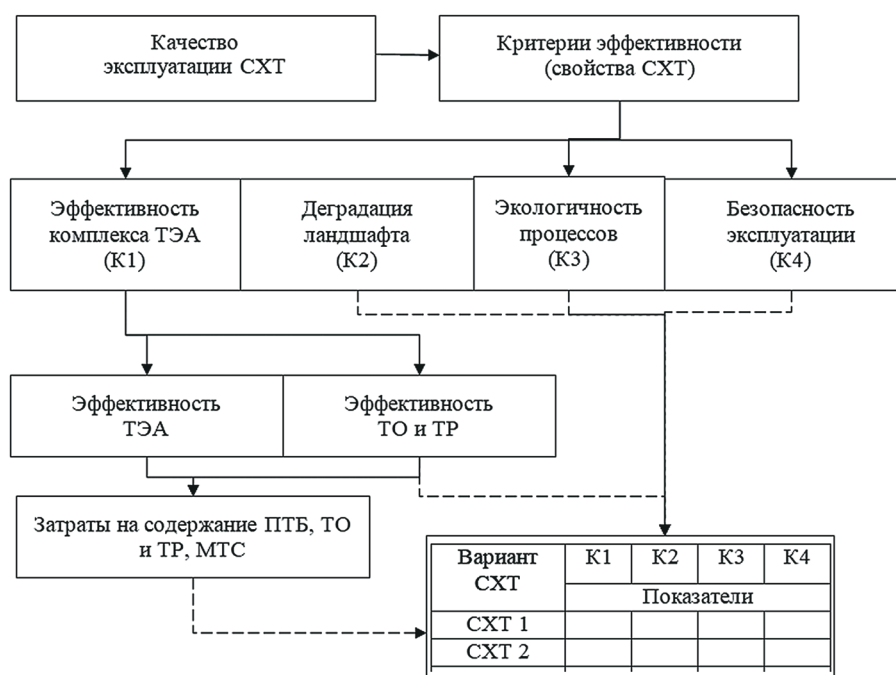


Рис. Схема общей структуры критериев качества с учётом актуального целеполагания сельскохозяйственной техники:
СХТ – сельскохозяйственная техника; ТЭА – техническая эксплуатация автомобиля;
ТО – техническое обслуживание; ТР – технический ремонт;
ПТБ – производственно-техническая база; МТС – машинно-техническая станция;
K1, K2, K3, K4 – критерии качества сельскохозяйственной техники

Fig. Diagram of the general structure of quality criteria taking into account the actual targeting of agricultural machinery:

ТЭА – technical operation of the vehicle; ТО – technical maintenance;
ТР – technical repair; ПТБ – production and technical base;
МТС – machine and technical station; СХТ – agricultural machinery;
K1, K2, K3, K4 – quality criteria of agricultural machinery

Верхний уровень системы оценки качества эксплуатации сельскохозяйственной техники

Таблица 1

Table 1

Upper level of the system for assessing the quality of agricultural machinery operation

Вариант СХТ	Повышение эффективности комплекса ТЭА (K1)	Снижение деградации ландшафта (K2)	Повышение экологичности процессов (K3)	Повышение безопасности эксплуатации СХТ (K4)
	Комплексные показатели			
СХТ 1				
СХТ 2				
...				
СХТ (n)				

Цель исследований: разработка математической модели определения эффективности сельскохозяйственной техники на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества

Материалы и методы. В качестве объекта исследования выбрана сложная система, представляющая собой совокупность отдельных частей, которые функционируют в тесном взаимодействии и составляют единое целое. Примером сложной системы может служить сам автомобиль, а также процесс обслуживания и ремонта.

Для определения эффективности сельскохозяйственной техники на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества использованы приемы математической статистики.

Исходной информацией для построения математической модели служили статистические данные, полученные в процессе эксплуатации автомобилей. В современной теории эксперимента такое моделирование называют пассивным экспериментом.

Результаты и их обсуждение. Занимая наибольший удельный вес в структуре грузоперевозок аграрного сектора, автомобильный транспорт представляет собой важнейший составной элемент в системе транспортного обслуживания агропромышленного комплекса (АПК) в РФ. В общих трудовых затратах в сельском хозяйстве на долю транспортных расходов приходится около 40%, что составляет до 14% от всех производственных затрат в АПК.

В настоящее время основными проблемами техники, эксплуатируемой в АПК, являются: высокая степень износа подвижного состава (более 80%); значительный по современным требованиям средний срок эксплуатации техники (превышает 12 лет); постоянный рост затрат на текущий ремонт и техническое обслуживание, и как следствие – увеличение числа отказов и простоев транспортных средств по техническим причинам.

Состояние качества эксплуатации техники является одной из причин невозможности обеспечения

реализации принятых перспективных направлений научно-технологического развития АПК Российской Федерации на период до 2030 года, которые должны гарантировать продовольственную безопасность России [5-6]. Современная тенденция роста производства объемов сельскохозяйственной продукции требует новых подходов при решении транспортных проблем АПК, способствующих повышению качества транспортного обслуживания его отраслей¹.

Математическая модель определения эффективности сельскохозяйственной техники на отдельных уровнях многоуровневой системы оценки качества определяется формулами:

$$\left\{ \begin{array}{l} D_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} c_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, \quad 0 \leq c_j \leq 1, \quad c_j \geq c_{j+1}, \quad j = \overline{1, n-1} \end{array} \right.$$

$$b_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} a_{ij}} \\ \frac{\min_{1 \leq i \leq m} a_{ij}}{a_{ij}} \end{cases};$$

$$c_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j \leq k, \\ 0, & \text{если } j > k. \end{cases}$$

Величина индекса k определяется условием

$$b_{kj} = \max_j b_{ij},$$

а эффективность объектов в системе оценки качества определяется следующим образом:

$$d_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} c_j;$$

$$E_s = D_f = \max_{1 \leq i \leq m} d_i.$$

Приведем пример расчёта по представленной математической модели со случайным набором показателей:

$$E_s = \begin{matrix} & c_{11} 76547 & c_{11} 3659 & \dots & c_{11} 70 \\ c_{11} 58601 & c_{11} 500 & \dots & c_{11} 35 \\ c_{11} 58615 & c_{11} 120 & \dots & c_{11} 123 \\ c_{11} 39926 & c_{11} 1010 & \dots & c_{11} 37 \end{matrix}$$

Введем обозначения критериев: С1 – трудоёмкость технического обслуживания, чел.-ч; С2 – время простоя в текущем ремонте, дн/1000 км пробега; С3 – трудоёмкость текущего ремонта, чел.-ч/1000 км пробега; E_s – эффективность объектов в системе оценки качества.

¹ Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.

Преобразуем исходные данные в относительные единицы с учётом целеполагания (табл. 2-4).

Далее производится расчёт по всем информационным состояниям на основе распределения приоритетов свойств – установленных критериев оценки качества эксплуатации сельскохозяйственной техники²:

1. Производится перестановка данных в матрице в соответствии с текущим вариантом приоритетов.

2. В каждой строке определяется максимум.

3. Для каждой строки определяется значение индекса (k), а соответственно – значения коэффициентов относительной важности.

4. Производится расчёт эффективности по каждому объекту (варианту решения).

Результаты расчёта коэффициентов относительной важности для всех информационных состояний в информационном пространстве принятия решений с учётом коэффициента весомости показателей (c_{ij}) сведены в таблицу 5.

Таблица 2

Формирование исходной матрицы – пример «распознавателя»

Table 2

Formation of the initial matrix – an example of “recogniser”

C1	C2	C3	E_s
76547	3659	70	-
58601	500	35	-
58615	120	123	-
39926	1010	37	-
Min	Max	Min	Устанавливаем целеполагание

Таблица 3

Перевод данных в относительные единицы в «распознавателе»

Table 3

Conversion of data into relative units in the “recogniser”

C1	C2	C3	E_s
$39926/76547 = 0,5215$	$3659/3659 = 1$	$35/70 = 0,5$	-
$39926/58601 = 0,6813$	$500/3659 = 0,1366$	$35/35 = 1$	-
$39926/58615 = 0,6812$	$120/3659 = 0,0328$	$35/123 = 0,2845$	-
$39926/39926 = 1$	$1010/3659 = 0,2760$	$35/37 = 0,9459$	-
Min	Max	Min	
сумма = 2,884	сумма = 1,4454	сумма = 2,7304	

Таблица 4

Результаты нормирования в «распознавателе»

Table 4

Results of normalisation in the “recogniser”

C1	C2	C3	E_s
0,1808	0,6918	0,1831	-
0,2362	0,0945	0,3662	-
0,2361	0,0227	0,1042	-
0,3467	0,1910	0,3464	-

Информационное состояние

Таблица 5

Table 5

Information state

$C1 > C2 > C3$ $c_{ij} = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	C1	C2	C3	E_s
	0,1808	$0,6918 - \max$	0,1831	0,4363
	0,2362	0,0945	$0,3662 - \max$	0,2321
	$0,2361 - \max$	0,0227	0,1042	0,2361
	$0,3467 - \max$	0,1910	0,3464	0,3467
				Ответ – 1
$C1 > C3 > C2$ $c_{ij} = \begin{pmatrix} 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	C1	C3	C2	E_s
	0,1808	0,1831	$0,6918 - \max$	0,3515
	0,2362	$0,3662 - \max$	0,0945	0,3012
	$0,2361 - \max$	0,1042	0,0227	0,2361
	$0,3467 - \max$	0,3464	0,1910	0,3467
				Ответ – 1
$C2 > C1 > C3$ $c_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \end{pmatrix}$	C2	C1	C3	E_s
	$0,6918 - \max$	0,1808	0,1831	0,6918
	0,0945	0,2362	$0,3662 - \max$	0,2321
	0,0227	$0,2361 - \max$	0,1042	0,1294
	0,1910	$0,3467 - \max$	0,3464	0,2689
				Ответ – 1
$C2 > C3 > C1$ $c_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 0,33 & 0,33 & 0,33 \end{pmatrix}$	C2	C3	C1	E_s
	$0,6918 - \max$	0,1831	0,1808	0,6918
	0,0945	$0,3662 - \max$	0,2362	0,2306
	0,0227	0,1042	$0,2361 - \max$	0,1209
	0,1910	0,3464	$0,3467 - \max$	0,2944
				Ответ – 1
$C3 > C2 > C1$ $c_{ij} = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 0,33 & 0,33 & 0,33 \end{pmatrix}$	C3	C2	C1	E_s
	0,1831	$0,6918 - \max$	0,1808	0,4374
	$0,3662 - \max$	0,0945	0,2362	0,3662
	0,1042	0,0227	$0,2361 - \max$	0,1208
	0,3464	0,1910	$0,3467 - \max$	0,2944
				Ответ – 1
$C3 > C1 > C2$ $c_{ij} = \begin{pmatrix} 0,33 & 0,33 & 0,33 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \end{pmatrix}$	C3	C1	C2	E_s
	0,1831	0,1808	$0,6918 - \max$	0,3515
	$0,3662 - \max$	0,2362	0,0945	0,3662
	0,1042	$0,2361 - \max$	0,0227	0,1702
	0,3464	$0,3467 - \max$	0,1910	0,3467
				Ответ – 2

¹ Петровский А.Б. Теория принятия решений. М.: Академия, 2009. 400 с.

Покажем предлагаемое аналитическое определение коэффициентов c_{ij} , позволяющих исследовать информационные состояния по принципу снижения значимости приоритетов между признаками и матрице:

$$c_{ij} = \begin{cases} \frac{1-\lambda}{k}, & \text{если } j \leq k \\ \frac{\lambda}{n-k}, & \text{если } k < j < n, \text{ где } 0 < \lambda < \frac{1}{n}, \\ \frac{1}{k}, & \text{если } j = n \end{cases}$$

где индекс k определяется из условия $a_{kj} = \max_j a_{ij}$.

Рассмотрим вариант определения коэффициентов относительной важности для 4 исследуемых объектов по 4 признакам. Для представления решения примем значение параметра $\lambda = 0,2$ из условия $0 < \lambda < 1/4$. Опуская все процедуры решения для

одного информационного состояния, приведём результаты расчёта в таблицах 6-7.

Результаты расчёта коэффициентов относительной важности информационного состояния для 4 исследуемых объектов по 4 признакам:

$$c_{ij} = \begin{pmatrix} 0,8 & 0,067 & 0,67 & 0,067 \\ 0,4 & 0,4 & 0,1 & 0,1 \\ 0,27 & 0,27 & 0,27 & 0,2 \\ 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,25 \end{pmatrix}.$$

В соответствии с представленными примерами расчёта можно утверждать, что разработанная математическая модель позволяет аналитически определять эффективность для любого количества исследуемых объектов по достаточно большому количеству признаков и объективно оценивать их эффективность для отдельных «распознавателей» в системе оценки качества сельскохозяйственной техники в АПК.

Последовательность расчёта информационного состояния для 4 исследуемых объектов по 4 признакам

Таблица 6

Table 6

Procedure of the information state calculation for four investigated objects by four attributes

n	$j_{\max}$	k	c_1	c_2	c_3	c_4	Проверка
Объект 1	$j_{\max} = 1$	$k = 1$	$\frac{1-\lambda}{k}$	$\frac{\lambda}{n-k}$	$\frac{\lambda}{n-k}$	$\frac{\lambda}{n-k}$	$\sum_1^n c_{ij} = 1$
Объект 2	$j_{\max} = 2$	$k = 2$	$\frac{1-\lambda}{k}$	$\frac{1-\lambda}{k}$	$\frac{\lambda}{n-k}$	$\frac{\lambda}{n-k}$	
Объект 1	$j_{\max} = 3$	$k = 3$	$\frac{1-\lambda}{k}$	$\frac{1-\lambda}{k}$	$\frac{1-\lambda}{k}$	$\frac{\lambda}{n-k}$	
Объект 1	$j_{\max} = 4$	$k = 4$	$\frac{1}{k}$	$\frac{1}{k}$	$\frac{1}{k}$	$\frac{1}{k}$	

Таблица 7

Расчёт информационного состояния для 4 исследуемых объектов по 4 признакам

Table 7

Calculation of the information state for four investigated objects by four attributes

n	$j_{\max}$	k	c_1	c_2	c_3	c_4	Проверка
Объект 1	$j_{\max} = 1$	$k = 1$	$\frac{1-0,2}{1}$	$\frac{0,2}{4-1}$	$\frac{0,2}{4-1}$	$\frac{0,2}{4-1}$	$\sum_1^n c_{ij} = 1$
Объект 2	$j_{\max} = 2$	$k = 2$	$\frac{1-0,2}{2}$	$\frac{1-0,2}{2}$	$\frac{0,2}{4-2}$	$\frac{0,2}{4-2}$	
Объект 1	$j_{\max} = 3$	$k = 3$	$\frac{1-0,2}{3}$	$\frac{1-0,2}{3}$	$\frac{1-0,2}{3}$	$\frac{0,2}{4-3}$	
Объект 1	$j_{\max} = 4$	$k = 4$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	

Выводы

Разработанная математическая модель определения эффективности техники на отдельных уровнях

многоуровневой системы оценки качества реализует универсальность подхода к решению при любых частных наборах признаков и их разновидностей.

Список использованных источников

1. Карелина М.Ю., Арифиллин И.В., Терентьев А.В. Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. № 1 (52). С. 3-9. EDN: YTOMQN.
2. Зубина В.А., Годжаев Т.З. Сравнительный анализ методов решений оптимизационных задач для сельскохозяйственного машиностроения // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 1. С. 11-16. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-11-16>
3. Грибов И.В., Перевозчикова Н.В. Применение метода экспертных оценок при определении показателей технологических свойств тракторов CLAAS // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2017. № 1 (77). С. 30-34. EDN: XVDGKB.
4. Терентьев А.В., Ефименко Д.Б., Карелина М.Ю. Методы районирования как методы оптимизации автотранспортных процессов // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 291-294. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-6-291-294>
5. Терентьев А.В., Евтюков С.С., Пирогов Я.Е. Аналитическая модель организации грузовых перевозок в сложной транспортной системе мегаполиса // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13, № 1. С. 24-41. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-24-41>
6. Мирзаев Р.Р., Терентьев А.В. Методы оценки качества транспортных машин, эксплуатируемых в агропромышленном комплексе // Чтения академика В.Н. Болтинского: Сборник. 2022. Ч. 2. С. 20-26. EDN: CFVDKW.

Вклад авторов

С.М. Гайдар – научное руководство, формулирование основных направлений исследования, формулирование общих выводов
 Р.Р. Мирзаев – формулирование общих выводов, анализ литературы, обработка результатов исследования
 А.М. Пикина – обработка результатов исследования, подготовка рукописи
 Т.И. Балькова – анализ литературы, обработка результатов исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 23.06.2023; после рецензирования и доработки 02.10.2023, принята к публикации 04.10.2023

References

1. Karelina M.Yu., Arifulin I.V., Terentyev A.V. Analytical determination of weight coefficients in the multi-criteria evaluation of the effectiveness of motor vehicles. *Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)*. 2018;1(52):3-9. (In Rus.)
2. Zubina V.A., Godzhaev T.Z. Comparative analysis of methods for solving optimization problems for agricultural engineering. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(1):11-16. (In Rus.)
3. Gribov I.V., Perevozchikova N.V. Application of the method of expert assessments in determining the indicators of technological properties of CLAAS tractors. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2017;1:30-34. (In Rus.)
4. Terentyev A.V., Efimenko D.B., Karelina M.Yu. Methods of zoning as methods of motor transport processes' optimization. *Bulletin of Civil Engineers*. 2017;6(65):291-294. (In Rus.) <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-6-291-294>
5. Terentyev A.V., Evtyukov S.S., Pirogov Ya.E. Analytical model of cargo transportation organization in a complex megalopolis transport system. *International Journal of Advanced Studies*. 2023;13(1):24-41. (In Rus.)
6. Mirzaev R.R., Terentyev A.V. Methods of assessing the quality of transport vehicles operated in the agroindustrial sector. In: *Readings of Academician V.N. Boltinsky*. 2022:20-26. (In Rus.)

Authors' contribution

S.M. Gaidar – research supervision, research administration, general conclusions.
 R.R. Mirzaev – general conclusions, literature review, data curation and formal analysis.
 A.M. Pikina – data curation and formal analysis, draft preparation
 T.I. Balkova – literature review, data curation and formal analysis

Conflict of interests

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

Received 23.06.2023; revised 02.10.2023; accepted 04.10.2023

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.793

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-52-56



Разработка технологического процесса фрикционного алитирования

Балабанов Виктор Иванович, д-р техн. наук, профессор¹vbalabanov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6486-6485>; spincod: 1885-6817, Scopus author ID: 7005293644, Researcher ID: L-7456-2017**Добряков Дмитрий Викторович, аспирант²**

dimasdobr@rambler.ru

Алипичев Алексей Юрьевич, канд. пед. наук¹

alipichev@rgau-msha.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49² Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса; 141261, Российская Федерация, Московская обл., р.п. Правдинский, ул. Лесная, 60

Аннотация. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) является одним из высокоэффективных методов повышения триботехнических свойств деталей (износостойкость, задиростойкость). Отсутствие высокоэффективных технологических сред и устройств для обработки деталей, а также низкая коррозионная стойкость нанесенных медьсодержащих покрытий сдерживает применение ФАБО. Фрикционное алитирование, предлагаемое авторами, заключается в нанесении алюминийсодержащего защитного покрытия трением, за счет применения алюминиевого натирающего инструмента и разработанной технологической среды, включающей в себя соли алюминия. В качестве материала натирающего инструмента выбран технический сплав марки АД1 ГОСТ 4784-97, состоящий из 99,3% Al, Fe – 0,3%; Si – до 0,3%; Ti – не более 0,15%; Zn – до 0,1%; Mg – не более 0,05%; Cu – до 0,05%; марганца Mn – не более 0,025% и примесей – до 0,05%. В качестве обрабатываемой детали при отработке технологии использовались цилиндрические образцы. Разработанная авторами технологическая среда включает соли меди, олова и никеля, глицерин, глюкозу и воду с дополнительным содержанием солей алюминия. Установлено, что для качественного протекания фрикционного алитирования процесс должен осуществляться за 3...4 прохода на скорости скольжения натирающего инструмента 0,1...0,3 м/с и давлении натирающего инструмента в пределах 5...7 МПа. В массовом производстве технологический процесс алитирования должен включать следующие операции: очистка до обработки, дефектация, фрикционное алитирование, очистка после обработки, контроль качества покрытия и при необходимости длительного хранения – консервация детали.

Ключевые слова: износостойкость, задиростойкость, антифрикционные свойства, финишная антифрикционная безабразивная обработка, ФАБО, технологическая среда, фрикционное алитирование, алюминийсодержащее покрытие.

Формат цитирования: Балабанов В.И., Добряков Д.В., Алипичев А.Ю. Разработка технологического процесса фрикционного алитирования // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 52-56. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-52-56>.

© Балабанов В.И., Добряков Д.В., Алипичев А.Ю., 2023

ORIGINAL PAPER

Developing the technology of friction alitising

Viktor I. Balabanov, DSc (Eng), Professor¹vbalabanov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6486-6485>; Spincode: 1885-6817, Scopus author ID: 7005293644, Researcher ID: L-7456-2017**Dmitry V. Dobryakov**, postgraduate student²

dimasdobr@rambler.ru

Aleksei Yu. Alipichev, CSc (Ed)¹

alipichev@rgau-msha.ru

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy”; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation² Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Support of Agroindustrial Sector; 60, Lesnaya Str., Pravdinskiy, Moscow region, 41261, Russian Federation

Abstract. Finishing anti-friction non-abrasive treatment (FANT) is one of the highly effective methods of increasing tribotechnical properties of parts (wear resistance and scoring resistance). The lack of highly effective technological media and devices for treating parts, as well as low corrosion resistance of the applied copper-containing coatings restrains the use of FANT. The technology of friction alitising, proposed by the authors, consists in the application of an aluminum-containing protective coating by friction, through the use of an aluminum rubbing tool and the developed technological medium, which includes aluminum salts. The technical alloy of AD1 grade GOST 4784-97, consisting of 99.3% Al, Fe – 0.3%; Si – up to 0.3%; Ti – not more than 0.15%; Zn – up to 0.1%; Mg – not more than 0.05%; Cu – up to 0.05%; manganese Mn – not more than 0.025% and impurities – up to 0.05% was chosen as a material of the rubbing tool. Cylindrical samples were used as the treated part during the elaboration. The technological medium developed by the authors includes salts of copper, tin and nickel, glycerine, glucose and water with additional content of aluminum salts. It has been established that qualitative friction alitising should be carried out in 3 to 4 passes at a sliding speed of the rubbing tool of 0.1 to 0.3 m/s and pressure of the rubbing tool within 5 to 7 MPa. For mass production, the technological process of alitising should include the following operations: cleaning before processing, defecting, friction alitising, cleaning after processing, quality control of coating and preservation of the part – if necessary for long storage.

Keywords: wear resistance, scoring resistance, antifriction properties, finishing antifriction non-abrasive treatment, FANT, technological environment, friction alitising (aluminising), aluminum-containing coating.

For citation: Balabanov V.I., Dobryakov D.V., Alipichev A.Yu. Developing the technology of friction alitising. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(5):52-56. (In Eng.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-52-56>.

Introduction. Finishing antifriction non-abrasive treatment (FANT), developed by D.N. Garkunov and V.N. Lozovsky, is one of the highly effective methods of increasing tribotechnical properties, such as wear resistance, scoring resistance, and coefficient of friction of new and reconditioned surfaces of rubbing joint parts [1-2].

The essence of the FANT process consists in the frictional coating of plastic (soft) metals on the contacting surfaces of parts of rubbing joints (cylinder liners, connecting rod and crankshaft main journals, supporting surfaces of camshafts, shafts, rods, and pins) in a special technological medium [1-2].

Based on the literature-and-patent review, the authors have established that FANT enhances increased scuff resistance, decreased wear intensity and friction losses in rubbing joints, in their subsequent operation after manufacturing or overhaul due to selective transfer processes occurring during friction (the Garkunov effect), consisting

in formation of protective self-healing “servovitic” films on the friction surfaces [3, 4].

The wide application of various FANT technologies is constrained by the lack of highly effective technological media and devices for the treatment of various parts, as well as the low corrosion resistance of the applied copper-containing coatings [6, 7].

Purpose of the research: to develop the technology of friction alitising of friction surfaces of rubbing joint parts.

Materials and methods. To improve the FANT technology by increasing the anticorrosive and tribotechnical properties of the treated parts it is advisable to use aluminum alloys with enhanced anticorrosive properties, high plasticity, as well as a new technological medium containing, along with salts of other plastic metals, aluminum salts as a material of the rubbing tool. The technological process is proposed to be called

“friction alitising (aluminising)”, by analogy with the previously known methods of friction brass plating and bronze plating.

The technical alloy of AD1 grade GOST 4784-97, consisting of 99.3% Al, Fe – 0.3%; Si – up to 0.3%; Ti – not more than 0.15%; Zn – up to 0.1%; Mg – not more than 0.05%; Cu – up to 0.05%; manganese Mn – not more than 0.025% and impurities – up to 0.05% was chosen as a material of the rubbing tool.

To work out the modes of friction alitising, the authors used a 1K62 lathe and a screw-cutting machine with a special device installed in its toolholder (Fig. 1, 2). Cylindrical samples were used as workpieces.

To carry out the process of friction alitising, the authors applied the developed technological medium (invention application No. 20233122292 dated August 28, 2023) containing copper, tin and nickel salts, glycerine, glucose and water, the peculiarity of which is the additional content of aluminum salts.

Results and discussion. Based on literature and patent analysis, theoretical studies in the field of tribology and laboratory tests, the authors have formulated the main requirements for developing technological fluids by identifying the influence of various components on the application process and the resulting properties of aluminum-containing coatings [5, 6].

It was found that the total content of salts of plastic metals below 1.0% does not ensure the formation of coatings with high tribotechnical properties. The total content of salts more than 5.0% leads to an increase in the corrosive effect of the composition on the treated surface

and to the overconsumption of active components of this medium.

Presence of aluminum salts in the composition enhances increased anticorrosive and scoring-resistant properties of the obtained coatings.

The content of glycerine in the amount of 30 to 40% provides optimal viscosity of the composition and the necessary concentration of surfactants formed as a result of glycerine tribo-degradation.

The concentration of glucose below 6% does not fully ensure the recovery of sufficient amount of metal from the composition. The content of reducing agent more than 10% does not improve the properties of the coating and does not lead to a significant increase in the coating process productivity. At the same time, it leads to the overconsumption of the composition.

Water and glucose have a cooling effect, good solubilising ability in relation to other components of the composition, and significantly reduce viscosity. Due to the latter fact, the composition can be used in the systems of supplying the technological medium of the machine tool.

Steel and cast iron parts are coated at a sliding speed of the rubbing tool of 0.1 to 0.3 m/s. Decreasing the speed of processing reduces the process performance. On the other hand, the increase in speed leads to a decrease in the quality of coating and subsequently scoring-resistant properties. The pressure of the rubbing tool providing uniform coating of reddish colour is within 5 to 7 MPa. These modes require 3 to 4 passes of the rubbing tool to obtain continuous and uniform coatings.

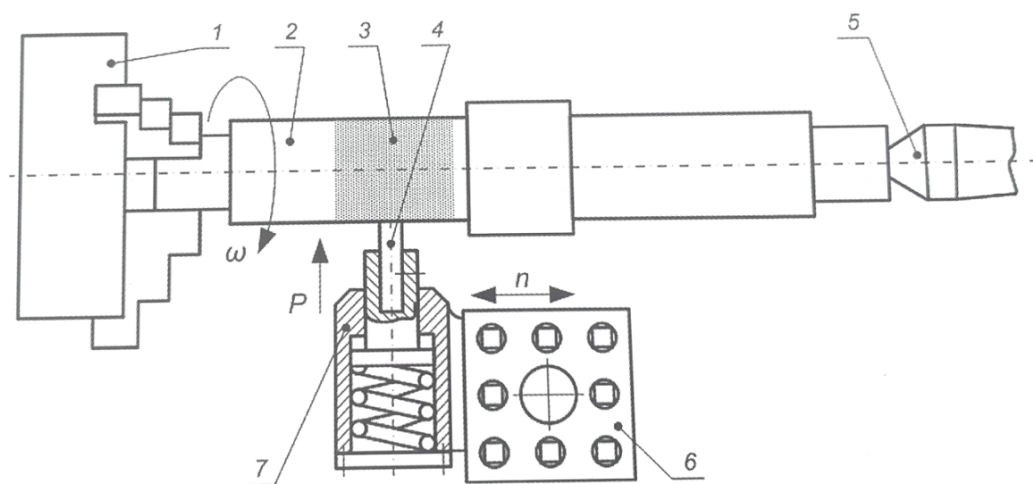


Fig. 1. Principal scheme of friction alitising:

1 – machine rotation drive; 2 – workpiece; 3 – aluminum-containing coating; 4 – aluminum rubbing tool; 5 – moving center of the tailstock; 6 – toolholder; 7 – FANT device; P – pressure force of the rubbing tool; n – longitudinal feed of the machine toolholder; ω – angular velocity of the workpiece

Рис. 1. Принципиальная схема фрикционного алитирования:

1 – привод вращения станка; 2 – деталь; 3 – алюминийсодержащее покрытие; 4 – алюминиевый натирающий инструмент; 5 – подвижный центр задней бабки; 6 – резцедержатель; 7 – устройство для ФАБО; P – сила прижатия натирающего инструмента; n – продольная подача резцедержателя станка; ω – угловая скорость детали

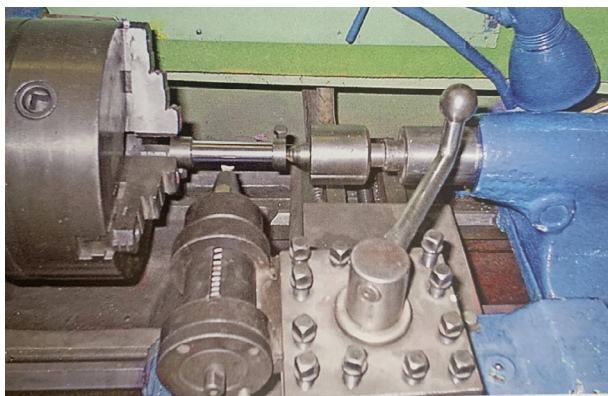


Fig. 2. External view of the device for elaborating the modes of friction coating

Рис. 2. Внешний вид устройства для отработки режимов нанесения покрытий трением

As a result of processing with the proposed composition, the resulting coating is a composite material enriched with aluminum near the free surface.

To use the described method in serial and mass production, we propose a technological process including several main operations: cleaning before processing, defecting, friction alitising, cleaning after processing, quality control of the coating, and preservation of the part if necessary for long-term storage.

Before applying protective coatings by friction alitising it is advisable to degrease the surface with monoethanolamine TU6-02-915-79 or white spirit GOST 3134-78 to remove particles of oil lubricating and cooling process media left after the machining of parts.

The machined part is installed in the holders of lathe, screw-cutting, boring, honing or other machine prepared for friction alitising.

For serial and mass friction alitising of parts, it is necessary to develop and test special fixtures, for example, devices for friction-mechanical coating of crankshafts or special heads for cylinder liners.

The surface of the part to be treated is wetted with the developed process fluid. The rubbing element of the device is brought into contact with the surface to be treated, pressed down with a predetermined force. Then the rotating device is switched on and the cross-feed of the device along the sample is performed. A sharp whistling sound indicates that coating is in progress.

The literature-and-patent analysis gives grounds to consider that the quality coating depends in a certain way on the activation of four activation channels of treated surfaces: mechanical, chemical, thermal, and vacancy-dislocation channel. During coating, besides chemical activation of the surface by chemical components contained in the process medium, additional activation of the process is provided by triggering the mechanical

channel (destruction of oxide films in the contact zone and plastic deformation (riveting) of subsurface layers), as well as the thermal channel due to intensive heating of the contacted areas of the treated surface by the rubbing tool [5, 8].

The most complete activation of channels and intensification of the process of composite antifriction coating application is provided by tribocoating at optimal loading and speed modes of processing and effective composition of the technological medium.

Processing is carried out in several passes until obtaining a uniform coating without uncoated spots and large particles of the transferred metal.

After coating, the machine drive is switched off and the processed part is removed from the machine. To reduce the aggressiveness of substances in the water, the treated surfaces are washed with a 1% solution of glycerine GOST 6259-75 in water GOST 2874-82.

The treated parts is dried first with compressed air according to GOST 11882-73 at a pressure of 0.1 to 0.2 MPa using a blowing tap type 9693-1108, and then dried in the open air at a temperature not lower than 20°C.

Quality control of coatings (colour and continuity) is carried out by external inspection on the ORG 1 168-01-080A inspector's table with the help of a magnifying glass LP-4x GOST 25705-83. Then, if necessary for long-term storage, the parts are covered with a thin layer of preservative grease and sent to the warehouse.

The analysis of literature sources gives grounds to assume that for long-term preservation of high antifriction properties of treated parts in the subsequent operation of rubbing joints it is advisable to use lubricants with metal-cladding additives containing chemical compounds of aluminum [3, 5, 9].

Conclusions

1. The article considers a new technology of application of anti-wear coatings by friction – friction alitising (aluminising), which is a kind of FANT and consists in the application of aluminum-containing protective coatings by friction, due to the use of aluminum rubbing tools and a new technological medium including aluminum salts.

2. Based on laboratory studies the authors have established that the formation of continuous and uniform coatings by friction alitising is achieved for 2 to 3 working passes of the rubbing tool at a sliding speed of 0.1 to 0.3 m/s and pressure within 5 to 7 MPa.

3. The technological process of friction alitising of parts includes the following main operations: cleaning before processing, defecting, friction alitising, cleaning after processing, quality control and coating preservation of if necessary for long-term storage.

References

1. Garkunov D.N. Finishing anti-friction non-abrasive treatment (FANT) of friction surfaces of parts. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2009;2:10-17, 3:36-41, 4:20-24, 5:24-29, 6:38-42. (In Rus.)
2. Balabanov V.I., Bolgov V.Yu., Ishhenko S.A. Friction application of nanoscale antifriction coatings on machine parts. *Nanotehnologii, ekologiya, proizvodstvo*. 2010;1(3):104-107. (In Rus.)
3. Ipatov A.G., Shmykov S.N. Synthesis of antifriction coatings by the FANT method. *Machinery technical service*. 2021;1(142):140-147. (In Rus.)
4. Pogonyshchev V.A., Logunov V.V. Increasing the wear resistance of crankshaft journals by applying plastic metal films. *Strengthening Technologies and Coatings*. 2013;6:47-48. (In Rus.)
5. Balabanov V.I. Improving the quality of repaired internal combustion engines by the method of selective transfer in case of friction. *Vestnik mashinostroeniya*. 2001;8:14-19. (In Rus.)
6. Ishhenko S.A. Diagnosing and restoring the caterpillar mover parts of rice-grain harvesters. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2008;12:20-24. (In Rus.)
7. Pogonyshchev V.A., Romaneev N.A. Increasing the wear resistance of crankshaft journals by the application of plastic metal films. *Strengthening Technologies and Coatings*. 2013;6(102):47-48. (In Rus.)
8. Pogonyshchev V.A., Belous N.M., Torikov V.E., Mokshin I.A., Boiko A.A. Tribotechnical characteristics of composite coatings deposited by spraying. *Materials Today: Proceedings*. 2021;38;4:1849-1851. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.434>
9. Balabanov V.I. Nanotechnologies and nanopreparations for automotive tractor equipment. *Primenenie nanotekhnologiy i nanomaterialov v APK: Sb. dokladov*. M.: FGNU "Rosinformagrotekh", 2008:77-81. (In Rus.)

Авторский вклад

В.И. Балабанов – концептуализация, методология, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование;
Д.В. Добряков – визуализация, создание черновика рукописи.
А.Ю. Алипичев – англоязычный перевод

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 16.05.2023, после рецензирования и доработки 13.09.2023, принята к публикации 14.09.2023

Список использованных источников

1. Гаркунов Д.Н. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) поверхностей трения деталей // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2009. № 2. С. 10-17; № 3. С. 36-41; № 4. С. 20-24; № 5. С. 24-29; № 6. С. 38-42.
2. Балабанов В.И., Болгов В.Ю., Ищенко С.А. Нанесение трением наноразмерных антифрикционных покрытий на детали машин // Нанотехнологии, экология, производство. 2010. № 1(3). С. 104-107. EDN: OOMOOL
3. Ипатов А.Г., Шмыков С.Н. Синтез антифрикционных покрытий методом ФАБО // Технический сервис машин. 2021. № 1 (142). С. 140-147. EDN: VKMHLQ
4. Погоньшев В.А., Логунов В.В. Повышение износостойкости шеек коленчатого вала путём нанесения плёнок пластичных металлов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 6(102). С. 47-48. EDN: QAXYQF
5. Балабанов В.И. Повышение качества отремонтированных двигателей внутреннего сгорания путем реализации избирательного переноса при трении // Вестник машиностроения. 2001. № 8. С. 14-19. EDN: TPBWOX
6. Ищенко С.А. Диагностирование и восстановление деталей гусеничного движителя рисосерноуборочных комбайнов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2008. № 12. С. 20-25. EDN: KTNEPD
7. Погоньшев В.А., Романеев Н.А. Повышение износостойкости шеек коленчатого вала путем нанесения плёнок пластичных металлов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2013. № 6 (102). С. 47-48. EDN: QAXYQF
8. Pogonyshchev V.A., Belous N.M., Torikov V.E., Mokshin I.A., Boiko A.A. Tribotechnical characteristics of composite coatings deposited by spraying. *Materials Today: Proceedings*. 2021;38;4:1849-1851. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.434>
9. Балабанов В.И. Нанотехнологии и нанопрепараты для автотракторной техники // Сб. докладов «Применение нанотехнологий и наноматериалов в АПК». М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. С. 77-81. EDN: UCOKYT

Authors' contribution

V.I. Balabanov – conceptualization, methodology, draft finalizing (reviewing) and editing;
D.V. Dobryakov – visualization, original draft preparation
A.Y. Alipichev – English translation

Conflict of interests

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

Received 15.05.2023; revised 13.09.2023; accepted 14.09.2023

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК: 621.713.1: 621.2.082.18

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-57-61



Расчёт и выбор посадки с зазором с использованием теории гидродинамической смазки

Леонов Олег Альбертович , д-р техн. наук, профессор

oaleonov@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>; Scopus Autor ID: 57209748174; Researcher ID: ABC-5873-2020

Шкаруба Нина Жоровна, д-р техн. наук, профессор

shkaruba@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442>; Scopus Autor ID: 57210255441; ResearcherID: AAF-6340-2019

Вергазова Юлия Геннадьевна, канд. техн. наук, доцент

vergazova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7564-7656>; Scopus Autor ID: 57210258726; Researcher ID: AAD-5899-2022

Гринченко Лаврентий Александрович, ассистент

grinchenko@rgau-msha.ru

Александрук Кирилл Игоревич, студент

9859317318k@gmail.com

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

Аннотация. Гидродинамическая смазка увеличивает ресурс соединений. Качество и долговечность работы соединений с гидродинамической смазкой определяются функциональными параметрами, включающими в себя характеристики прочности, жёсткости, износостойкости и точностные характеристики. В указанных соединениях точностными характеристиками являются зазоры, шероховатость поверхности деталей, отклонение формы и расположение поверхностей. С целью обеспечения наибольшего запаса материалов и деталей и наибольшего ресурса рассчитана и выбрана посадка для соединения подшипника скольжения редуктора винтового конвейера сушки зерна, работающего в условиях гидродинамического трения. Для данного соединения расчётным путём выбраны две посадки: $\varnothing 50H9/g9$ и $\varnothing 50H7/g6$. Исходя из рационального назначения шероховатости поверхности трущихся пар, следует назначить посадку $\varnothing 50H7/g6$, имеющую коэффициент запаса точности 22. Для посадки $\varnothing 50H9/g9$ соответствует коэффициент запаса точности 7. Рекомендуемая посадка $\varnothing 50H7/g6$ обеспечивается хонингованием отверстия и тонким шлифованием вала, и именно она даёт наибольший запас материалов деталей на износ и наибольший ресурс соединения.

Ключевые слова: гидродинамическая смазка, посадка, подшипник скольжения, коэффициент запаса точности, запас материалов, ресурс соединения

Формат цитирования: Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Гринченко Л.А., Александрук К.И. Расчёт и выбор посадки с зазором с использованием теории гидродинамической смазки // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 57-61. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-57-61>.

© Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Гринченко Л.А., Александрук К.И., 2023

ORIGINAL ARTICLE

Calculation and selection of a clearance fit using the theory of hydrodynamic lubrication

Oleg A. Leonov , DSc (Eng), Professor

oaleonov@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0001-8469-8052>; Scopus Autor ID: 57209748174; Researcher ID: ABC-5873-2020

Nina Zh. Shkaruba, DSc (Eng), Professor

shkaruba@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2770-8442>; Scopus Autor ID: 57210255441; ResearcherID: AAF-6340-2019

Yuliya G. Vergazova, CSc (Eng), Associate Professor

vergazova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7564-7656>; Scopus Autor ID: 57210258726; Researcher ID: AAD-5899-2022

Lavrenty A. Grinchenko, Assistant Professor

grinchenko@rgau-msha.ru

Kirill I. Aleksandrok, student

9859317318k@gmail.com

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

Abstract. Hydrodynamic lubrication increases the service life of connections. The quality and durability of connections with hydrodynamic lubrication is determined by functional parameters, including the characteristics of strength, rigidity, wear resistance and accuracy characteristics. In these joints, the accuracy characteristics are gaps, surface roughness of parts, shape deviation and surface arrangement. To ensure the largest supply of materials and parts and the greatest resource, the authors calculated a fit and selected for connecting the plain bearing of the gearbox of the grain drying screw conveyor operating under hydrodynamic friction. For this connection, two fits were chosen by calculation: $\varnothing 50H9/g9$ and $\varnothing 50H7/g6$. Based on the rational assignment of the surface roughness of rubbing pairs, it is necessary to assign a fit $\varnothing 50H7/g6$, which has an accuracy factor of 22. For a fit $\varnothing 50H9/g9$, the accuracy factor corresponds to 7. The recommended fit $\varnothing 50H7/g6$ is provided by honing the hole and fine grinding the shaft. It is the fit that provides the largest stock of parts materials for wear and the largest connection resource.

Keywords: hydrodynamic lubrication, fit, plain bearing, accuracy factor, material stock, service life of the connection

For citation: Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G., Grinchenko L.A., Alexandrok K.I. Calculation and selection of a clearance fit using the theory of hydrodynamic lubrication. Agricultural Engineering (Moscow), 2023;25(5):57-61. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-57-61>.

Введение. Теория гидродинамической смазки широко применяется при проектировании современной техники [1, 2]. Гидродинамическая смазка увеличивает ресурс соединений, поскольку в процессе эксплуатации материалы вала и отверстия взаимодействуют только во время пуска и остановки, а при нормальном режиме эксплуатации взаимодействуют слои смазки [3-5].

В двигателях внутреннего сгорания применяются соединения с гидродинамической смазкой: коренные и шатунные подшипники, верхняя головка шатуна с поршневым пальцем, опоры распределительного вала, юбка поршня с гильзой и др. [6-9]. Качество и долговечность работы данных соединений определяются функциональными параметрами, включающими в себя не только характеристики прочности, жёсткости, износостойкости, но и точностные характеристики (зазоры, шероховатость поверхности деталей, отклонение формы и расположение поверхностей) [5, 10].

Расчёты функциональных зазоров в пределах нормальной работы соединения направлены на повышение надёжности и долговечности двигателей внутреннего сгорания [11] и являются основой для выбора посадок и назначения рациональной точности проектируемого соединения [12, 13].

Расчёт посадок для подшипников скольжения на основе теории гидродинамической смазки заключается в определении наибольшего и наименьшего функциональных зазоров, конструкционного допуска посадки, определяемого с помощью коэффициента запаса точности. Выбор посадки сводится к назначению квалитетов точности отверстия и вала и основного отклонения в зависимости от заданной системы посадки.

Цель исследований: рассчитать и выбрать посадку для соединения, работающего в условиях гидродинамического трения, обеспечивающую наибольший запас материалов деталей на износ и наибольший ресурс соединения.

Материалы и методы. В исследованиях использованы положения теории гидродинамической смазки, теории точности, а также нормы взаимозаменяемости.

Объектом исследований явился подшипник скольжения редуктора винтового конвейера сушки зерна.

Динамическая вязкость масла зависит от его марки и наибольшей реальной рабочей температуры. Выбрано промышленное масло И-Л-А-46, у которого нормированная рабочая температура составляет 50 °С (табл. 1).

Предельные функциональные зазоры в теории гидродинамической смазки определялись по выражению [10]:

$$S_{F_{\min}^{\max}} = \frac{\omega k \mu d^2 \pm \sqrt{(\omega k \mu d^2)^2 - 16 p h_{\min}^2 \omega \mu d^2}}{4 p h_{\min}}, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость вращения вала, c^{-1} ; d – диаметр соединения, м; p – удельное давление, Па; $h_{\min}$ – наименьшая толщина масляного слоя, м; μ – динамическая вязкость масла, Па·с; k и m – конструктивные коэффициенты И.Н. Поздова.

Наименьшая толщина масляного слоя, необходимая для обеспечения жидкостного трения в подшипнике скольжения, определялась по выражению [10]:

$$h_{\min} = k_o (R_{Zd} + R_{ZD}), \quad (2)$$

где $k_o = 2,0$ – коэффициент запаса надёжности по толщине масляного слоя; R_{Zd} – шероховатость поверхности вала, мкм; R_{ZD} – шероховатость поверхности отверстия, мкм.

Конструктивные коэффициенты И.Н. Поздова определялись соотношением геометрических параметров l/d (длины цапфы и диаметра соединения).

Исходные данные приведены в таблице 1.

Результаты и их обсуждение. В результате расчётов определены предельные функциональные зазоры и сделан вывод о том, что соединение будет иметь жидкостную смазку в диапазоне зазоров от 7,42 до 918,79 мкм (табл. 2). После выбора коэффициента запаса точности $K_{ЗТ} = 7$ назначена посадка $\varnothing 50 \frac{H9}{g9} \left(\begin{smallmatrix} +0,062 \\ -0,009 \\ -0,071 \end{smallmatrix} \right)$. Для данных квалитетов деталей

выбраны следующие виды обработки: для отверстия – развёртывание полуступенчатое; для вала – шлифование круглое полуступенчатое. Однако для увеличения коэффициента запаса точности, а как следствие – и долговечности соединения, можно изменить значения квалитета для отверстия и вала (рис. 1, 2). Учитывая, что рекомендуемое значение шероховатости поверхности для подшипников скольжения равно 0,25...0,32 мкм, можно изменить метод обработки деталей:

для отверстия – хонингование (обеспечивает 7...8 квалитет);

для вала – шлифование тонкое (обеспечивает 6...7 квалитет).

Таким образом, исходя из рационального назначения шероховатости поверхности трущихся пар, можно назначить посадку $\varnothing 50 \frac{H7}{g6}$. При этом коэффициент запаса точности становится равным 22.

Таблица 1

Исходные данные

Initial data	
Наименование и обозначение параметров Name and designation of parameters	Значение Value
Номинальный диаметр соединения, d_n , мм Nominal diameter of connection, d_n , mm	50
Длина цапфы, l , мм / Length of journal, l , mm	45
Шероховатость поверхности отверстия, R_{ZD} , мкм Bore surface roughness, R_{ZD} , μm	1,0
Шероховатость поверхности вала, R_{Zd} , мкм Shaft surface roughness, R_{Zd} , μm	0,8
Частота вращения вала, n , мин ⁻¹ / Shaft speed, n , min ⁻¹	1200
Радиальная нагрузка на подшипник, R , кН Radial load on bearing, R , kN	2,0
Система изготовления / Manufacturing system	CH
Марка масла / Oil grade	И-Л-А-46
Динамическая вязкость масла, μ , Па·с Dynamic viscosity of oil, μ , Pa·s	0,027

Table 1

На рисунке 1 изображены поля допусков посадок $\varnothing 50 \frac{H9}{g9}$ и $\varnothing 50 \frac{H7}{g6}$. При равенстве наименьшего стандартного зазора ($S_{\min} = 9$ мкм) у двух сравниваемых посадок наблюдаем существенное различие в величинах наибольшего стандартного зазора $S_{\max}$: 133 мкм у более грубой посадки и 50 мкм – у более точной.

Различие зазоров и использование более точной посадки формируют определённый запас материалов деталей на износ и дают возможность существенно увеличить ресурс соединения (рис. 2).

Таблица 2

Результаты расчётов

Table 2

Calculation results

Наименование и обозначение параметров Parameter name and designation	Значение Value
Угловая скорость вращения вала, ω , с ⁻¹ Angular speed of the shaft, ω , s ⁻¹	126
Удельное давление, p , Па / Specific pressure, p , Pa	$0,88 \cdot 10^6$
Наименьшая толщина масляного слоя, $h_{\min}$, м Smallest thickness of the oil layer, $h_{\min}$, m	$3,6 \cdot 10^{-6}$
Конструктивный коэффициент, k / Design factor, k	0,690
Конструктивный коэффициент, m / Design factor, m	0,705
Наименьший функциональный зазор, $S_{F_{\min}}$, м Smallest functional clearance, $S_{F_{\min}}$, m	$7,42 \cdot 10^{-6}$
Наибольший функциональный зазор, $S_{F_{\max}}$, м Largest functional gap, $S_{F_{\max}}$, m	$918,79 \cdot 10^{-6}$

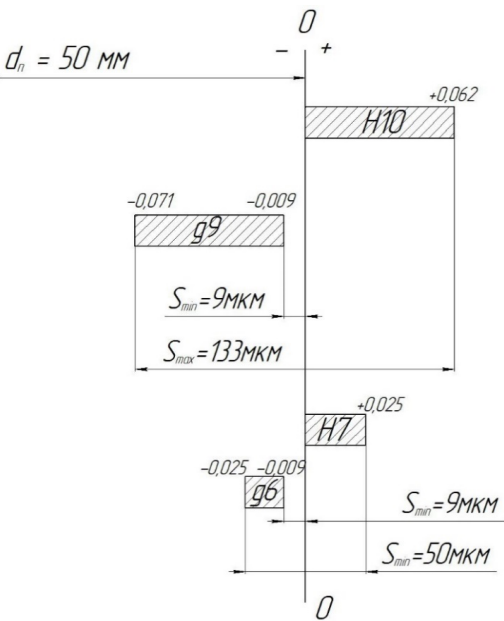


Рис. 1. Схемы полей допусков грубой и точной посадок
Fig. 1. Diagrams of tolerance fields of coarse and fine fits

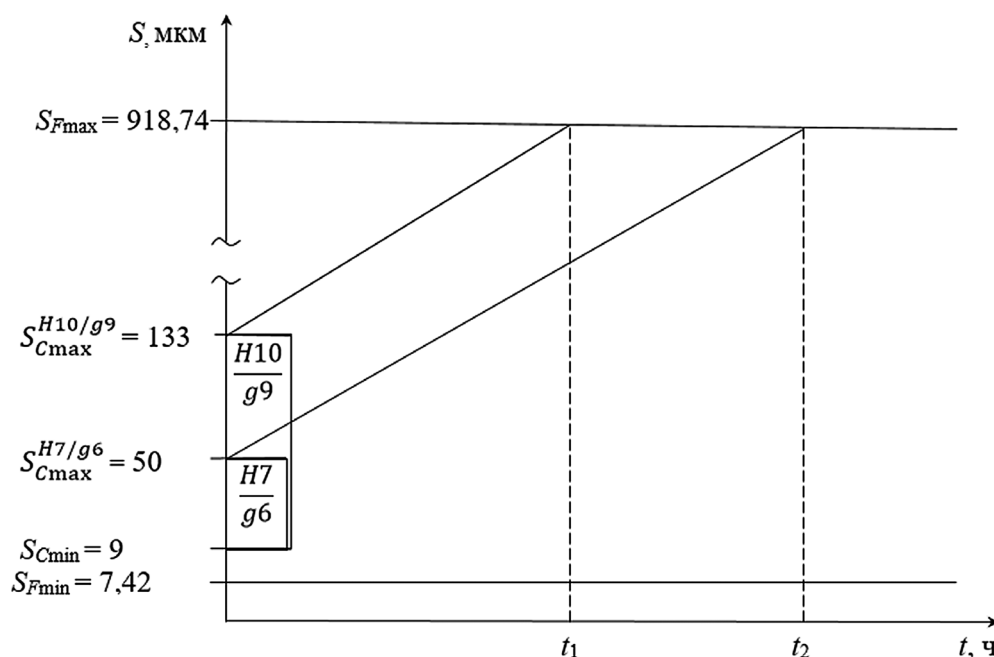


Рис. 2. Приращение ресурса при использовании более точной посадки

Fig. 2. Service life increment when using a more accurate fit

Выводы

Для соединения, работающего в условиях гидродинамического трения, определены предельные функциональные зазоры и выбраны две посадки: $\varnothing 50 \frac{H9}{g9}$ и $\varnothing 50 \frac{H7}{g6}$. Первая посадка – более грубая, когда

по 9 квалитету точность деталей обеспечивается простыми и дешевыми способами обработки: развертыванием отверстия и полуступовым шлифованием вала. Вторая (более точная) посадка обеспечивается хонингованием отверстия и тонким шлифованием вала. Именно она дает наибольший запас материалов деталей на износ и наибольший ресурс соединения.

Список использованных источников

1. Захаров С.М. Гидродинамическая смазка: состояние и перспективы // Трение и износ. 2010. Т. 31, № 1. С. 78-92. EDN: KZXMFТ.
2. Силуянова М.В., Фертиков А.О. Расчёт течения смазки в подшипнике скольжения редуктора авиационного двигателя // Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение: Вестник Самарского университета. 2019. Т. 18, № 2. С. 75-88. <https://doi.org/10.18287/2541-7533-2019-18-2-75-88>
3. Захаров С.М. Многоопорные валы с подшипниками скольжения: моделирование и оценка их работоспособности // Трение и износ. 2017. Т. 38, № 3. С. 208-216. EDN: YURYAT.
4. Иванов В.А. Программный комплекс расчёта давления в смазочном слое подшипника скольжения // Сибирский журнал науки и технологий. 2018. Т. 19, № 3. С. 540-549. <https://doi.org/10.31772/2587-6066-2018-19-3-540-549>
5. Ахвердиев К.С., Александрова Е.Е., Константинов В.А. Гидродинамическая смазка радиального подшипника повышенной несущей способности, обусловленной профилем его опорной поверхности и шероховатостью поверхности вала // Вестник Донского государственного технического университета. 2010. Т. 10, № 3 (46). С. 325-329. EDN: MVSQRP.
6. Смирнов С.В., Воробьев А.А. Исследование гидродинамических условий смазывания юбки составного поршня // Научно-техническое производство общества. 2018. № 2 (16). С. 70-73. EDN: YWTPUD.

References

1. Zakharov S.M. Hydrodynamic lubrication research: Current situation and future prospects. *Journal of Friction and Wear*. 2010;31(1):78-92. (In Rus.)
2. Siluyanova M.V., Fertikov A.O. Calculation of lubricant flow in the slide bearing of the aviation engine reducer. *Vestnik of Samara University. Aerospace and mechanical engineering*. 2019;18(2):75-88. (In Rus.) <https://doi.org/10.18287/2541-7533-2019-18-2-75-88>
3. Zakharov S.M. Multiple-support shafts with journal bearings: a simulation and evaluation of their performance. *Journal of Friction and Wear*. 2017;38(3):208-216. (In Rus.)
4. Ivanov V.A. Program complex of pressure calculation in lubricated slide bearing layer. *Siberian Journal of Science and Technology*. 2018;19(3):540-549. (In Rus.) <https://doi.org/10.31772/2587-6066-2018-19-3-540-549>
5. Akhverdiev K.S., Aleksandrova E.E., Konstantinov V.A. Hydrodynamic lubrication of a radial bearing of increased bearing capacity with barrel rotation unevenness. *Vestnik of Don State Technical University*. 2010;10(3):325-329. (In Rus.)
6. Smirnov S.V., Vorobyev A.A. Investigation of hydrodynamic lubrication conditions of the compound piston skirt. *Naukograd. Nauka. Proizvodstvo. Obshchestvo*. 2018;2(16):70-73. (In Rus.)
7. Smirnov S.V., Makarov A.R., Vorobyev A.A. Mathematical modeling of dynamics movement of a piston skirt in the cylinder of the internal combustion engine. *RUDN Journal of Engineering Research*. (In Rus.) 2017;18(3):338-344. <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2017-18-3-338-344>

7. Смирнов С.В., Макаров А.Р., Воробьёв А.А. Математическое моделирование динамики движения юбки поршня в цилиндре двигателя внутреннего сгорания // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Инженерные исследования». 2017. Т. 18, № 3. С. 338-344. <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2017-18-3-338-344>

8. Смирнов С.В., Макаров А.Р., Абу-Ниджим Р.Х. Математическое моделирование динамики движения составного поршня в цилиндре двигателя внутреннего сгорания // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2017. № 11. С. 57-63. EDN: ZSLOKB.

9. Денисов А.С., Асоян А.Р. Повышение надёжности подшипников коленчатого вала двигателя КАМАЗ при ремонте // Научное обозрение. 2012. № 1. С. 42-47. EDN: OWQEPD.

10. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Модель параметрического отказа для расчёта точностных параметров соединения с зазором // Трение и износ. 2019. Т. 40, № 4. С. 424-430. EDN: PMGHHY.

11. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж. Расчёт допуска посадки по модели параметрического отказа соединения // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2020. № 4. С. 14-20. EDN: VILYGG.

12. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Голиницкий П.В., Пупкова Д.А. Расчёт посадок соединений упругих втулочно-пальцевых муфт с валами // Вестник машиностроения. 2023. № 2. С. 96-101. EDN: ITNRLQ.

13. Леонов О.А., Шкаруба Н.Ж., Вергазова Ю.Г., Хасьянова Д.У. Обоснование посадок соединений со шпонками // Проблемы машиностроения и надёжности машин. 2022. № 6. С. 65-71. EDN: EITIEV.

Вклад авторов

О.А. Леонов – руководство исследованием; формулирование основной концепции исследования и задач.

Н.Ж. Шкаруба – разработка методологии исследования, создание окончательной версии (доработка) рукописи и её редактирование.

Ю.Г. Вергазова – верификация данных; разработка программного обеспечения.

Л.А. Гринченко – визуализация данных, описание результатов и формирование выводов исследования.

К.И. Александрок – подготовка начального варианта текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 23.03.2023; после рецензирования 31.08.2023, принята к публикации 01.09.2023

8. Smirnov S.V., Makarov A.R., Abu-Nidzhim R.Kh. Mathematical modeling of dynamics of movement of the compound piston in the cylinder of the internal combustion engine. *Traktory i selkhoz-machiny*. 2017;11:57-63. (In Rus.)

9. Denisov A.S., Asoyan A.R. Increasing the reliability of crankshaft bearings of kamaz engine during maintenance. *Nauchnoe obozrenie*. 2012;1:42-47. (In Rus.)

10. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. A parametric failure model for the calculation of the fit tolerance of joints with clearance. *Journal of Friction and Wear*. 2019;40(4):424-430. (In Rus.)

11. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh. Calculation of the fit tolerance by model parametric connection failure. *Problemy mashinostroeniya i avtomatizatsii*. 2020;4:14-20. (In Rus.)

12. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G., Golitskiy P.V., Pupkova D.A. Calculation of joint fits of elastic sleeve-pin couplings with shafts. *Vestnik mashinostroeniya*. 2023;2:96-101. (In Rus.)

13. Leonov O.A., Shkaruba N.Zh., Vergazova Yu.G., Khasyanova D.U. Justification of keyed joint fits. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*. 2022;6:65-71. (In Rus.)

Authors' contribution

O.A. Leonov – research supervision; conceptualization and setting objectives.

N.Zh. Shkaruba – methodology, finalizing (reviewing) and editing the draft.

Y.G. Vergazova – data verification; software development.

L.A. Grinchenko – data visualization, description of results and making conclusions.

K.I. Aleksandruk – original draft preparation

Conflict of interests

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

Received 23.03.2023; revised 31.08.2023; accepted 01.09.2023

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК: 621.321:631.544.45

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-62-67



Роль спектральных характеристик источников излучения в формировании урожая салата при выращивании методом гидропоники

Долгих Павел Павлович[✉], канд. техн. наук, доцент

dpp10@yandex.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0003-3443-5726>

Трепуз Сергей Валерьевич, аспирант²

mail@growshop24.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0699-6788>

Попова Наталья Михайловна, научный сотрудник

nmpopova@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3863-6261>

Красноярский государственный аграрный университет; 660049, Российская Федерация, г. Красноярск, пр-кт Мира, 90

Аннотация. Выращивание растений в закрытых помещениях с контролируемой средой подразумевает применение светодиодных систем с регулируемым спектром и интенсивностью с ручным или дистанционным управлением. С целью разработки требований к конструкции светодиодного облучателя проведено исследование роли различных спектров светодиодного излучения на показатели роста, развития и урожайности салата, выращиваемого методом гидропоники. Исследования проводились на растениях салата сортов Кук, Афицион, Хризолит в вегетационной установке с гидропоникой периодического затопления с тремя разноспектральными облучателями: первый – со спектром излучения, совпадающим с функцией спектрального распределения относительной фотосинтетической активности солнечного излучения (контроль); второй – с излучением, совпадающим с функцией спектральной чувствительности растений по К.Дж. МакКри; третий – с регулируемым спектром по трём каналам управления для трёх участков спектра, совпадающим с функциями синтеза хлорофилла. Установлено, что реакция различных сортов салата на спектральный состав излучения является специфичной. Максимальная урожайность сорта Кук (4,45 кг/м²) получена под первым облучателем, салатов Афицион (4,7 кг/м²) и Хризолит (6,55 кг/м²) – под вторым. На основе полученных результатов исследований разработаны требования и спроектирован светодиодный облучатель, совмещающий в себе все достоинства светодиодных и цифровых технологий и позволяющий реализовывать требуемые функции излучения для лабораторных исследований и при выращивании растений in-vitro. Отмечено, что светодиодный модуль облучателя должен включать в себя светодиоды фиолетового, синего, красного, тёмно-красного и дальнего красного излучений, а также светодиоды тёплого и холодного белого света.

Ключевые слова: вегетационная установка, метод гидропоники, светокультура, светодиодный облучатель, спектральный состав излучения, урожайность

Формат цитирования: Долгих П.П., Трепуз С.В., Попова Н.М. Роль спектральных характеристик источников излучения в формировании урожая салата при выращивании методом гидропоники // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 62-67. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-62-67>.

© Долгих П.П., Трепуз С.В., Попова Н.М., 2023

ORIGINAL PAPER

Role of the spectral characteristics of radiating sources in the formation of lettuce yield in hydroponics cultivation

Pavel P. Dolgikh , CSc (Eng), Associate Professor

dpp10@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3443-5726>; SPIN-код: 9234-1792

Sergey V. Trepuz, postgraduate student, Department of Systems Power Engineering

mail@growshop24.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0699-6788>; SPIN-код: 3900-0363

Natalia M. Popova, Research Associate

nmpopova@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3863-6261>; SPIN-код: 1592-6823

Krasnoyarsk State Agrarian University; 90, Mira Ave, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation

Abstract. Growing plants indoors in the controlled environment involves the use of LED systems with an adjustable spectrum and intensity with manual or remote control. The aim of the study was to determine the role of different LED emission spectra in growth, development, and yield of lettuce cultivated hydroponically to develop requirements for the LED irradiator design. Studies were carried out in a growth chamber with periodic flooding hydroponics when irradiating lettuce plants of Kuk, Afitsion, and Khrizolit varieties under multispectral irradiators. The first irradiator has a radiation spectrum coinciding with the spectral distribution function of relative photosynthetic activity of solar radiation (control). The radiation of the second one coincides with the function of the spectral sensitivity of plants according to K.J. McCree. The third irradiator has an adjustable spectrum by three control channels for three parts of the spectrum coinciding with chlorophyll synthesis functions. It was found that the response of different lettuce varieties to the spectral composition of irradiation is specific. The maximum yield of the Kuk variety (4.45 kg/m²) was obtained under the first irradiator, that of lettuce Afitsion (4.7 kg/m²) and Khrizolit (6.55 kg/m²) – under the second one. Based on the results obtained the authors made requirements and designed an LED irradiator, which combines all the advantages of LED and digital technologies and provides for the implementation of the required radiation functions for laboratory research and in-vitro plant cultivation. It is noted that the LED module of the irradiator should include LEDs of violet, blue, red, dark red, and far red radiation, as well as LEDs of warm and cool white light colours.

Keywords: growth chamber, hydroponic technology, photoculture, LED irradiators, spectral composition of radiation, crop yield

For citation: Dolgikh P.P., Trepuz S.V., Popova N.M. Role of the spectral characteristics of radiating sources in the formation of lettuce yield in hydroponics cultivation. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(5):62-67. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-62-67>.

Введение. По данным ФАО, к 2050 г. населению мира потребуется на 60% больше продовольствия, чем производится в настоящее время¹. В связи с этим все большее значение приобретают технологии закрытого вертикального земледелия с использованием систем промышленного выращивания растений и установок искусственного облучения². Первоначально концепция выращивания светокультуры разрабатывалась для изучения влияния на рост и развитие растений факторов окружающей среды [1].

В настоящее время изучается влияние искусственного облучения в закрытых агроэкосистемах

на изменение морфофизиологических признаков, накопление биологически активных веществ в растениях, определяется их роль в получении функциональных продуктов питания [2]. Повышение урожайности и качества растений достигается путём сочетания достижений в области контроля окружающей среды, физиологии и автоматизированных систем, позволяющих выращивать разнообразный сортимент культур с оптимальным размером с акцентом на потребительских свойствах.

На сегодняшний день не существует альтернативы экспериментальному методу оптимизации основных светотехнических параметров облучателей для светокультуры растений [3]. Реализация дополнительных возможностей применения светодиодных систем в светокультуре связана с созданием облучателей с регулируемым спектром и интенсивностью с использованием модулей удалённого управления, которое

¹ FAO. The future of food and agriculture – drivers and triggers for transformation. The Future of Food and Agriculture. 2022. № 3. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc0959en>.

² Kozai T., Niu G., Takagaki M. Plant Factory: An indoor vertical farming system for efficient quality food production. Second edition. Academic press. 2020. 516 p. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-00969-X>.

также может осуществляться с помощью климатического компьютера с поддержкой DALI. Это позволит корректировать спектральный состав излучения для стимулирования необходимых морфогенетических или биохимических реакций [4].

При выращивании растений на фабрике со светокulturой, с использованием метода гидропонике, оптимальным вариантом является технология Ebb&Flow (технология периодического затопления)³. Однако эффективность её применения определяется правильно подобранным циклом орошения и рациональным расположением отдельных элементов и частей. Управление гидропонным питательным раствором способствует получению низкокалорийных овощей, а также овощей с низким содержанием нитратов [5].

Цель исследований: определение роли различных спектров светодиодного излучения на показатели роста, развития и урожайности салата, выращиваемого методом гидропонике, с целью разработки требований к конструкции светодиодного облучателя.

Материалы и методы. Исследования проводились в вегетационной установке, содержащей три камеры для выращивания, в каждой из которых установлены светодиодные облучатели соизмеримой мощности, порядка 100 Вт, при обеспечении облученности $PPFD = 150 \pm 10\%$ мкмоль/(м²·с) и коэффициенте минимальной облученности $z \approx 0,8$. Моделирование производилось в программе DIALux evo. Подробная методика проведения эксперимента в указанной установке изложена в источнике [6]. Описание системы автоматизированного управления представлено в работе [7]. Настройка оборудования осуществлялась

с учётом требований температурно-влажностного режима и режима облучения, применяемых при выращивании салата.

Согласно плану эксперимента вегетационная установка обеспечивалась тремя типами облучателей:

1 камера – облучатель с излучением, совпадающим с функцией спектрального распределения относительной фотосинтетической активности солнечного излучения (контроль)⁴, с распределением в отдельных областях ФАР: синяя (с) – 33%, зеленая (з) – 33%, красная (к) – 33%;

2 камера – облучатель с излучением, совпадающим с функцией спектральной чувствительности растений по К.И. McCree, используемой в мировой практике в качестве универсальной кривой (опыт 1) [8]: с – 20%, з – 30%, к – 50%;

3 камера – облучатель с регулируемым спектром по трём каналам управления для трёх участков спектра (опыт 2), совпадающим с функциями синтеза хлорофилла А и В (опыт 2)⁵. Данный облучатель включается по сценарию: «Рассвет» (с – 70%, з – 10%, к – 20%), продолжительность – 2 ч; «День» (с – 10%, з – 10%, к – 80%) – 13 ч; «Закат» (с – 50%, з – 10%, к – 40%) – 1 ч.

Светодиодный облучатель H-Light FITO 92W LED Light, установленный в первой камере, представляет собой конструкцию из алюминиевого профиля БПО-2595, с линзой из боросиликатного стекла диаметром 100 мм, резонансным источником тока на 100 Вт и LED-модулем (рис. 1).

Во второй камере установлен облучатель H-Light FITO ultra 100W-120 LED Light, габаритные размеры которого составляют 550×60×200 мм (рис. 2).

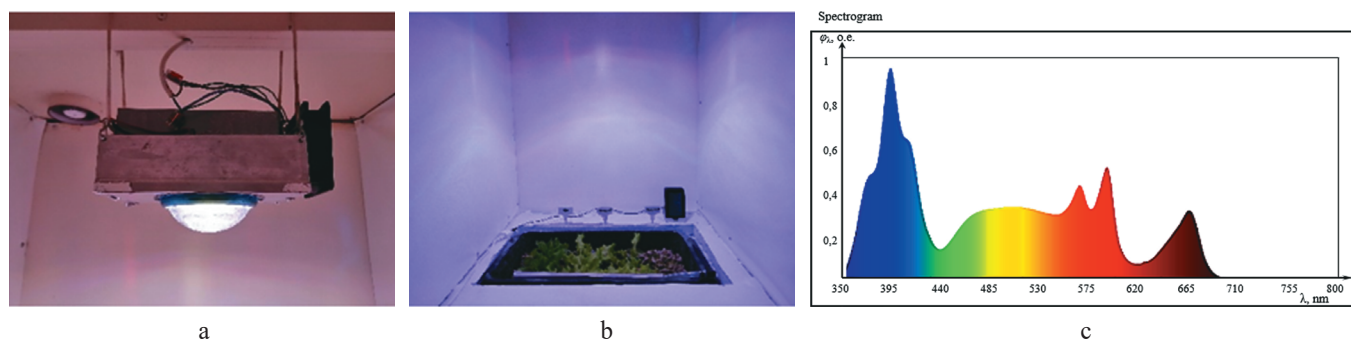


Рис. 1. Светодиодный облучатель с излучением, совпадающим с функцией спектрального распределения относительной фотосинтетической активности солнечного излучения:

a) облучатель в работе; b) первая камера для выращивания; c) спектр излучения

Fig. 1. LED irradiator with radiation coinciding with the spectral distribution function of the intensity of scattered solar radiation:

a) irradiator in operation; b) growth chamber 1; c) radiation spectrum

³ Тексье У. Гидропоника для всех. Все о садоводстве на дому. М.: HydroScope, 2013. 296 с.

⁴ Professional lighting DH Licht 2023. Каталог. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dhlicht.de/wp-content/uploads/2023/06/DHLicht-Katalog-2023.pdf>.

⁵ Федулов Ю.П., Подушин Ю.В. Фотосинтез и дыхание растений: Учебное пособие. Краснодар: КубГАУ, 2019. 101 с.

Облучатель H-Light FITO_STRADA_Reg 108W (98W_Po/P = 0,52 LED Light), установленный в третьей камере для выращивания, содержит три канала

управления группой светодиодов. Каждый канал управляется отдельно через контроллер управления с возможностью установки заранее желаемых режимов (рис. 3).

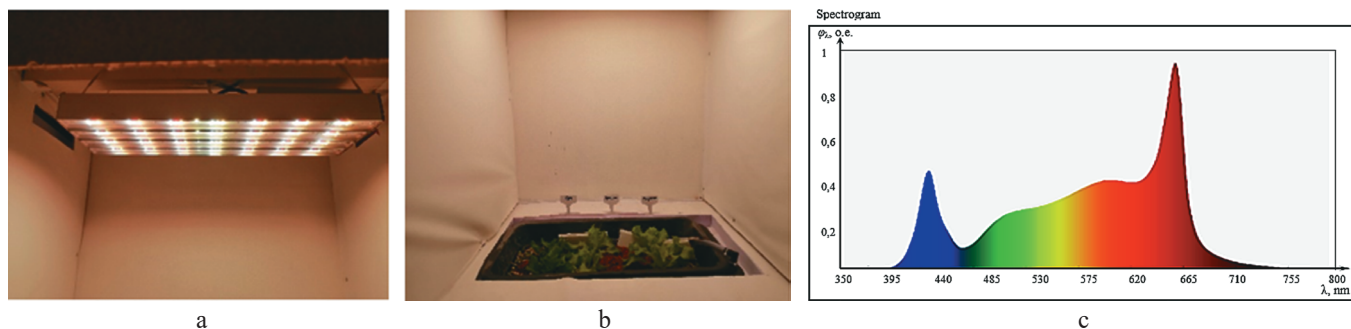


Рис. 2. Светодиодный облучатель с излучением, совпадающим с функцией спектральной чувствительности растений по К.Дж. МакКри:
a) облучатель в работе; *b)* вторая камера для выращивания; *c)* спектр излучения
Fig. 2. LED irradiator with radiation coinciding with the spectral sensitivity function of plants according to K.J. McCree:
a) irradiator in operation; *b)* growth chamber 2; *c)* radiation spectrum

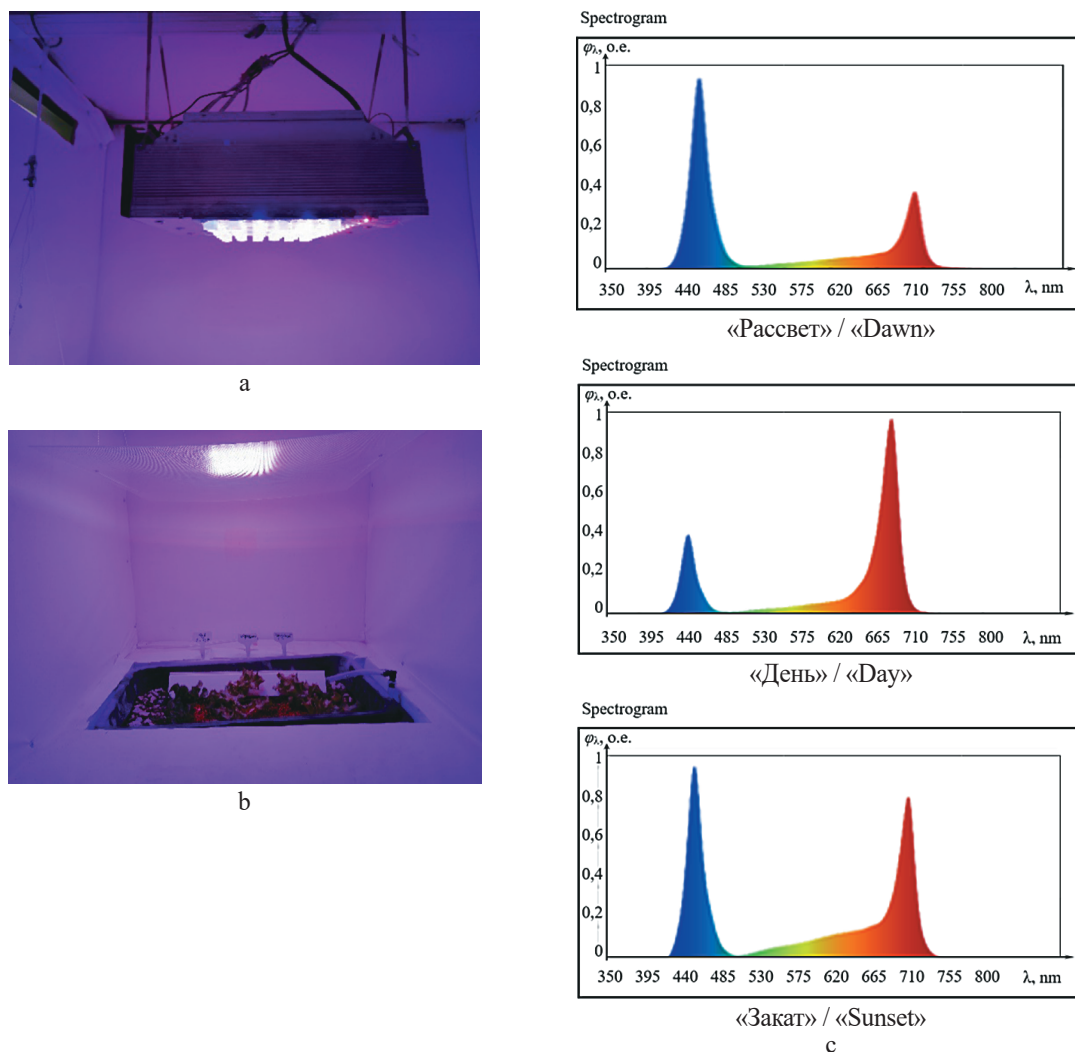


Рис. 3. Облучатель с регулируемым спектром по трём каналам:
a) облучатель в работе; *b)* третья камера для выращивания; *c)* спектр излучения
Fig. 3. Irradiator with an adjustable spectrum in three channels:
a) irradiator in operation; *b)* growth chamber 3; *c)* radiation spectrum

Эксперимент проводился с салатами трёх сортов⁶: Кук со средней заявленной урожайностью 2,6 кг/м²; Афицион – 5,8 кг/м²; Хризолит – 3,8...4,1 кг/м². Определялось влияние различных спектров светодиодного излучения на количественные показатели: рост, развитие, урожайность.

В ходе проведения эксперимента семена высаживались в рассадные горшки с торфяным субстратом по три семени в каждый, горшки размещались в камере проращивания до стадии образования розетки. После этого на каждый стеллаж для лотков с субстратом помещали по два горшка трёх сортов салата и устанавливали маркеры сортов.

Площадь листовой поверхности определялась по сортам. Применён метод определения площади листа по его параметрам⁷, основанный на сопоставлении фигуры листа с некоторой простой геометрической фигурой, достаточно хорошо совпадающей с конфигурацией данного листа⁸.

За период выращивания три раза с периодичностью в 10 дней производился замер количества листьев салата в каждом горшке и определялось среднее значение из двух растений по сортам.

Результаты и их обсуждение. К моменту уборки урожая динамика роста числа листьев по трём сортам салата в целом являлась положительной. К концу эксперимента у кочанного сорта Афицион и листового Хризолит в опытах 1 и 2 насчитывалось примерно 20 листьев, у листового салата Кук в опыте 1 насчитывались 51 лист и 42 листа в опыте 2.

Изменение площади листьев на одно растение при выращивании в условиях с различным спектром излучения имеет такую же закономерность, что и изменение среднего размера листа⁹.

Установлено, что в опыте 1 (спектр излучения совпадает с функцией спектральной чувствительности растений по К.Д. McCree) все три сорта салата показывают наилучший результат по средней площади листьев: Кук – 0,0629 м²; Афицион – 0,2943 м²; Хризолит – 0,3592 м².

Отметим, что регулирование спектра в течение светового дня с имитацией рассвета и заката

с помощью облучателя, установленного в камере для выращивания 3, ухудшает показатель средней площади листьев салата рассматриваемых сортов.

Анализируя урожайность салата по сортам, можно сказать, что у Кука наивысшая урожайность составила около 4,45 кг/м² в контроле, что на 12,5% больше, чем в опыте 1, и на 27,5% больше, чем в опыте 2; у Афициона – примерно 4,7 кг/м² в опытах 1 и 2, что на 20,5% больше, чем в контроле; у Хризолита – примерно 6,55 кг/м² в опыте 1, что на 27,5% больше, чем в опыте 2, и на 32% больше, чем в контроле.

С увеличением доли излучения в красной области спектра с 33 до 60% урожайность салата сорта Кук снижается с 4,45 до 3,2 кг/м², но остается выше средней нормируемой на 23% даже при минимальной, полученной в опыте.

Салат сорта Хризолит показал рост урожайности от 4,46 до 6,55 кг/м² со снижением доли излучения в синей области спектра с 33 до 20%. Однако даже минимальный урожай оказался выше среднего нормируемого от 15 до 8%.

Урожайность сорта Афицион снижается с 4,7 до 3,8 кг/м² при увеличении доли излучения в синей области спектра с 20 до 33%, причём максимальный полученный урожай ниже нормируемого на 19%.

Таким образом, установлено, что реакция различных сортов салата на спектральный состав излучения является специфичной. Положительный результат показывает как регулируемый, так и стандартный постоянный спектры излучения. Поэтому был разработан светодиодный облучатель (рис. 4), совмещающий в себе все достоинства светодиодных и цифровых технологий и позволяющий реализовывать требуемые функции излучения для лабораторных

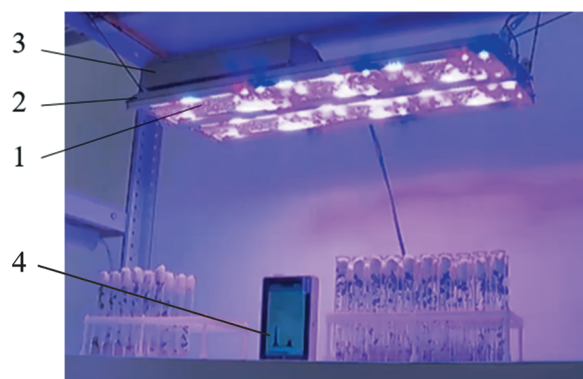


Рис. 4. Светодиодный облучатель с регулируемым спектром излучения:

1 – матрицы со светодиодами; 2 – корпус;
3 – блок питания и управления;
4 – спектрометр PAR OHSP350P

Fig. 4. LED irradiator with a variable emission spectrum:

1 – matrices with LEDs; 2 – housing;
3 – power and control unit; 4 – PAR OHSP350P spectrometer

⁶ Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений: Официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 719 с.

⁷ Третьяков Н.Н., Карнаухова Т.В., Паничкин Л.А. и др. Практикум по физиологии растений. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с. EDN: WCUGTZ

⁸ Математические методы определения площади листьев растений. URL: <http://pandia.ru/text/80/145/48877.php> (дата обращения: 12.01.2023).

⁹ Маракаев О.А. Экологическая физиология растений: фотосинтез и свет: Текст лекций. Ярославль: ЯрГУ, 2005. 95 с. EDN: QKQAYZ.

исследований, в том числе при выращивании растений in-vitro.

В конструкцию разработанного светодиодного облучателя входят корпус со светодиодными модулями, блок питания, блок управления, линзы-рассеиватели. В составе каждого светодиодного модуля находятся светодиоды фиолетового, синего, красного, темно-красного и дальнего красного излучений, а также светодиоды теплого и холодного белого света. Блок управления соединяется проводами с драйвером питания, посредством кабеля – с каждым светодиодным модулем, а через проводной интерфейс связи (и/или беспроводной Wi-Fi модуль) подключён к человеко-машинному интерфейсу.

Список использованных источников

1. Cary A. Mitchell History of Controlled Environment Horticulture: Indoor Farming and Its Key Technologies. *HortScience*. 2022;57(2):247-256. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16159-21>
2. Князева И.В. Искусственное освещение для получения функциональных продуктов питания // Вестник КрасГАУ. 2020. № 12 (165). С. 25-31. EDN: OEPPPI
3. Тихомиров А.А. Внутренний радиационный режим в фитотенорах и фотобиологическая эффективность излучения в условиях светокультуры // Светотехника. 2021. № 1-1. С. 13-21. EDN: YRLBZB.
4. Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Шихов В.Н., Шклавцова Е.С. Концептуальные подходы к выбору спектра излучения ламп для выращивания растений в искусственных условиях // Светотехника. 2019. № 8. С. 19-23. EDN: NJQCE
5. Nicole C.C.S., Mooren J., Stuks A., Krijn M.P.C.M. Nitrate control using LED lights. *Acta Horticulturae*. 2018;1227:661-668. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.84>
6. Трепuz С.В. Методика проведения эксперимента по выращиванию салата в светокультуре по гидропонной технологии // Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XV Международной научно-практической конференции молодых ученых. Красноярск, 2022. С. 567-570. EDN: WCWZSA
7. Трепuz С.В., Долгих П.П., Барсуков В.А. Система автоматизированного управления фитотроном со светокультурой и гидропонной технологией // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 2. С. 143-149. EDN: KWZMAE
8. McCree K.J. Significance of Enhancement for Calculations Based on the Action Spectrum for Photosynthesis. *Plant Physiology*. 1972; № 49 (5):704-706. <https://doi.org/10.1104/pp.49.5.704>

Вклад авторов

П.П. Долгих – формулирование основной концепции исследования, подготовка текста статьи;
С.В. Трепuz – проведение экспериментов, анализ и дополнение текста статьи;
Н.М. Попова – сбор и обработка материалов, анализ полученных результатов.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила в редакцию 27.02.2023; после рецензирования и доработки 14.07.2023; принята к публикации 14.07.2023

Выводы

1. Спектральные характеристики источников излучения играют важнейшую роль в процессах роста, развития растений и влияют на показатели урожайности зеленных культур.

2. Реакция различных сортов салата на спектральный состав излучения является специфичной.

3. Разработанный светодиодный облучатель, включающий в себя светодиоды фиолетового, синего, красного, темно-красного и дальнего красного излучений, а также светодиоды теплого и холодного белого света, совмещает достоинства светодиодных и цифровых технологий.

References

1. Cary A. Mitchell History of Controlled Environment Horticulture: Indoor Farming and Its Key Technologies. *HortScience*. 2022;57(2):247-256. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16159-21>
2. Knyazeva I.V. Use of artificial lighting in functional food production. *Bulletin of KSAU*. 2020;12(165):25-31. (In Rus.)
3. Tikhomirov A.A. Internal radiation mode in phytocenoses and photobiological efficiency of radiation under photoculture conditions. *Svetotekhnika*. 2021;1-1:13-21. (In Rus.)
4. Tikhomirov A.A., Ushakova S.A., Shikhov V.N., Shklavtsova E.S. Conceptual approach to selecting radiation spectrum of lamps for plant cultivation in artificial conditions. *Svetotekhnika*. 2019;8:19-23. (In Rus.)
5. Nicole C.C.S., Mooren J., Stuks A., Krijn M.P.C.M. Nitrate control using LED lights. *Acta Horticulturae*. 2018;1227:661-668. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.84>
6. Trepuz S.V. Methodology of the experiment on growing lettuce in photoculture using the hydroponic technology. *Innovatsionnye tendentsii razvitiya rossiyskoy nauki. Materialy XV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh*. Krasnoyarsk. 2022;567-570. (In Rus.)
7. Trepuz S.V., Dolgikh P.P., Barsukov V.A. Automated control system of phytotron with photoculture and the hydroponics technology. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2022;2:143-149. (In Rus.)
8. McCree K.J. Significance of Enhancement for Calculations Based on the Action Spectrum for Photosynthesis. *Plant Physiology*. 1972; № 49 (5):704-706. <https://doi.org/10.1104/pp.49.5.704>

Contribution of the authors

P.P. Dolgikh – conceptualization, draft preparation;
S.V. Trepuz – investigation, formal analysis and draft finalizing;
N.M. Popova – collecting and processing materials, formal analysis.

Conflict of interests

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

Received 27.02.2023; revised 14.07.2023; accepted 14.07.2023

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 62-757.6

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-68-72



Устройство детектирования ферромагнитных тел в подающем тракте кормоуборочных комбайнов на базе датчика Холла

*Вернези Мирослав Анатольевич, аспирант*slavikvernezi@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7950-8816>*Лукьянов Александр Дмитриевич, канд. техн. наук*alexlukjanov1998@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3827-6569>*Вернези Екатерина Александровна[✉], магистрант*katrinrosse99@gmail.com[✉]; <https://orcid.org/0009-0002-3318-7839>

Донской государственный технический университет; 344002, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Аннотация. Принцип действия существующих металлодетекторов кормоуборочных комбайнов, находящихся в зоне уборки, основан на регистрации и обработке сигнала с датчиков, реагирующих на изменение статической энергии магнитного поля, вызванного движением ферромагнитных тел в зоне действия магнитного поля. Система, базирующаяся на методе измерения электродвижущей силы индуктивных чувствительных элементов, не удовлетворяет современным требованиям по уровню чувствительности. Авторами рассмотрена возможность применения в роли чувствительных элементов датчиков магнитного поля на основе эффекта Холла. С учётом геометрических особенностей системы каждый чувствительный элемент размещается таким образом, чтобы магнитное поле, создаваемое двумя соседними магнитами, располагалось перпендикулярно плоскости чувствительного элемента. При этом чувствительные элементы устанавливаются в плоскостях, ориентированных под разными углами относительно направления подачи урожая. Ферромагнитный объект, проходя через поле обнаружения, изменяет напряжённость магнитного поля на одном или нескольких чувствительных элементах, и датчик на основе эффекта Холла выдаёт напряжение, прямо пропорциональное величине магнитного поля. После обработки генерируется сигнал для остановки подающих валков. Эффективная обработка сигнала в режиме реального времени положительно сказывается на скорости реакции на инородное тело в питателе машины.

Ключевые слова: металлодетектор, комбайн, датчик Холла, напряжённость магнитного поля, аналоговый фильтр, датчик магнитного поля

Финансирование. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда: проект № 075-03-2022-283/8 (FZNE-2022-0005)

Формат цитирования: Вернези М.А., Лукьянов А.Д., Вернези Е.А. Устройство детектирования ферромагнитных тел в подающем тракте кормоуборочной сельскохозяйственной техники на базе датчика Холла // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 68-72. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-68-72>.

© Вернези М.А., Лукьянов А.Д., Вернези Е.А., 2023

ORIGINAL PAPER

Device for detecting ferromagnetic bodies in the feed path of forage harvesting machinery based on the Hall sensor

*Miroslav A. Vernezi, postgraduate student*slavikvernezi@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7950-8816>*Aleksandr D. Lukyanov, CSc (Eng), Head of the Department*alexlukjanov1998@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3827-6569>*Ekaterina A. Vernezi[✉], MSc student*katrinrosse99@gmail.com[✉]; <https://orcid.org/0009-0002-3318-7839>

Don State Technical University; 1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation

Abstract. The operation principle of metal detectors used in forage harvesting equipment operating in the harvested area is based on the registration and processing of a signal from sensors that respond to changes in the static

magnetic field caused by the movement of ferromagnetic bodies in the area of the magnetic field. The systems based on measuring coils do not meet modern requirements for the level of sensitivity. The authors consider a possibility of using magnetic field sensors based on the Hall effect as sensitive elements. Taking into account the geometric features of the system, each sensing element must be positioned in such a way that the magnetic field generated by two adjacent magnets is perpendicular to the plane of the sensing element. Under this design, the sensitive elements should be located in planes oriented at different angles relative to the direction of the crop supply. When a ferromagnetic object passes through the detection field, it changes the magnetic field density on one or more sensing elements, and the Hall effect sensor outputs a voltage directly proportional to the magnitude of the magnetic field. This signal is processed, after which another signal is generated to stop the feed rolls. Efficient real-time signal processing has a positive effect on the speed of response to a foreign body in the machine feeder.

Keywords: metal detector, forage harvester, Hall sensor, magnetic field strength, analog filter, magnetically induced signals, magnetic field sensor

Funding. The research was carried out under the grant from the Russian Science Foundation (project No. 075-03-2022-283/8 (FZNE-2022-0005))

For citation: Vernezi M.A., Lukyanov A.D., Vernezi E.A. Device for detecting ferromagnetic bodies in the feed path of forage harvesting machinery based on the Hall sensor. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(5):68-72. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-68-72>.

Введение. В сельскохозяйственной отрасли системы детектирования металлических объектов нашли широкое применение на конвейерных лентах во время проведения технологических этапов производства, а также в зерноуборочных комбайнах. Современные технические решения задачи детектирования металлических объектов на пути следования кормоуборочной сельскохозяйственной техники базируются на трудах К.Л. Беннетта и К.Э. Боумена¹. Принцип работы основан на аналоговой обработке сигнала, наведённого на измерительные катушки во время изменения напряжённости магнитного поля. Аналоговый фильтр отсекает шумы, и на выходе преобладает лишь полезный сигнал [1]. Настройка таких систем заключается в нахождении компромисса между минимальным количеством ложных срабатываний системы и обеспечением максимально возможной чувствительности [2]. Но кормоуборочный комбайн имеет в своём составе большое количество деталей, вращающихся с различной частотой, поэтому производится условная фильтрация². Множество механических элементов, движущихся с меняющейся скоростью и ускорением, способствует возникновению псевдопериодических техноиндуцированных шумов высокой интенсивности, накладывающих ограничение на применение классических методов обработки. Вариативность характеристик помехи обуславливает невозможность спроектировать аналоговые фильтры, эф-

фективно фильтрующие сигнал от техноиндуцированных помех во всём диапазоне частот вращения валцов комбайна. Более того, в целях минимизации ложных срабатываний системы параметры аналоговых фильтров выбираются с достаточно широким диапазоном фильтрации, что в свою очередь приводит к значительному ослаблению полезного сигнала. Это было подтверждено в ходе детального анализа одной из таких систем. Ситуация усугубляется конструктивными особенностями самих валцов, в которых располагается датчик, а именно: наличие в них сварного шва превращает аустенитную сталь в ферромагнетик [3]. В связи с этим соотношение «Полезный сигнал/шум» принимает недостаточную величину, чем объясняется неудовлетворительная по сегодняшним меркам чувствительность системы. Также известна система, работающая по принципу детектирования вихревых токов [4]. Достоинством метода является возможность обнаружения также объектов из цветных металлов, недостатком – малое расстояние обнаружения и экранирование детектора металлической стенкой валца.

Цель исследований: разработка системы обнаружения ферромагнитных тел для кормоуборочной сельскохозяйственной техники на основе датчика Холла с большей чувствительностью, компактностью и меньшей стоимостью по сравнению с современными эксплуатируемыми системами.

Материалы и методы. С целью увеличения чувствительности и селективности системы металлодетектирования кормоуборочных комбайнов проработана концепция по замене чувствительного элемента системы с измерительных катушек на датчик магнитного поля (датчик Холла) в методе, описанном

¹ Беннетт К.Л., Боумен К.Э. Speed independent static field metal detector: patent US3972156, 1976. (A 01 D69/10)

² Bruschini C. A Multidisciplinary Analysis of Frequency Domain Metal Detectors for Humanitarian Demining. PhD thesis, Vrije Universiteit Brussel, Brussels, 2002.

в патенте № US3972156¹. В роли чувствительного элемента выбран датчик АН3503, обладающий компактными размерами, достаточной чувствительностью и высокими показателями соотношения «Сигнал/шум».

Результаты и их обсуждение. Предложена схема расположения датчиков Холла и магнитов внутри вальца (рис. 1).

Монтажная рама с датчиками металлодетектора устанавливается на неподвижном валу нижнего подающего вальца³ и может быть изготовлена из чёрного металла (рис. 1). Рама служит для жёсткого закрепления магнитов и чувствительных элементов относительно машины. Могут применяться как электромагниты, так и постоянные магниты. Их количество может варьироваться в зависимости от области применения. Магниты располагаются в два ряда поперёк пути подачи собираемой массы. Магниты одного ряда имеют северный полюс, а магниты второго ряда – южный полюс.

Согласно теории эффекта Холла при протекании электрического тока через чувствительный элемент, помещённый в магнитное поле перпендикулярно его плоскости, в плоскости чувствительного элемента создаётся электрическое поле в направлении, перпендикулярном протеканию тока, при этом напряжённость электрического поля пропорциональна напряжённости магнитного поля. Поэтому магниты устанавливаются так, что линии магнитного потока располагаются между магнитами одного ряда и двумя ближайшими к нему магнитами второго ряда. Каждый датчик размещается таким образом, что его чувствительный элемент перехватывает линии потока, проходящие между северным полюсом магнита в одном ряду и южным полюсом – в другом ряду. Каждый чувствительный элемент располагается в плоскости, перпендикулярной линиям магнитного потока, проходящим через него. В случае насыщения чувствительных элементов угол плоскости, в которой расположены элементы, смещается. Чувствительные элементы ориентируются таким образом, чтобы их плоскости были перпендикулярными пути подачи урожая.

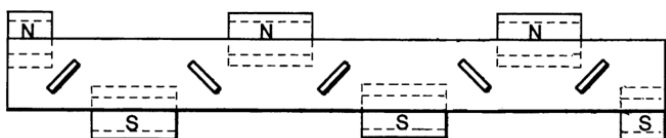


Рис. 1. Схема расположения датчиков и магнитов в вальце

Fig. 1. Arrangement of sensors and magnets in the roller

³ Bohman C.E. Metal detector apparatus: patent US4433528A, 1982.

Расположенные таким образом магниты создают статическое магнитное поле, простирающееся в канал подачи урожая (поперёк него). Поле обнаружения содержит множество магнитных полей, простирающихся между нижними и верхними магнитами. Каждое поле из их множества имеет линии потока, проходящие через датчик в направлении, перпендикулярном плоскости расположенного в нем чувствительного элемента Холла. Таким образом, когда ферромагнитное тело, встречаемое на пути подачи урожая, проходит через одно или множество магнитных полей, плотность потока в чувствительных элементах изменится, и они генерируют выходные сигналы.

Для проведения испытаний разработано устройство обработки сигналов с датчика Холла (рис. 2).

При работе устройства сигнал с датчика 1 проходит этап дифференциального усиления 2 с целью выделения полезного сигнала и подавления синфазных помех, возникающих в результате вращения механических узлов самого комбайна. Для устранения помех сигнал проходит через каскад фильтрации низких частот 3. Подготовленный сигнал несёт в себе исключительно полезный сигнал, превышение заданного уровня которого приводит к срабатыванию гистерезисного компаратора 4, который в свою очередь выдаёт сигнал на электромагнитное реле останова 5, что приводит к немедленному останову подающих валцов. Разработана и реализована принципиальная электрическая схема блока усиления и фильтрации, структура которой представлена на рисунке 3.

Изменение величины магнитного поля производится датчиком Холла 1. Дифференциальный усилитель 2 реализован на инструментальном усилителе. Повторитель 3, также реализованный на инструментальном усилителе, с источником опорного

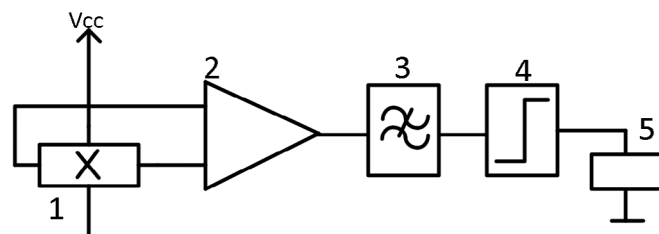


Рис. 2. Структурная схема системы металлодетектирования:

- 1 – датчик Холла АН3503; 2 – усилитель;
3 – фильтр низких частот; 4 – компаратор гистерезиса;
5 – электромагнитное реле
для замыкания цепи останова валцов

Fig. 2. Block diagram of the metal detection system:

- 1 – Hall sensor AN3503; 2 – amplifier;
3 – low-pass filter; 4 – hysteresis comparator;
5 – electromagnetic relay for closing the roller stop circuit

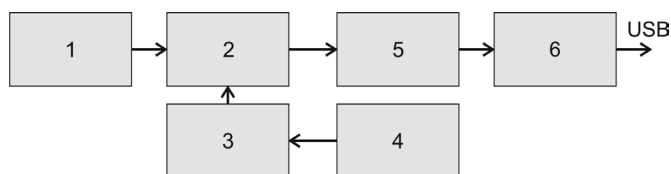


Рис. 3. Структура принципиальной электрической схемы блока обработки сигналов с датчиков Холла:

- 1 – датчик Холла; 2 – дифференциальный усилитель;
3 – масштабирующий инструментальный усилитель;
4 – источник опорного напряжения; 5 – ФНЧ Чебышева;
6 – микроконтроллер

Fig.3. Structure of the circuit diagram of the block for processing signals from Hall sensors:

- 1 – Hall sensor; 2 – differential amplifier;
3 – scaling instrumentation amplifier,
4 – reference voltage source;
5 – Chebyshev low-pass filter, 6 – microcontroller

напряжения на 2,5 В 4 задаёт уровень смещения выходного сигнала дифференциального усилителя. Для фильтрации сигнала спроектирован фильтр Чебышева 5, обладающий наиболее высокой крутизной спада АЧХ [5]. Запись сигнала производилась с помощью микроконтроллера 6 (STM32F103C8T6) в составе отладочной платы Blue Pill. Контроллер содержит 12-битный аналого-цифровой преобразователь с программируемой частотой выборки. Передача данных на компьютер осуществляется через интерфейс USB. Для сохранения данных было разработано ПО на языке Python, осуществляющее приём данных (значение напряжений с датчика и бит оптического датчика) и записывающее их в текстовый файл. Файл данных открывается в среде Matlab для последующего анализа.

Разработка и испытание системы производились на специализированном стенде с высокой степенью повторяемости ключевых условий реальной работы комбайна. С целью идентификации полезного сигнала в массиве данных стенд оснащён датчиком пролёта ферромагнитного груза, закреплённым на гибком подвесе. Факт пролёта груза фиксируется специальным оптическим датчиком. Схема проведения испытаний представлена на рисунке 4.

В результате получен массив данных со значениями выходного сигнала при вращении вальца, а также при пролёте мимо него ферромагнитного тела. Визуализация результатов измерений представлена на рисунке 5.

Из графика рисунка 5 следует, что амплитуда сигнала от каждого пролёта груза в значительной степени превышает шумовой сигнал. Сигнал аналогичен результатам, представленным в [6]. С таким

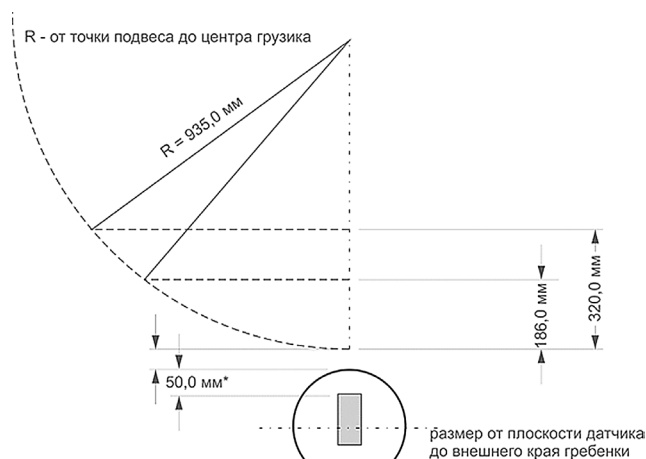


Рис. 4. Схема проведения испытаний

Fig.4. Testing scheme

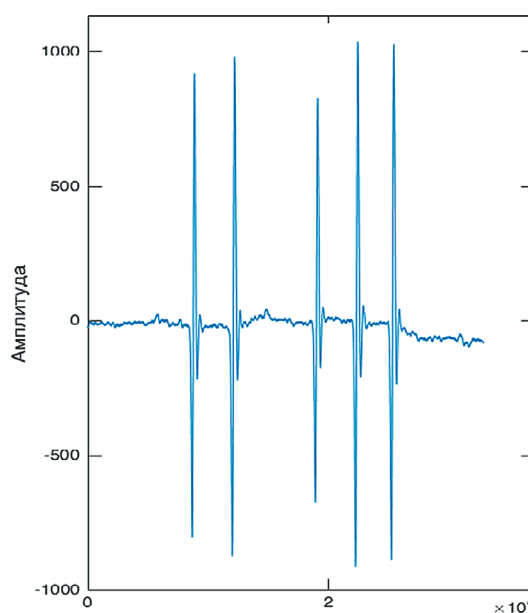


Рис. 5. График выходного сигнала с блока обработки сигнала с датчиков

Fig. 5. Graph of the output signal from the sensor signal processing unit

соотношением «Сигнал/шум» данная система способна обеспечить высокую чувствительность при минимальном количестве ложных срабатываний.

Выводы

Представленное устройство детектирования ферромагнитных тел отличается от существующих на сегодняшний день высокими показателями соотношения «Сигнал/шум», высокой чувствительностью, меньшими габаритными размерами, а также более низкой себестоимостью. Это дает основание рекомендовать его при проектировании систем металлодетектирования сельскохозяйственной техники.

Список использованной литературы

1. Долин А.Ю., Мещеряков И.К., Ремизов С.Е., Смирнов Б.Н. Металлодетектор для кормоуборочного комбайна: патент RU2060625 C1, IPC A01D75/18. Заяв. № 93001978/15, опублик. 27.05.1996. EDN: LINHQG
2. Ripka P., Janosek M., Novacek P. Depth estimation of metal objects. *Procedia Engineering*. 2010;5:280-283. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.09.102>
3. Быков А.Б., Томчук В.В., Лозин Д.А., Джус Н.И., Джус И.Н. Металлодетектор уборочного комбайна и способ выявления ферромагнитного тела (его варианты): Патент RU2245560C2, МПК G01R33/02 G01V 3/08; заяв. № 2001112747/09 от 14.05.2001; Опублик. 27.01.2005. EDN: ZOOIFF
4. Jizhong Wang, Yangchun Liu, Bo Zhao, Fengzhu Wang, Weipeng Zhang, Yang Li. Design and verification of metal foreign body detection device for harvester based on eddy current effect. *Journal of the ASABE*. 2023;66(1):55-64. <https://doi.org/10.13031/ja.15185>
5. Будуннова К.А., Кравченко В.Ф. Математические методы синтеза частотно-избирательных фильтров // Физические основы приборостроения. 2022. Т. 11. № 1(43). С. 2-21. END: EIDOPW
6. Novacek P., Rohac J., Ripka P. Complex markers for a mine detector. *IEEE Transactions on Magnetism*. 2012;48(4):1489-1492. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2011.2172933>

Вклад авторов

А.Д. Лукьянов – концептуализация, окончательная доработка и редактирование рукописи
М.А. Вернези – создание лабораторного макета, проведение экспериментальных исследований, создание начального варианта текста
Е.А. Вернези – обработка результатов экспериментов, визуализация результатов, патентный поиск

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 28.03.2023; после рецензирования и доработки 08.10.2023, принята к публикации 08.10.2023

References

1. Dolin A.Yu., Meshcheryakov I.K., Remizov S.E., Smirnov B.N. Metal detector for a forage harvester: Patent RU2060625 C1, IPC A01D75/18. No 93001978/15, 1996. (In Rus.)
2. Ripka P., Janosek M., Novacek P. Depth estimation of metal objects. *Procedia Engineering*. 2010;5:280-283. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.09.102>
3. Bykov A.B., Tomchuk V.V., Lozin D.A., Juice N.I., Juice I.N. Metal detector of a harvester and a method for detecting a ferromagnetic body (its variants): Patent No. 2245560C2 RF, IPC G01R33/02 G01V3/08, No. 2001112747/09 Applied on May 14, 2001; published on January 27, 2005. (In Rus.)
4. Jizhong Wang, Yangchun Liu, Bo Zhao et al. Design and Verification of Metal Foreign Body Detection Device for Harvester Based on Eddy Current Effect. *Journal of the ASABE*. 2023;66(1):55-64. <https://doi.org/10.13031/ja.15185>
5. Budunova K.A., Kravchenko V.F. Mathematical methods for the synthesis of frequency-selective filters. *Physical Bases of Instrumentation*. 2022;11(1):2-21. (In Rus.)
6. Novacek P., Rohac J., Ripka P. Complex markers for a mine detector. *IEEE Transactions on Magnetism*. 2012;48(4):1489-1492. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2011.2172933>

Authors' contribution

A.D. Lukyanov – conceptualization, draft finalizing and editing
M.A. Vernezi – designing the laboratory model, experimental study, original draft preparation
E.A. Vernezi – processing of experimental results, visualization, patent search

Conflict of interests

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

Received 23.03.2023; revised 08.10.2023; accepted 08.10.2023

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 533.9.082.74: 631.53.027.34:633.18: 633.15

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-73-77



Применение СВЧ-энергии для улучшения показателей безопасности зернового сырья

Черкасова Эльмира Исламовна✉, канд. с.-х. наук, доцентe.cherkasova@rgau-msha.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-2495-2028>; Scopus Autor ID: 57216812784; Researcher ID: AAD-5493-2022**Антонова Ульяна Юрьевна**, канд. техн. наук, доцентuantonova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>; Scopus Autor ID: 57216809631; Researcher ID: AAD-5690-2022**Голиницкий Павел Вячеславович**, канд. техн. наук, доцентgprv@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7303-1658>; Scopus Autor ID: 57216809753; Researcher ID: AAD-6305-2022**Кравченко Игорь Николаевич**, д-р техн. наук, профессорkravchenko-in@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>; Scopus Autor ID: 7004969160; Researcher ID: B-9463-2018**Пупкова Дарья Александровна**, ассистентbogolyubova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0273-2796>; Scopus Autor ID: 57488490600; Researcher ID: AAD-6559-2022Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация,
г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. Обеспечение безопасности зернового сырья при хранении является актуальной проблемой. Метод микроволнового излучения – наиболее эффективный и экологичный способ обработки зерна. Для получения продукции, отвечающей требованиям качества и безопасности, необходимо определить эффективные режимы воздействия. С этой целью на установке МкП-1200 с режимом действия 2450 МГц исследовалось обеззараживание зерна кукурузы и риса в зависимости от скорости нагрева и времени воздействия микроволнового излучения на зерно. Микробиологические показатели зерна, определенные по стандартной методике, показали видовое разнообразие микроорганизмов на необработанном зерне. Максимальное обеззараживание зерна риса наблюдалось при скорости нагрева 0,63...0,71°C/с, времени обработки 122...171 с. Максимальное обеззараживание зерна кукурузы наблюдалось при интенсивности нагрева 0,6...0,69°C/с. Электромагнитное поле сверхвысокой частоты минимизирует показатели микробиологической обсемененности и обеспечивает наилучшие показатели безопасности и качества зерна при хранении.

Ключевые слова: СВЧ-энергия, метод микроволнового излучения, обеззараживание, обсемененность микроорганизмами, качество, безопасность, зерновое сырье

Формат цитирования: Черкасова Э.И., Антонова У.Ю., Голиницкий П.В., Кравченко И.Н., Пупкова Д.А. Применение СВЧ-энергии для улучшения показателей безопасности зернового сырья // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 73-77. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-73-77>.

© Черкасова Э.И., Антонова У.Ю., Голиницкий П.В., Кравченко И.Н., Пупкова Д.А., 2023

ORIGINAL ARTICLE

Application of microwave energy to improve the safety indicators of raw grain

Elmira I. Cherkasova✉, CSc (Ag), Associate Professore.cherkasova@rgau-msha.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-2495-2028>; Scopus Autor ID: 57216812784; Researcher ID: AAD-5493-2022**Uliana Yu. Antonova**, CSc (Eng), Associate Professoruantonova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>; Scopus Autor ID: 57216809631; Researcher ID: AAD-5690-2022**Pavel V. Golinitzkiy**, CSc (Eng), Associate Professorgprv@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7303-1658>; Scopus Autor ID: 57216809753; Researcher ID: AAD-6305-2022**Igor N. Kravchenko**, DSc (Eng), Professorkravchenko-in@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>; Scopus Autor ID: 7004969160; Researcher ID: B-9463-2018**Daria A. Pupkova**, Assistant Professorbogolyubova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0273-2796>; Scopus Autor ID: 57488490600; Researcher ID: AAD-6559-2022

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

Abstract. Ensuring the safety of grain raw materials during storage is an urgent problem. The most efficient and environmentally friendly method is the microwave radiation method. To obtain products that meet the requirements

of quality and safety, it is necessary to determine the effective modes of exposure. For this purpose, the decontamination of corn and rice grain depending on the heating rate and time of microwave radiation exposure on the grain was studied on the MkP-1200 unit with the 2450 MHz mode of action. Microbiological indices of grain determined according to standard methodology showed species diversity of microorganisms on untreated grain. Maximum disinfection of rice grain was observed at a heating rate of 0.63 to 0.71°C/s, treatment time of 122 to 171 s. Maximum disinfection of corn grain was observed at a heating rate of 0.6 to 0.69°C/s. The electromagnetic field of ultra-high frequency minimises indicators of microbiological contamination and provides the best indicators of safety and quality of grain during storage.

Keywords: microwave energy, disinfection, contamination with microorganisms, quality, safety, grain raw materials

For citation: Cherkasova E.I., Antonova U.Yu., Golinitkiy P.V., Kravchenko I.N., Pupkova D.A. Application of microwave energy to improve the safety indicators of raw grain. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(5):73-77. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-73-77>.

Введение. Одним из ключевых направлений агро-промышленного комплекса является повышение безопасности и качества сырья и продукции. Безопасность и качество продукции являются основой конкурентоспособности и успешной работы предприятия [1], поэтому необходимо обеспечить безопасность используемого сырья и сохранить качество готового продукта во всей цепочке «Производство-хранение-переработка-реализация».

Качество зерна ухудшается при поражении микроорганизмами грибной и бактериальной этиологии. Вредоносность инфекций, заражающих сырьё, часто повышается благодаря образованию в нём токсинов, продуцирующих многочисленные фитопатогенные грибы. При этом замечаются как ухудшение технологических свойств зерна, так и искажённость химического состава: гидрализуется белок и накапливаются продукты его составляющих (аммиак, амиды, пептиды и другие вещества), изменяется структура крахмала и замечается рост токсичных веществ. При отклонении от условий оптимальных режимов хранения, ввиду увеличенной температуры и относительной влажности воздуха, отмечается растрескивание внутренней части зерновки – эндосперма, возникает самонагревание, и в результате – несоответствие готовой продукции показателям качества. Обеспечение безопасности зернового сырья является проблемой не только в нашей стране, но и в зарубежных странах [2-4].

Снизить количество нежелательных микроорганизмов и сохранять при этом качественные показатели зерна можно путём дезинфекции, хранения сырья при пониженной температуре, многоступенчатой очистки и технологических приёмов (шелушение, шлифование, сушка, инфракрасное излучение, применение ультразвуковой очистки и гамма-лучей). Но данные методы являются экономически нецелесообразными и неспособными максимально обезвредить сырьё. Воздействие СВЧ-энергии, объединяющей электромагнитное и тепловое поле [5], одинаково влияет как на снижение загрязнённости сырья, так и на сохранение пищевой ценности продукции.

Цель исследований: использование энергии сверхвысокой частоты для обеспечения безопасности зерна при хранении.

Материалы и методы. Проведен анализ применения эффективных способов высокочастотной и сверхвысокочастотной энергии в отраслях агропромышленного комплекса [5-10]. Изучено воздействие сверхвысоких частот на зерновое сырьё кукурузы и риса [7].

Исследование проводилось на лабораторной установке MkП-1200. Воздействующим параметром являлось СВЧ-поле с режимом действия 2450 МГц.

В исследовании применялась методика активного планирования. Выбран двухфакторный план эксперимента по Коно-2, отличающийся показателями экономичности и точными статистическими данными.

Определение общего микробного числа и плесневых грибов в исследуемых образцах производилось в соответствии с ГОСТ 12044-93 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения заражённости болезнями».

Результаты и их обсуждение. В ходе исследования микробиологических показателей зерна риса выявлено видовое разнообразие микроорганизмов: *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium* и *Mucor*. Технологические этапы, сопровождаемые повреждением зерна, способствуют размножению нежелательной микрофлоры [8].

Изучалась заражённость зерна риса в зависимости от параметров СВЧ-энергии (табл. 1). На основании проведенных исследований определялись оптимальные параметры СВЧ-поля, построена поверхность отклика (рис. 1).

Наиболее оптимальные режимы находятся в плоскости: скорость нагрева $V_t = 0,65 \dots 0,68^\circ\text{C/s}$; время обработки $\tau = 150 \dots 160$ с. Данные значения получились на вариантах 1, 5, 7, 9. Температура нагрева продукта изменялась в диапазоне $t = 68 \dots 95^\circ\text{C}$. Результатами исследования установлено, что СВЧ-воздействие снижает заражённость продукции грибами р. *Aspergillus* до безопасных пределов.

Таблица 1

Изменение показателей заражённости зерна риса в зависимости от параметров СВЧ-энергии

Table 1

Changes in indicators of rice grain contamination depending on the parameters of microwave energy

Вариант Option	Экспозиция, τ, с Exposition, τ, s	Скорость нагрева, $Vt, ^\circ\text{C}/\text{с}$ Heating rate, $Vt, ^\circ\text{C}/\text{s}$	Температура нагрева зерна риса, $t, ^\circ\text{C}$ Heating temperature of rice grain, $t, ^\circ\text{C}$	Заражённость возбудителями, КОЕ/г Infection with pathogens, CFU/g		
				<i>Aspergillum</i>	<i>Penicillum</i>	<i>Alternaria</i>
1	180	0,8	95	0	0	0
2	180	0,4	60	$21 \cdot 10^3$	$64,7 \cdot 10^3$	$19 \cdot 10^3$
3	60	0,8	65	$24 \cdot 10^3$	$17 \cdot 10^3$	$11,3 \cdot 10^3$
4	60	0,4	30	$113 \cdot 10^3$	$139 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^5$
5	120	0,8	78	$3 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^3$	$0,33 \cdot 10^3$
6	120	0,4	38	$218 \cdot 10^3$	$101 \cdot 10^3$	$196 \cdot 10^3$
7	180	0,6	88	0	$1,67 \cdot 10^3$	$0,33 \cdot 10^3$
8	60	0,6	40	$217 \cdot 10^3$	$102 \cdot 10^3$	$178 \cdot 10^3$
9	120	0,6	68	$1 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^3$	$11,7 \cdot 10^3$
10	Контроль / Control			$126 \cdot 10^3$	$76,3 \cdot 10^3$	$84 \cdot 10^3$

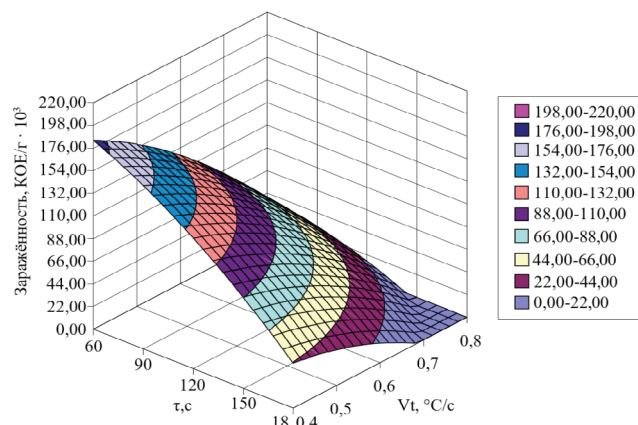
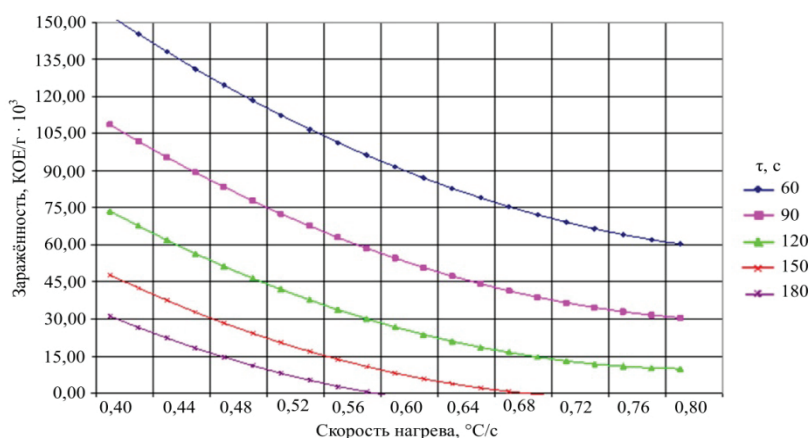
При несоблюдении условий хранения (повышенные влажность и температура) на рисовом зерне обнаруживаются грибы *p. Penicillium*, выявляется зеленоватый налёт¹ [9]. Повреждающий эффект грибов *Penicillium* проявляется в вялом плесневении, что приводит к отравлению зародыша зерновки токсинами. Вредные свойства грибов рода *Penicillium* связаны не только с токсичными метаболитами (аммиак, продукты окисления жирных кислот и др.), но и с механическим повреждением клеток^{2,3} [11]. Поскольку это внутренняя инфекция, то при помощи современных методов обработки её практически невозможно очистить. При этом споры данного вида устойчивы к температурным перепадам и могут выдерживать температуру выше 175°C .

Зависимость влияния параметров СВЧ-поля на заражённость зерна риса грибами *p. Penicillium* представлена рисунке 2.

¹ Цугленок Г.И., Юсупова Г.Г., Головина Т.А. Термическое воздействие СВЧ-поля на продовольственное зерно пшеницы. Красноярск: Изд-во Красноярского государственного аграрного университета, 2005. 125 с.

² Цугленок Н.В., Кунгс Я.А. Влияние энергии СВЧ-поля на заражённость и качество зернового хлеба. Красноярск: Изд-во Красноярского государственного аграрного университета, 2005. 103 с.

³ Цугленок Н.В., Цугленок Г.И., Юсупова Г.Г. Комплексная система обеззараживания зерна и продуктов его переработки. Красноярск: Изд-во Красноярского государственного аграрного университета, 2004. 210 с.

Рис. 1. Влияние СВЧ-поля на обсеменённость зерна риса грибами *p. Aspergillus*Fig. 1. Effect of microwave field on *Aspergillus* fungi contamination of rice grainРис. 2. Заражённость зерна риса грибами *p. Penicillium* в зависимости от параметров СВЧ-поляFig. 2. Infection of rice grain with *Penicillium* fungi depending on the microwave field parameters

Экспериментально установлена область благоприятного режима: время обработки $t = 122-171$ с; скорость нагрева $V_t = 0,56 \dots 0,68^\circ\text{C}/\text{с}$. Губительными для грибов оказались режимы 1 и 7. В образце 9 численность грибов имеет самые безопасные пределы, а в вариантах 4, 6, 8 наблюдается активизация роста грибной инфекции.

Исследован состав микроорганизмов кукурузного зерна и получены значения о результатах воздействия СВЧ-энергии на зараженность грибами (табл. 2, рис. 3, 4). Анализ данных таблицы 2 показывает, что наиболее эффективными режимами являются 1, 2, 5,

7, 9. В данных режимах температура нагрева зерна составляет от 65 до 85°C . При температуре выше 85°C наблюдается денатурация белков, поэтому наивысшая температура нагрева должна составлять 75°C . Рост нежелательной микрофлоры наблюдается при температуре 51°C (8 вариант).

Изменение заражённости зерна кукурузы грибами рода *Aspergillus* в зависимости от скорости нагрева СВЧ-энергии представлено на рисунке 4. При интенсивности нагрева $0,6 \dots 0,69^\circ\text{C}/\text{с}$ замечается максимальное снижение количества микроорганизмов.

Таблица 2

Изменение показателей заражённости зерна кукурузы в зависимости от параметров СВЧ-энергии

Table 2

Changes in indicators of corn grain contamination depending on the parameters of microwave energy

Вариант Option	Экспозиция, τ , с Exposition, τ , s	Скорость нагрева, V_t , $^\circ\text{C}/\text{с}$ Heating rate, V_t , $^\circ\text{C}/\text{s}$	Температура нагрева зерна кукурузы, t $^\circ\text{C}$ Heating temperature of corn grain, t $^\circ\text{C}$	Заражённость возбудителями, КОЕ/г Infection with pathogens CFU/g				
				<i>Mucor</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Aspergillum</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Alternaria</i>
1	180	0,8	85	0	0	0	0	0
2	180	0,4	67	$1 \cdot 10^2$	0	0	0	0
3	60	0,8	57	$4 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^2$
4	60	0,4	40	$5 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$
5	120	0,8	70	0	0	0	0	0
6	120	0,4	50	$3 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^5$
7	180	0,6	75	0	0	0	0	0
8	60	0,6	51	$3 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^5$
9	120	0,6	65	$1 \cdot 10^2$	0	0	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$
10	Контроль / Control			$5 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$

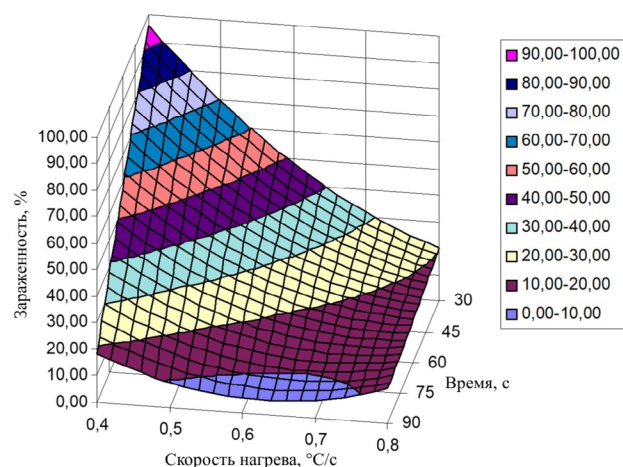


Рис. 3. Изменение заражённости зерна кукурузы грибами рода *Aspergillus* в зависимости от параметров СВЧ-энергии

Fig. 3. Changes in the infection of corn grain with *Aspergillus* fungi depending on the parameters of microwave energy

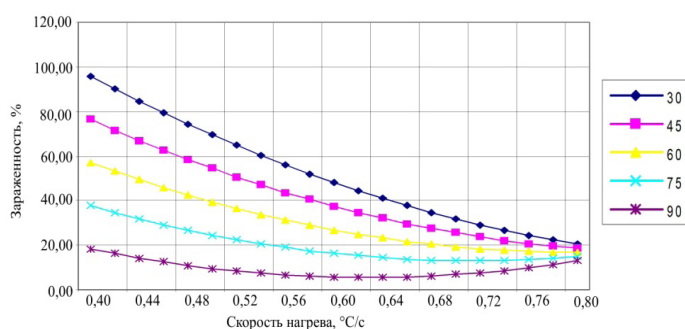


Рис. 4. Изменение заражённости зерна кукурузы грибами рода *Aspergillus* в зависимости от скорости нагрева СВЧ-энергии

Fig. 4. Changes in the infection of corn grain with *Aspergillus* fungi depending on the heating rate of microwave energy

Выводы

Использование энергии сверхвысокой частоты позволило снизить заражённость зерна риса и зерна кукурузы до минимальных пределов.

Список использованных источников

1. Юсупова Г.Г., Кретьова Ю.И., Черкасова Э.И. Проблемы экологической безопасности зернового продовольственного сырья и способы их решения // Хранение и переработка сельхозсырья. 2005. № 9. С. 16-17. EDN: YIQAOR.
2. Clarke J.H. Fungi in stored products. *Pest Management*. 1969;15:473-481. <https://doi.org/10.1080/04345546909415314>
3. Orton C.R. Seed-borne parasites. *West Virginia Agricultural and Forestry Experiment Station Bulletins* 245. 1931.
4. Wallace H.A., Sinha R.N. Microflora of stored grain in international trade. *Mycopathologia*. 1975;57(3):171-176. <https://doi.org/10.1007/BF00551424>
5. Черкасова Э.И. Использование СВЧ-поля для обеспечения микробиологической безопасности продуктов растительного происхождения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2014. Т. 2, № 1. С. 67-71. EDN: RZCMMML
6. Белов А.А., Сторчевой В.Ф., Белова М.В., Коробков А.Н. СВЧ-установка для обеззараживания зерна и продуктов его переработки // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2014. № 6. С. 101-107. EDN: TLAPPX..
7. Кретьова Ю.И., Черкасова Э.И. Проблемы и пути решения экологической безопасности зернового продовольственного сырья // Наука ЮУрГУ: Материалы 63-й научной конференции. Т. 1. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. С. 49-52. EDN: RAAYJJ.
8. Способ обработки смеси крупы с овощами: патент RU № 2292164 C1, МПК A23L 1/10, A23B9/02; № 2005119352/13 / Н.В. Цугленок, Р.Х. Юсупов, Г.Г. Юсупова [и др.]. Заяв. 21.06.2005; Оpubл. 27.01.2007. EDN: BYVKOV.
9. Бастрон А.В., Мещеряков А.В., Цугленок Н.В. Технология и технические средства обеззараживания семян энергией СВЧ-поля // Вестник КрасГАУ. 2007. № 1. С. 268-271. EDN: HWIFSJ.
10. Юсупова Г.Г., Юсупов Р.Х., Черкасова Э.И., Толмачева Т.А., Черкасова М.О. Влияние энергии СВЧ-поля на пищевую ценность многокомпонентных крупяных смесей // Хлебопродукты. 2014. № 12. С. 48-51. EDN: TDRPMX.
11. Юсупова Г.Г., Жидких Л.А. Обеспечение микробиологической безопасности зерна, муки и хлеба // Хлебопечение России. 2007. № 2. С. 26-28. EDN: NCYJWJ.

Вклад авторов

Э.И. Черкасова – концептуализация
У.Ю. Антонова – методология, создание окончательной версии рукописи и её редактирование
П.В. Голиницкий – информационные ресурсы и аналитика
И.Н. Кравченко – проведение обзора литературы
Д.А. Пупкова – визуализация, создание черновика рукописи

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 29.05.2023; после рецензирования и доработки 11.09.2023, принята к публикации 12.09.2023

Рекомендуемые режимы обработки для зерна кукурузы: скорость нагрева 0,6...0,69°C/с и время обработки 154-165 с; для зерна риса – 0,56...0,68°C/с и 122-171 с.

References

1. Yusupova G.G., Kretova Yu.I., Cherkasova E.I. Problems of environmental safety of grain food raw materials and ways to solve them. *Storage and Processing of Farm Products*. 2005;9:16-17. (In Rus.)
2. Clarke J.H. Fungi in stored products. *Pest Management*. 1969;15:473-481. <https://doi.org/10.1080/04345546909415314>
3. Orton C.R. Seed-borne parasites. *West Virginia Agricultural and Forestry Experiment Station Bulletins* 245. 1931.
4. Wallace H.A., Sinha R.N. Microflora of stored grain in international trade. *Mycopathologia*. 1975;57(3):171-176. <https://doi.org/10.1007/BF00551424>
5. Belov A.A., Storchevov V.F., Belova M.V., Korobkov A.N. Microwave unit for disinfection of grain and grain products. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2014;6:101-107. (In Rus.)
6. Cherkasova E.I. Use of superhigh frequency field for microbiological safety of plant products. *Bulletin of South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2014;2(1):67-71 (In Rus.)
7. Kretova Yu.I., Cherkasova E.I. Problems and solutions to the environmental safety of grain food raw materials. *Nauka YUUrGU: Materialy 63-y nauchnoy konferentsii*. Vol. 1. Chelyabinsk: SUSU Publishing Center. 2011;1:49-52. (In Rus.)
8. Tsuglenok N.V., Yusupov R.Kh., Yusupova G.G., Tsuglenok G.I., Cherkasova E.I., Zdanovich Ju.I. Method for processing of groats-and-vegetable mixture: Patent RU № 2292164 C1, МПК A23L 1/10, A23B9/02; № 2005119352/13 (In Rus.)
9. Bastron A.V., Meshcheryakov A.V., Tsuglenok N.V. Technology and technical means of disinfecting seeds with microwave energy. *Bulletin of KSAU*. 2007;1:268-271. (In Rus.)
10. Yusupova G.G., Yusupov R.Kh., Cherkasova E.I., Tolmacheva T.A., Cherkasova M.O. Influence of microwave field energy on the nutritional value of multicomponent cereal mixtures. *Khlebo-produkty*. 2014;12:48-51. (In Rus.)
11. Yusupova G.G., Zhidkikh L.A. Maintenance of microbiological safety of flour, grain, and bread. *Baking in Russia*. 2007;2:26-28. (In Rus.)

Contribution of the authors

E.I. Cherkasova – conceptualization
U.Yu. Antonova – methodology, finalizing (reviewing) and editing the draft
P.V. Golitskiy –resources and formal analysis
I.N. Kravchenko – literature review;
D.A. Pupkova – visualization, original draft preparation

Conflict of interests

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

Received 29.05.2023; revised 11.09.2023; accepted 12.09.2023

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 378:63:631.3:631.171:001.1

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-78-83



К 155-летию со дня рождения В.П. Горячкина

**Машинно-испытательная станция
как база практической подготовки агроинженеров**

Зайцева Наталья Леонидовна, канд. ист. наук, доцент,
директор Мемориального музея-квартиры К.А. Тимирязева
nataliza008@mail.ru

Рябова Наталья Юрьевна✉, заведующая Музеем земледельческой механики имени В.П. Горячкина
riabowanatalia@eandex.ru✉

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация,
г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. За последнее время в архиве Музея земледельческой механики имени В.П. Горячкина РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева найдены материалы, которые позволили уточнить и дополнить сведения об истории создания Василием Прохоровичем Горячкиным агроинженерной научно-педагогической школы в Московском сельскохозяйственном институте (МСХИ) – Петровской сельскохозяйственной академии – Сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева. Документы раскрывают обстоятельства строительства машинно-испытательной станции в МСХИ в 1913 г., создания факультета земледельческой механики Сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева в 1928 г. и формирования курсов усовершенствования преподавателей в области сельскохозяйственного машиностроения. Впервые введены в научный оборот и документы, посвященные открытию Всесоюзного института сельскохозяйственного машиностроения в 1928 г., – в частности, стенограмма доклада В.П. Горячкина на собрании Института сельскохозяйственной механики. Особо ценные факты, касающиеся жизни и деятельности В.П. Горячкина, представлены в воспоминаниях его ближайшего ученика и соратника профессора Б.А. Криля в 1937 г. (через два года после смерти Василия Прохоровича).

Ключевые слова: В.П. Горячкин, агроинженер, машинно-испытательная станция, земледельческая механика, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Московский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, Всесоюзный институт сельскохозяйственного машиностроения

Формат цитирования: Зайцева Н.Л., Рябова Н.Ю. Машинно-испытательная станция как база практической подготовки агроинженеров // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 78-83. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-78-83>.

© Зайцева Н.Л., Рябова Н.Ю., 2023

ORIGINAL ARTICLE

Machine testing station as a practical training base for agricultural engineers

Natalia L. Zaitseva, CSc (Hist), Associate Professor, Director of the Memorial Museum-Apartment of K.A. Timiryazev
nataliza008@mail.ru

Natalia Yu. Ryabova✉, Head of the Museum of Agricultural Mechanics named after V.P. Goryachkin
riabowanatalia@yandex.ru✉

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

Abstract. The new materials about V.P. Goryachkin have been recently found in the archives of the Museum of Agricultural Mechanics named after V.P. Goryachkin (Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy). These finding helped clarify and supplement information about the history of establishing

the agro-engineering scientific and pedagogical school by Vasily Goryachkin at Moscow Agricultural Institute – Petrovskaya Agricultural Academy – Timiryazev Agricultural Academy. The newly discovered documents reveal some of the circumstances of the construction of the Machine Testing Station at Moscow Agricultural Institute in 1913, the establishing of the Faculty of Agricultural Mechanics of Timiryazev Agricultural Academy in 1928, as well as further training courses for teachers in the field of agricultural engineering. Documents related to the opening of the All-Union Institute of Agricultural Engineering in 1928 were also introduced into scientific circulation for the first time. Particularly valuable facts concerning the life and work of V.P. Goryachkin, can be found in the earliest memoirs about the great scientist, written by his closest student and long-term colleague Professor B.A. Krill in 1937, two years after the death of Vasily Goryachkin.

Keywords: V.P. Goryachkin, agricultural engineer, Machine Testing Station, Agricultural Mechanics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow Institute of Farm Mechanization and Electrification, All-Union Institute of Agricultural Engineering.

For citation: Zaitseva N.L., Ryabova N.Yu. Machine testing station as a practical training base for agricultural engineers. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(5):78-83. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-78-83>.

В 2023 г. отмечаются две знаменательные даты: 155-летие со дня рождения академика В.П. Горячкина (1868-1935) и 110-летие постройки машинно-испытательной станции (МИСа) в Московском сельскохозяйственном институте (МСХИ, ныне РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева).

За более чем полтора века деятельности РГАУ-МСХА (1865-2023) в вузе плодотворно трудились тысячи учёных, и сотни из них прославили страну своими научными достижениями. Первое место в этом ряду занимает Василий Прохорович Горячкин (1868-1935), о котором только в последнее время опубликовано и издано несколько статей и книг [1-5]. Недавно в Музее земледельческой механики имени В.П. Горячкина найдены материалы, раскрывающие неизвестные ранее страницы жизни основателя науки «Земледельческая механика».

Удивительным является то, как сын малограмотного крепостного крестьянина, в два года потерявший мать, а в двенадцать лет оставшийся круглым сиротой, смог окончить два лучших вуза страны: Императорский Московский университет (ИМУ, ныне Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова) и Императорское Московское техническое училище (ИМТУ, ныне Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана)! Каким образом скромный и.о. адъюнкт-профессора кафедры «Почвоведение и общее земледелие» МСХИ, читавший курсы «Учение о сельскохозяйственных машинах» и «Учение о двигателях», уже через пять лет после начала работы смог создать в 1901 г. новаторскую кафедру «Земледельческая механика»? В 1913 г. он стал одним из инициаторов преобразования сельскохозяйственно-инженерного отделения МСХИ в инженерное, а в период Гражданской войны (1919-1922) возглавил Петровскую сельскохозяйственную академию.

На рубеже 1920-1930 гг. В.П. Горячкин активно участвовал в создании трёх институтов: учебного (Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства, ныне Института механики и энергетики имени В.П. Горячкина в составе РГАУ-МСХА) и двух научно-исследовательских (Всесоюзного института сельскохозяйственного машиностроения (ВИСХОМа), Всесоюзного института механизации – ныне Федерального научного агроинженерного центра «ВИМ»).

Помимо природных способностей и врождённого, поистине крестьянского упорства, состояться выдающемуся учёному-практику и педагогу помогли его семья и наставники в науке. В Императорском Московском университете и в Императорском Московском техническом училище это были профессора кафедры «Теоретическая механика», основоположник гидро- и аэродинамики Н.Е. Жуковский (1847-1921) и математик Ф.Е. Орлов (1842-1892). К сожалению, недооценивается роль ещё одного наставника – профессора ИМТУ, выпускника физико-математического факультета Императорского Санкт-Петербургского университета и Санкт-Петербургского технологического института, российского учёного-механика швейцарского происхождения А.К. Эшлимана (1839-1899), преподававшего одновременно в двух ведущих вузах страны: Петровской земледельческой и лесной академии и ИМТУ. В училище А.К. Эшлиман читал В.П. Горячкину содержательный курс о расчёте конных приводов, о работе живых двигателей и сельскохозяйственных машин, немало заинтересовав молодого студента [6]. Василий Прохорович потом тепло вспоминал о своём предшественнике: «Благодаря чрезвычайно внимательному отношению к исполнению своих обязанностей и мягкости характера А.К. Эшлиман пользовался любовью и уважением всех» [7].



Фото 1. Василий Прохорович Горячкин. 1898 г.

За время работы в Петровской земледельческой и лесной академии (1870-1893) А.К. Эшлиман пытался решить важнейшую проблему учебного процесса подготовки инженеров – соединение теории и практики. На летней практике его ученики занимались разборкой и сборкой сельскохозяйственных машин и впервые в России стали проводить полевые испытания сельскохозяйственной техники¹.

Убеждённый сторонник производственного обучения, А.К. Эшлиман считал, что соединение высшей школы и опытных станций является одним из главных условий успеха сельскохозяйственного образования. В 1871 г. он предложил создать станцию по испытанию сельскохозяйственной техники. Для решения этого вопроса Совет Петровской земледельческой и лесной академии создал комиссию и в мае 1873 г. представил свой доклад, но дальше слов дело не пошло [8].

В 1890 г., после упразднения Петровской земледельческой и лесной академии, Василий Прохорович, заменив Александра Карловича в МСХИ, задумал реализовать давнюю мечту своего учителя – построить машинно-испытательную станцию (МИС). Будучи заведующим кафедрой «Земледельческая механика», В.П. Горячкин представлял МИС как составную часть образовательно-педагогического процесса. 25 августа 1906 г. Совет МСХИ охотно поддержал внесённый В.П. Горячкиным проект постройки МИС. Но решение о выделении средств на постройку МИСа затянулось на 6 лет [3]. В.П. Горячкин, используя свои связи, решил искать помощи у своих бывших учеников Д.Д. Арцыбашева (1873-1942) и В.Ю. Гана (1876-1939), работавших в Бюро по сельскохозяйственной механике Министерства

земледелия и государственных имуществ [3]. Полное понимание В.П. Горячкин нашёл и в лице директора МСХИ профессора И.А. Иверонова (1867-1916), который активно содействовал созданию в вузе в начале XX в. Селекционной станции Д.Л. Рудзинского, Льняной станции И.С. Шулова, Фитопатологической станции С.И. Ростовцева и Станции питания растений Д.Н. Прянишникова. По инициативе сотрудников Бюро по сельскохозяйственной механике 1 января 1912 г. был принят закон «О некоторых мероприятиях по устройству и содержанию сельскохозяйственных опытных станций», на основании которого было решено построить машинно-испытательные станции в Омске, Elizavetgrade, Санкт-Петербургской губернии, Безенчуке Самарской губернии, Ростове-на-Дону и в Москве.

Проект здания МИСа, задуманный В.П. Горячкиным, без малейших изменений был реализован профессором П.С. Страховым (1868-1934), возглавлявшим кафедру «Сельскохозяйственная архитектура» МСХИ и обладавшим незаурядным художественным вкусом [6].

В 1913 г. сельскохозяйственно-инженерное отделение вуза было преобразовано в инженерное, что сопровождалось радикальными изменениями учебного процесса [3]. Машинно-испытательная станция дополняла структуру инженерного отделения, решая несколько задач: научную (создание теории и методов расчёта сельскохозяйственных машин и орудий), практическую (проведение испытаний, устранение недостатков по требованиям потребителей) и педагогическую (отработка методик занятий с будущими агроинженерами).

Машинно-испытательная станция стала опытным полигоном кафедры «Земледельческая механика». Испытания отличались глубокой теоретической проработкой не отдельного элемента машины, а всего выполняемого процесса. Для оценки изменяемых величин составлялись индивидуальные методики, создавалась специальная аппаратура: например, разработанные В.П. Горячкиным плотномер для определения объёмного коэффициента смятия и предела плотности почвы, профилометр вспаханного поля, динамометры и динамографы силовых узлов машин, тугости связывания снопов и др.

К 1915 г. сформировались специализации исследователей: В.А. Желиговский сосредоточился на испытаниях уборочных машин и создании теории молотилок, С.В. Полетаев – на зерноочистительных машинах, Б.А. Криль – на почвообрабатывающих и посевных машинах. Тогда же появилась новая секция – тракторная, которую возглавил А.Н. Судаков, выпускник ИМТУ, ученик профессора Н.Е. Жуковского.

¹ Известия Петровской земледельческой и лесной академии. М., 1881. № 2. С. 209.



Фото 2. МИС. 1930 г.

Идея о расширении тематики испытаний техники пришла к Василию Прохоровичу после посещения им в 1915 г. Всероссийской промышленной выставки под Киевом, где проходили испытания тракторов на гусеничном ходу, в основном американской фирмы «Холт-Парр». В.П. Горячкин разработал оригинальную теорию колёс, установил зависимость между ведущими и ведомыми колесами, выявил сущность явления буксования и скольжения колёс, построил модель колёсного хода, приводившегося в движение от пружинных (граммофонных) механизмов. и даже пытался её испытывать в кабинете собственной квартиры [6]. Понимая всю перспективность новой тракторной техники, для монтажа тракторов Василий Прохорович выделил место специалистам-трактористам в своём машинном сарае, интересовался их испытаниями и давал полезные советы [6].

1 апреля 1921 г. был подписан важнейший для развития инженерного сельскохозяйственного образования Декрет «О сельскохозяйственном машиностроении», где было сказано: «Признать сельскохозяйственное машиностроение делом чрезвычайной государственной важности» [9]. 1 ноября 1922 г. инженерное отделение Петровской сельскохозяйственной академии преобразовано в факультет, в составе которого было и отделение сельскохозяйственного машиностроения. Тогда же на базе МИСа по инициативе В.П. Горячкина был создан научный кружок по земледельческой

механике, в котором занимались около 40 студентов – это почти 80% всех обучающихся на отделении сельскохозяйственного машиностроения. Такое процентное соотношение сохранялось на протяжении 6 лет его существования (1922-1928 гг.). В период своего обучения 1500 студентов были приобщены Василием Прохоровичем Горячкиным к научной работе [10].

8 мая 1929 г. СТО (Совет Труда и Оборон) СССР принял Постановление «Об организации машинно-тракторных станций» (МТС). В 1926 г. группа учёных во главе с В.П. Горячкиным возбудила ходатайство перед Правительством СССР об организации Научно-исследовательского института сельскохозяйственной механики, положение о котором было утверждено 14 мая 1927 г.

Не дожидаясь окончательного юридического утверждения нового НИИ, Василий Прохорович Горячкин, назначенный его первым директором, получив соответствующие ассигнования, приступил к развёртыванию научно-исследовательской работы на базе машинно-испытательной станции Сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева (ТСХА).

25 ноября 1927 г. на собрании ВИСХОМа В.П. Горячкин, выступая с программной речью, заявил, что в институте должны быть представлены все вопросы сельскохозяйственного машиностроения: хозяйственно-экономические, производственные, конструкторские, исследовательские (теоретические и опытные).

К этому времени в работе МИСа участвовали не менее 50 учёных-специалистов различных отраслей знаний. Как подчёркивал докладчик, «...коллектив сотрудников станции уже сработался, сговорился в течение ряда лет» [11].

Василий Прохорович предложил распределить наиболее опытных сотрудников по новым отделам: например, В.П. Селезнёва посоветовал направить в хозяйственно-экономический отдел, В.А. Желиговского – в отдел исследований и испытаний. Жатвенные машины предложено было разрабатывать профессору Б.А. Крилю, а веялки и сортировки – профессору С.В. Полетаеву [11].

Постановлением Совета Труда и Оборона и Совнаркома от 18 декабря 1928 г. № 283 на базе МИСа был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт сельскохозяйственной механики (ВИСХОМ), реорганизованный в 1931 г. во Всесоюзный научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения, чей первый штат состоял из профессорско-преподавательского состава выпускников инженерного факультета ТСХА.

В 1920-е гг. В.П. Горячкин загорелся идеей преобразования отделения сельскохозяйственного машиностроения в самостоятельный факультет земледельческой механики ТСХА. Он обратился за поддержкой своей инициативы в самые разнообразные структуры и везде получил положительный ответ [12].

В 1928 г. в ТСХА одним из 13 факультетов стал факультет земледельческой механики, вскоре переименованный в факультет сельскохозяйственного машиностроения, деканом которого был назначен В.А. Желиговский. Вскоре на его базе были открыты курсы усовершенствования преподавателей в области сельскохозяйственного машиностроения [13]. Но на этом В.П. Горячкин не остановился. Его новую инициативу о создании Института индустриализации и механизации сельского хозяйства поддержала группа учёных в составе В.Р. Вильямса, И.П. Прокофьева, М.Г. Евреинова, Н.И. Мерцалова, которые и обратились с ходатайством в Наркомзем СССР. Была назначена комиссия для составления проектов и смет по постройке нового института под председательством профессора В.П. Бушинского (1885-1960) [12].

1 сентября 1930 г. состоялось открытие Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства (ныне Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина в составе РГАУ-МСХА), где Василий Прохорович возглавил кафедру «Сельскохозяйственные машины», которой руководил до 1934 г.

Василий Прохорович Горячкин, гармонично вобрав в себя пылкий ум исследователя, талант инженера-практика и энергию неутомимого преобразователя высшей школы в области аграрно-инженерного образования, заложил мощный фундамент развития сельскохозяйственного машиностроения в нашей стране.



Фото. 3. Первые студенты МИМЭСХ. 1930 г.
(фотография публикуется впервые)

Список использованных источников

1. Зайцева Н.Л. Жизнь и судьба В.П. Горячкина // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2017. № 6. С. 7-9. EDN: ZWKXUT.
2. Ерохин М.Н., Зайцева Н.Л., Алдошин Н.В. Василий Прохорович Горячкин: воспоминания современников: Монография. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2018. 241 с.
3. Ерохин М.Н., Зайцева Н.Л., Алдошин Н.В. Василий Прохорович Горячкин: страницы жизни: Монография. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 280 с. EDN: VUTDSM.
4. Зайцева Н.Л., Алдошин Н.В., Рябова Н.Ю. Страницы истории агроинженерного образования России в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА. 2021. № 4. С. 149-169. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-4-149-169>
5. Алдошин Н.В., Зайцева Н.Л., Рябова Н.Ю. К 120-летию кафедры «Сельскохозяйственные машины» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (1901-2021): Монография. М.: ООО «Сам полиграфист», 2021. 156 с. EDN: BERSKL.
6. Криль Б.А. Биография академика В.П. Горячкина // Материалы Музея земледельческой механики имени В.П. Горячкина. 1937. Папка № 53.
7. Баутин В.М., Казарезов В.В. Золотая летопись Тимирязевки. Т. II. Ч. I. Петровская (Тимирязевская) академия: становление (1873-1894). М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. 420 с.
8. Материалы об истории РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Материалы Музея земледельческой механики имени В.П. Горячкина. Папка № 51.
9. О сельскохозяйственном машиностроении: Декрет Совета Народных Комиссаров от 1 апреля 1921 г. // Собрание Узаконений, 1921 г. № 1.
10. Милова Н.В. Материалы о работе кружка по земледельческой механике // Материалы Музея земледельческой механики имени В.П. Горячкина. Папка № 56.
11. Стенограмма доклада В.П. Горячкина на собрании Института сельскохозяйственной механики 25 ноября 1927 г. // Материалы Музея земледельческой механики имени В.П. Горячкина. Папка № 51.
12. Материалы о создании Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства (1928-1930) // Материалы Музея земледельческой механики имени В.П. Горячкина. Папка № 58.
13. Клёнин Н.И. История кафедры «Уборочные машины». 1990 г. // Материалы Музея земледельческой механики имени В.П. Горячкина. Папка № 1.

Статья поступила 02.05.2023, принята к публикации 08.09.2023

References

1. Zaitseva N.L. Life and fate of V.P. Goryachkin. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2017;6:7-9. (In Rus.)
2. Vasily Prokhorovich Goryachkin: memories of contemporaries: Monograph. M.N. Erokhin, N.L. Zaitseva, N.V. Aldoshin. Moscow, RGAU-MSKHA, 2018. 241 p. (In Rus.)
3. Erokhin M.N. Vasily Prokhorovich Goryachkin: pages of life: Monograph. M.N. Erokhin, N.L. Zaitseva, N.V. Aldoshin. Moscow, FGBNU "Rosinformagroteh", 2020. 280 p. (In Rus.)
4. Zaitseva N.L., Aldoshin N.V., Ryabova N.Yu. Development stages of domestic agroengineering education in Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021;4:149-169. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-4-149-169>
5. Aldoshin N.V. Towards the 120th anniversary of the department "Agricultural Machinery" of the K.A. Timiryazev Russian State Agricultural Academy (1901-2021): Monograph. N.V. Aldoshin, N.L. Zaitseva, N.Y. Ryabova. Moscow, LLC "Sam Polygraphist", 2021. 156 p. (In Rus.)
6. Kril B.A. Biography of Academician V.P. Goryachkin. Materials of the Museum of Agricultural Mechanics named after V.P. Goryachkin. 1937. Folder No. 53. (In Rus.)
7. Golden Annals of Timiryazevka. V.M. Bautin, V.V. Kazarezov. Vol. 2: Petrovskaya (Timiryazevskaya) Academy: formation (1873-1894). Vol. II. Part I. Moscow, FGNU "Rosinformagrotekh", 2006. 420 p. (In Rus.)
8. Materials about the history of Russian Timiryazev State Agrarian University. Materials of the Museum of Agricultural Mechanics named after V.P. Goryachkin. Folder No. 51. (In Rus.)
9. About agricultural engineering. Decree of the Council of People's Commissars of 1 April 1921. *Sobranie Uzakonenii*, 1921, No. 1. (In Rus.)
10. Milova N.V. Materials about the work of the circle on agricultural mechanics. Materials of the Museum of Agricultural Mechanics named after V.P. Goryachkin. Folder No. 56. (In Rus.)
11. Transcript of V.P. Goryachkin's report at the meeting of the Institute of Agricultural Mechanics on 25 November 1927. Materials of the Museum of Agricultural Mechanics named after V.P. Goryachkin. Folder No. 51. (In Rus.)
12. Materials on the establishment of the Moscow Institute of Mechanisation and Electrification of Agriculture (1928-1930). Materials of the Museum of Agricultural Mechanics named after V.P. Goryachkin. Folder No. 58. (In Rus.)
13. Klyonin N.I. History of the department "Harvesting machines". 1990. Materials of the Museum of Agricultural Mechanics named after V.P. Goryachkin. Folder No. 1. (In Rus.)

Received 02.05.2023; accepted 08.09.2023

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 929:631.171

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-84-88



*100-летию со дня рождения ветерана
Великой Отечественной войны,
заслуженного деятеля науки и техники,
заслуженного изобретателя
Российской Федерации,
доктора технических наук,
профессора Н.Ф. Тельнова посвящается*

Вся жизнь в творчестве

Ерохин Михаил Никитьевич[✉], академик РАН, д-р техн. наук, профессор

n.erohin@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>; Scopus Author ID: 572092705884

Апатенко Алексей Сергеевич, д-р техн. наук, доцент

a.apatenko@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-2490-9274>

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. В декабре 2023 г. исполняется 100 лет со дня рождения ветерана Великой Отечественной войны, доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники, заслуженного изобретателя Российской Федерации Николая Фёдоровича Тельнова – талантливого педагога, крупного учёного в области интенсификации процессов очистки ремонтируемых объектов. Участник Великой Отечественной войны, Николай Тельнов прошёл нелёгкую фронтовую дорогу от Орла до Ростока. Окончив с отличием факультет механизации сельского хозяйства (МИМЭСХ), он проделал творческий путь от ассистента, доцента до проректора по научной, учебной работе, заведующего кафедрой ремонта и надежности машин Московского института инженеров сельскохозяйственного производства имени В.П. Горячкина. С присущей ему энергией и тактом Н.Ф. Тельнов целеустремленно занимался совершенствованием методики преподавания технических дисциплин, воспитанием высокой нравственности у выпускаемых специалистов. Под руководством профессора Н.Ф. Тельнова – создателя научной школы по технологии очистки сельскохозяйственной техники – разработаны и внедрены в производство высокоэффективные моющие средства, оригинальные моечные машины и установки, защищено 40 докторских и кандидатских диссертаций. Многие его ученики в последующем стали профессорами, ведущими специалистами в области технического сервиса машин. В его творческом активе 260 научных и методических разработок. Военная и творческая трудовая деятельность Н.Ф. Тельнова отмечена двумя орденами Красной Звезды, орденами Отечественной войны II степени, Трудового Красного Знамени, медалями «За отвагу», «За трудовую доблесть» и другими правительственными наградами.

Ключевые слова: Н.Ф. Тельнов, профессор, Московский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, интенсификация процессов очистки ремонтируемых объектов, моющие средства и оборудование, воспитание нравственности

Формат цитирования: Ерохин М.Н., Апатенко А.С. Вся жизнь в творчестве // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 84-88. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-84-88>.

© Ерохин М.Н., Апатенко А.С., 2023

ORIGINAL ARTICLE

Lifetime of creativity

Mikhail N. Erokhin[✉], Full Member of RAS, DSc (Eng), Professor

n.erohin@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0001-6573-0950>; Scopus Author ID: 572092705884

Aleksey S. Apatenko, DSc (Eng), Associate Professor

a.apatenko@rgau-msha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-2490-9274>

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation

Abstract. In December 2023, it will be 100 years since the date of birth of Nikolay F. Telnov, the veteran of the Great Patriotic War, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Worker of Science and Technology, Honoured

Inventor of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, a talented teacher, the great scientist in the field of intensified cleaning of repairable objects. After passing a difficult frontline way from Orel to Rostock, and graduating with honours from the Faculty of Farm Mechanisation (MIMESKh), N.F. Telnov made his way from assistant, associate professor to Vice-Rector for Science and Education, Head of the Department of Repair and Reliability of Machines of the Moscow Institute of Agricultural Engineers named after V.P. Goryachkin. With his inherent energy and tact he purposefully improved the methodology of teaching technical subjects and developed high morality in graduating specialists. Under the guidance of Professor N.F. Telnov, the founder of the scientific school of agricultural machinery cleaning technology, highly effective detergents, original washing machines and installations were developed and introduced into production, 40 doctoral and candidate theses were defended. Many of his students later became professors, key specialists in the field of technical service of machines. His creative asset boasts 260 scientific and methodical developments. Military and creative labour activity of Nikolay F. Telnov is marked by two Orders “Red Star”, “Patriotic War II degree”, “Labour Red Banner”, medals “For Bravery”, “For Labour Valour” and other government awards.

Keywords: N.F. Telnov, professor, Moscow Institute of Farm Mechanisation and Electrification, intensified cleaning of repairable objects, detergents and equipment, moral education

For citation: Erokhin M.N., Apatenko A.S. Lifetime of creativity. Agricultural Engineering (Moscow), 2023;25(5):84-88. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-84-88>.

Николай Фёдорович Тельнов родился 19 декабря 1923 г. в деревне Чаплино Ефремовского района Тульской области. Большую роль в жизни будущего учёного сыграли его родители Прасковья Михайловна и Фёдор Прокофьевич – потомственные крестьяне, люди большой души и доброго сердца, не имевшие даже начального образования. Мать, по её словам, училась «две зимы», а отец – «три зимы», каждый раз не имея возможности завершить учебный год в связи с наступлением весенних полевых работ [1]. Фёдор Прокофьевич Тельнов на различных фронтах прошёл всю Великую Отечественную войну. Вскоре после демобилизации из армии в возрасте 42 лет он скончался.

С детских лет, как и все деревенские ребята, Николай познал нелёгкий крестьянский труд,

определивший его дальнейшую судьбу [2]. После окончания 7 классов в 1939 г. он поступил в Ярославский химико-механический техникум, где удалось учиться всего лишь два курса.

С июня 1941 г., когда грянула Великая Отечественная война, Николай Тельнов участвовал в строительстве оборонительных рубежей, а в 1942 г., после двухмесячной подготовки, стал солдатом-связистом.

Сложен ратный труд связиста: днём и ночью, в дождь и слякоть, в мороз и метель, под огнём врага связь должна работать безотказно, и никакие причины не могли служить оправданием её отсутствия. Немало фронтовых дорог ефрейтор Тельнов преодолел с катушкой за спиной в составе Брянского, 1-го и 2-го Белорусского фронтов, много форсировал водных рубежей, из них – реку Оку (где он чудом не утонул), Березину, Вислу и др. [3]. Но самым ожесточенным, по воспоминаниям Николая Фёдоровича, было сражение на Орловско-Курской дуге. За участие в нём Н.Ф. Тельнов получил свою первую солдатскую награду – медаль «За отвагу», которой он особенно гордился и считал самой ценной наградой. За период войны связист Тельнов был награжден также двумя орденами Красной Звезды, орденом Отечественной войны II степени, медалями «За освобождение Варшавы» и др.

После демобилизации из армии в марте 1947 г. Николай Тельнов решил продолжить учёбу. Самое простое – возвращение в техникум и завершение прерванного войной обучения, но был выбран другой путь. Самостоятельно он занимался по 15 часов в сутки и экстерном сдал экзамены на аттестат зрелости, а затем поступил на факультет механизации сельского хозяйства Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства (МИМЭСХ). Вся его последующая жизнь была связана с этим вузом,



Фото 1. Н.Ф. Тельнов (1923-2005)

ставшим ему родным домом и сменившим за эти годы три наименования: МИМЭСХ – МИИСП – МГАУ.

Годы учёбы в вузе (1947-1951) пришлось на нелёгкое послевоенное время, но Николай Тельнов этого не замечал. По его словам, «обучаясь, испытывал истинное наслаждение после того, как с катушкой связиста за плечами прошагал пол-Европы и чудом оказался жив» [1]. Студент Тельнов все 5 лет учился только на «отлично», активно участвуя при этом в научной и общественной работе вуза.

В характеристике на студента 4 курса МИМЭСХ Н.Ф. Тельнова, проходившего производственную практику в Октябрьской МТС Тульской области, подписанной директором МТС и старшим механиком, отмечается: «... работая в должности помощника комбайнера на самоходном комбайне С-4, проявил большие организаторские способности и инженерно-технические навыки. В процессе работы применялись передовые и самые совершенные методы мастеров уборки включая почасовой график; дневная выработка доводилась до 25 га, при норме 9 га. Тов. Тельновым внесено рационализаторское предложение по реконструкции узла комбайна «С-4», которое позволит значительно снизить простои при уборке высокосоломистых хлебов. Работая в качестве помощника старшего механика МТС, Тельнов оказал помощь в составлении плана перехода к узловому методу ремонта. Тов. Тельнов систематически организовывал социалистическое соревнование в тракторной бригаде и проводил агитационную работу среди комбайнёров и трактористов».

Н.Ф. Тельнов окончил институт с отличием в 1952 г., когда ему было около тридцати. Учёный Совет вуза единодушно рекомендовал его в аспирантуру при кафедре «Ремонт машин». Обучаясь в аспирантуре, он проживал в комнате студенческого общежития площадью 8 м² с семьей из четырёх человек. Чтобы содержать семью, вынужден был совмещать учёбу в аспирантуре с работой на кафедре и, естественно, диссертацию писал в основном по ночам. После успешной защиты кандидатской диссертации Николай Фёдорович был оставлен для преподавательской работы на кафедре. Здесь он прошёл путь от ассистента до заведующего кафедрой, профессора.

В 60-е гг. параллельно с развитием сельскохозяйственного машиностроения происходило активное строительство специализированных предприятий по капитальному ремонту машин. В связи с этим назрела необходимость подготовки инженерных

кадров для специализированных ремонтных предприятий. Н.Ф. Тельнов был инициатором и возглавил комиссию по организации подготовки специалистов вышеуказанного профиля. В результате в 1964 г. был организован новый факультет – организации и технологии ремонта МТП, первым деканом которого стал Н.Ф. Тельнов.

Работая деканом, проректором по научной, затем по учебной работе, с присущими ему энергией организатора, талантом педагога, тактом, любовью к студенческому и трудовому коллективу института Н.Ф. Тельнов сумел решить ряд важных научных и методических вопросов. Несмотря на административную занятость, Николай Фёдорович неустанно работал над повышением своего научного и учебно-педагогического уровня как по специальным, так и по гуманитарным наукам. Так, он прослушал в МГУ курс лекций академика П.А. Ребиндера по физико-химической механике. Полученная теоретическая подготовка явилась основой для его фундаментальной монографии по технологии очитки сельскохозяйственной техники. В предисловии монографии академиком А.И. Селивановым отмечается: «В книге публикуется оригинальная методика получения современных моющих композиций и оценки свойств моющих растворов в процессе их потребления. На основе этой методики успешно разработаны новые эффективные моющие средства, рекомендованные для производства. Рассмотренные в книге способы интенсификации процессов удаления загрязнений (применение новых моющих средств, обеспечение необходимого теплового режима, применение вибрации, пульсации) разработаны так, что их можно использовать



Фото 2. Разработка учебного плана факультета организации и технологии ремонта МТП
(слева направо: С.С. Некрасов, Г.Г. Баловнев, К.А. Ачкасов, Н.Ф. Тельнов, А.Т. Довженков)

на сельскохозяйственных ремонтных предприятиях. Специалисты ремонтных предприятий получают своеобразную энциклопедию по очистке и мойке деталей машин, научное и практическое руководство по всей сложной проблеме» [4].

В мае 1973 г. Н.Ф. Тельнов защитил докторскую диссертацию. Результаты его исследований послужили основой для открытия в институте отраслевой лаборатории по исследованию, разработке и внедрению в ремонтно-обслуживающее сельскохозяйственное производство новых способов очистки, моющих средств и оборудования, которой он руководил в течение более 20 лет. За это время в лаборатории были разработаны и внедрены в производство моющие средства (МС-6, МС-8, МС-15, МС-17 и др.) [2], оригинальные моечные машины и установки (ОМ-9312М, ОМ-18458, ОМ-21613, ОМ-21614) [1], многие из которых широко используются в техническом сервисе АПК в настоящее время.

В своей педагогической работе Николай Фёдорович Тельнов большое внимание уделял не только формированию у студентов высокой профессиональной подготовки по преподаваемой дисциплине, но и воспитанию их нравственности. Он постоянно совершенствовал методику чтения лекций, каждую лекцию начиная с краткой беседы со студентами по интересующим их вопросам. Начиная с конца 1960-х гг., он занимался психолого-педагогическими основами воспитания студентов в процессе обучения, изучал соционику на семинаре Е.С. Филатовой. О том, насколько серьезно он относился к повышению своего профессионального мастерства, говорит дарственная надпись автора книги «Соционику для всех». На титульном листе книги написано: *«Дорогой Николай Фёдорович! Я была бы счастлива, если бы все мои ученики обладали таким же ясным, восприимчивым ко всему новому, умом, каким обладаете Вы. Здоровья Вам, успехов. Ваша Е.С. Филатова».*

Из 260 изданных и опубликованных работ Н.Ф. Тельнова более 20 посвящены проблеме воспитания и обучения в условиях высшего негуманитарного профиля, из них: «Теория и практика агроинженерного образования», 1957; «Обучая, воспитывать личность», 1998; «Философия психоанализа и воспитание личности», 1999, и др.

Н.Ф. Тельнов активно участвовал в разработке концепции МГАУ «Воспитание

студентов в процессе обучения», которая утверждена на заседании учёного совета 20 октября 2000 г. и базировалась на вышеупомянутых публикациях.

С большим вниманием и заботой Николай Фёдорович относился к студентам и аспирантам, не жалея сил и личного времени для общения с ними. «Ко мне приходите с любыми вопросами в любое время», – говорил он и всегда был готов помочь, не ограничивая их инициативы, самостоятельности, творчества. О качестве обучения и воспитания очень точно сказано в отзыве выпускников, опубликованном в Агроинженерной газете в июне 2000 г.: *«Методика проведения занятий на кафедре ремонта и надежности машин представляет большой интерес. Первое знакомство с ней наполнило гордостью наши сердца за высокий уровень подготовки инженерных кадров*

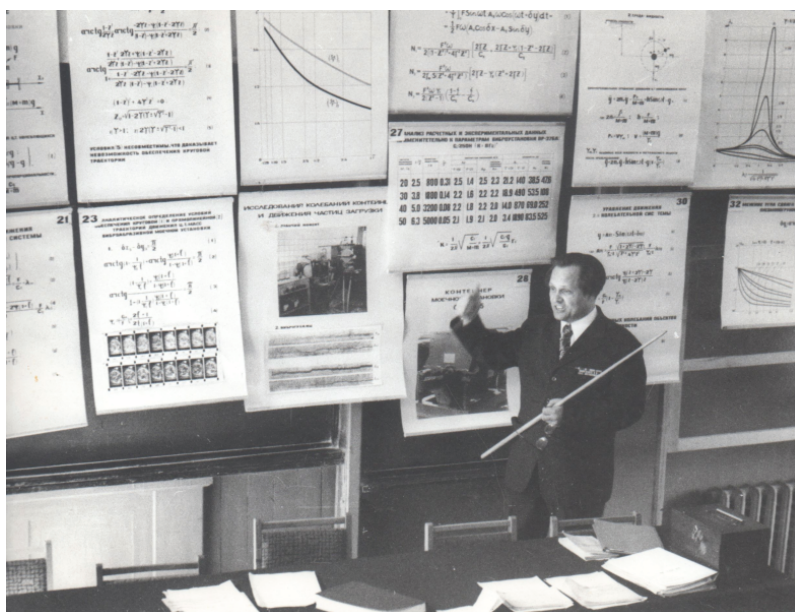


Фото 3. Н.Ф. Тельнов защищает докторскую диссертацию



Фото 4. Практическое занятие со студентами

выдающимися учёными-педагогами, которые работают на кафедре со дня её основания. В процессе изложения учебного материала лектор к тому же «разогревал» нас захватывающей информацией, в основном по теории и практике межличностных отношений. Это то, чего порой так не достаёт специалисту в общении с людьми. Получив дипломы инженеров АПК, мы благодарим судьбу за день и час, когда пять лет назад перешагнули порог Университета. Низко кланяемся своим учителям».

Под руководством Н.Ф. Тельнова подготовлено 36 кандидатов, 4 доктора технических наук, среди них – доктора технических наук А.М. Баусов, М.И. Черновал, Р. Едминский, кандидаты технических наук В.И. Савченко, Г.П. Дегтярев, Ю.И. Кириллов, Н.А. Очковский и др.

Научная и педагогическая деятельность Н.Ф. Тельнова заслуженно отмечена правительственными наградами, в том числе почётными званиями «Заслуженный изобретатель РСФСР» (1976 г.), «Заслуженный деятель науки и техники», орденом Трудового Красного Знамени, двумя медалями («За трудовую доблесть», «50 лет ВАС СССР») и др.

Николай Фёдорович Тельнов скончался 26 декабря 2005 г. В своей последней работе [5] в качестве



Фото 5. Секретарь Президиума Верховного Совета СССР М.П. Георгадзе вручает орден Трудового Красного Знамени профессору Н.Ф. Тельнову

эпиграфа он привёл высказывание Франка Милтнера и Вернера Сифеза: «Понимание самого себя и умение общаться с окружающими – залог жизненного успеха».

Н.Ф. Тельнов понимал себя, умел общаться и, по его любимому выражению, «держал планку высоко». Всю свою жизнь он самоотверженно трудился на благо Отечества.

Список использованных источников

1. 55 лет из 80 в стенах МИМЭСХ – МИИСП – МГАУ: Биографический очерк. М., 2003. 34 с.
2. Бородин И.Ф., Ерохин М.Н. и др. Учёный, педагог, воспитатель // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1993. № 9.
3. Егоров В., Савченко В. Путь от солдата до учёного // Механизатор. 1975. № 16 (467). 6 мая.
4. Тельнов Н.Ф. Технология очистки сельскохозяйственной техники. М., 1973. 296 с.
5. Тельнов Н.Ф. Формирование человеческих отношений. М., 2005.

Статья поступила 28.08.2023, принята к публикации 01.09.2023

References

1. Biographical sketch “55 years of a 80-year-life and work for MIMESKH – MIISP – MSAU”. Moscow, 2003, 34 p. (In Rus.)
2. Borodin I.F., Erokhin M.N. et al. Scientist, teacher, educator. Mechanisation and electrification of agriculture. 1993;9. (In Rus.)
3. Egorov V., Savchenko V. Way from a soldier to a scientist. Mechanizator. 1975;16 (467). (In Rus.)
4. Telnov N.F. Technology of cleaning of agricultural machinery. Moscow, 1973, 296 p. (In Rus.)
5. Telnov N.F. Development of human relations. Moscow, 2005. (In Rus.)

Received 28.08.2023; accepted 01.09.2023