

ISSN 2071-2243

DOI: 10.17238/issn2071-2243

ВЕСТНИК

**Воронежского государственного
аграрного университета**

Теоретический
и научно-практический
журнал

Том 13, 4(67) • 2020



ISSN 2071-2243
DOI: 10.17238/issn2071-2243

ВЕСТНИК

ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I

*Публикуются результаты фундаментальных и прикладных
исследований теоретико-методологических и практических
проблем в различных областях науки и практики
(прежде всего применительно к АПК),
предлагаются пути их решения*

Издаётся с 1998 года
Периодичность – 4 выпуска в год

**Том 13,
выпуск 4 (67)**

DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.4

ВОРОНЕЖ
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ
2020

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – проректор по научной работе
доктор экономических наук **Л.А. Запорожцева**

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА – проректор по учебной работе
доктор технических наук, профессор **Н.М. Дерканосова**

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор), рег. № ПИ № ФС77-73529 от 24 августа 2018 г.

Подписной индекс 45154 объединенного каталога газет и журналов «Пресса России»

В соответствии с распоряжением Минобрнауки России от 28 декабря 2018 г. № 90-р на основании рекомендаций Высшей аттестационной комиссии при Минобрнауки России с учётом заключений профильных экспертных советов ВАК Вестник включён в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (№ 281 по состоянию на 24.03.2020)

Вестник Воронежского государственного аграрного университета принимает к публикации статьи по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям науки:

- 05.20.01** – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (сельскохозяйственные науки);
- 05.20.01** – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки);
- 05.20.02** – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве (технические науки);
- 05.20.03** – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве (технические науки);
- 06.01.01** – Общее земледелие, растениеводство (сельскохозяйственные науки);
- 06.01.02** – Мелиорация, рекультивация и охрана земель (сельскохозяйственные науки);
- 06.01.04** – Агрохимия (сельскохозяйственные науки);
- 06.01.04** – Агрохимия (биологические науки);
- 06.01.06** – Луговое хозяйство и лекарственные эфирно-масличные культуры (сельскохозяйственные науки);
- 06.01.07** – Защита растений (сельскохозяйственные науки);
- 08.00.05** – Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности) (экономические науки);
- 08.00.10** – Финансы, денежное обращение и кредит (экономические науки);
- 08.00.12** – Бухгалтерский учёт, статистика (экономические науки);
- 08.00.13** – Математические и инструментальные методы экономики (экономические науки).

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Алдошин Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные машины» Института механики и энергетики имени В.П. Горячкина ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».

Ерохин Михаил Никитьевич, доктор технических наук, академик РАН, профессор, научный руководитель Института механики и энергетики имени В.П. Горячкина, профессор кафедры «Сопротивление материалов и детали машин» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».

Завражнов Анатолий Иванович, доктор технических наук, академик РАН, профессор, главный научный сотрудник, профессор кафедры «Технологические процессы и техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет».

Лачуга Юрий Федорович, доктор технических наук, профессор, академик РАН, Российская академия наук.

Оробинский Владимир Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные машины, тракторы и автомобили», декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Павлушин Андрей Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности», декан инженерного факультета ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина».

Тарабрин Алексей Евгеньевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель директора по научной работе Национальной научной сельскохозяйственной библиотеки Национальной академии аграрных наук Украины.

Тарасенко Александр Павлович, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, профессор кафедры «Сельскохозяйственные машины, тракторы и автомобили» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Шацкий Владимир Павлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Математика и физика» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Вашенко Татьяна Григорьевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры «Селекция, семеноводство и биотехнологии» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Григорьева Людмила Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор плодовоовощного института имени И.В. Мичурина ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет».

Девятова Татьяна Анатольевна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экология и земельные ресурсы» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет».

Дедов Анатолий Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры «Земледелие, растениеводство и защита растений» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Жужжалова Татьяна Петровна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий отделом биотехнологии и генетики ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова».

Илларионов Александр Иванович, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры «Земледелие, растениеводство и защита растений» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Князев Сергей Дмитриевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур».

Коржов Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры «Земледелие, растениеводство и защита растений» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Мязин Николай Георгиевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры «Агрохимия, почвоведение и агроэкология» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Ноздрачева Раиса Григорьевна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой «Плодоводство и овощеводство» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Федотов Василий Антонович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры «Земледелие, растениеводство и защита растений» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Щеглов Дмитрий Иванович, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Почвоведение и управление земельными ресурсами» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет».

Закшевский Василий Георгиевич, академик РАН, доктор экономических наук, профессор, почётный работник агропромышленного комплекса России, директор ФГБНУ «Научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса Центрально-Чернозёмного района Российской Федерации».

Курносков Андрей Павлович, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры «Информационное обеспечение и моделирование агроэкономических систем» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Ришар Жак, доктор экономических наук, профессор Университета Дофин, Франция, Париж, Почётный профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Родионова Ольга Анатольевна, доктор экономических наук, профессор, заместитель директора по научной работе ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт организации производства, труда и управления в сельском хозяйстве».

Ткаченко Валентина Григорьевна, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономическая теория и маркетинг» ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет», член-корреспондент Национальной академии аграрных наук Украины, академик Академии экономических наук Украины, академик Академии гуманитарных наук России, Заслуженный работник народного образования Украины, Почётный профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Улезько Андрей Валерьевич, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационное обеспечение и моделирование агроэкономических систем» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Чиркова Мария Борисовна, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Бухгалтерский учёт и аудит» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Яшина Марина Львовна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры «Финансы и кредит» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина».

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ – **Н.М. Грибанова**

Электронная версия и требования к статьям размещены на сайте <http://vestnik.vsau.ru>

Электронная версия журнала в формате XML/XML+PDF размещена на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ) <http://elibrary.ru>

Журнал включён в библиографическую базу данных научных публикаций российских учёных и Российский индекс научного цитирования статей (РИНЦ), Новый список RSCI на платформе Web of Science, а также базу данных Международной информационной системы по сельскому хозяйству и смежным с ним отраслям (AGRIS)

ISSN 2071-2243

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается

Учредитель: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ
Почтовый адрес: 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1
Тел.: +7(473) 253-81-68
E-mail: vestnik@srd.vsau.ru

© ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020

ISSN 2071-2243
DOI: 10.17238/issn2071-2243

VESTNIK

OF VORONEZH STATE AGRARIAN UNIVERSITY

THEORETICAL AND RESEARCH & PRACTICE JOURNAL
OF VORONEZH STATE AGRARIAN UNIVERSITY
NAMED AFTER EMPEROR PETER THE GREAT

*Results of fundamental and applied researches of conceptual, methodological
and experimental issues in different spheres of science and practice
(preferably related to the Agro-Industrial Complex),
ways of solution are published in the journal*

Published since 1998
Periodicity – 4 issues per year

**Volume 13,
Issue 4 (67)**

DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.4

VORONEZH
Voronezh SAU
2020

EDITOR-IN-CHIEF – Vice-Rector for Research,
Doctor of Economic Sciences **L.A. Zaporozhtseva**

DEPUTY CHIEF EDITOR – Vice-Rector for Academic Affairs,
Doctor of Engineering Sciences, Professor **N.M. Derkanosova**

The journal is registered by the Federal Service for Supervision
of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor),
the Mass Media Registration Certificate ПИ № ФС 77-73529 as of August 24, 2018

Subscription index of the United Catalogue of Periodicals 'Pressa Rossii' No. 45154

According to the Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 90-r as of December 28, 2018, pursuant to the Recommendations of the Higher Attestation Commission under the Ministry of Education and Science of Russia based on the findings of relevant expert councils, Vestnik is included in the List of Peer-Reviewed Scientific Periodicals recommended for publishing the major research results of dissertations for a candidate and doctorate degree under No. 281 as of March 24, 2020

**Vestnik of Voronezh State Agrarian University accepts articles
on the following scientific specialties and corresponding branches of study:**

- 05.20.01** – Technologies and Mechanical Means in Agriculture (Agricultural Sciences);
- 05.20.01** – Technologies and Mechanical Means in Agriculture (Engineering Sciences);
- 05.20.02** – Electrotechnologies and Electric Equipment in Agriculture (Engineering Sciences);
- 05.20.03** – Technologies and Means of Maintenance in Agriculture (Engineering Sciences);
- 06.01.01** – General Soil Management, Crop Science (Agricultural Sciences);
- 06.01.02** – Land Melioration, Recultivation and Land Conservation (Agricultural Sciences);
- 06.01.04** – Agricultural Chemistry (Agricultural Sciences);
- 06.01.04** – Agricultural Chemistry (Biological Sciences);
- 06.01.06** – Grassland Science and Medicinal Essential-Oil-Bearing Plants (Agricultural Sciences);
- 06.01.07** – Plant Protection (Agricultural Sciences);
- 08.00.05** – Economics and Management of the National Economy (by branches and fields of activity) (Economic Sciences);
- 08.00.10** – Finance, Monetary Circulation and Credit (Economic Sciences);
- 08.00.12** – Accounting, Statistics (Economic Sciences);
- 08.00.13** – Mathematical and Instrumental Methods in Economics (Economic Sciences).

EDITORIAL BOARD

Nikolay V. Aldoshin, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Head of the Department of Farm Machinery, Institute of Engineering and Energy named after V.P. Goryachkin, Russian Timiryazev State Agrarian Academy.

Mikhail N. Erokhin, Doctor of Engineering Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS), Full Professor, Academic Director of the Institute of Engineering and Energy named after V.P. Goryachkin, Professor at the Department of Strength of Materials and Machinery Parts, Russian Timiryazev State Agrarian Academy.

Anatoliy I. Zavrazhnov, Doctor of Engineering Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS), Full Professor, Chief Researcher, Professor at the Department of Technological Processes and Technosphere Safety, Michurinsk State Agrarian University.

Yuriy F. Lachuga, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS), Russian Academy of Sciences.

Vladimir I. Orobinskiy, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Head of the Department of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Dean of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Andrey A. Pavlushin, Doctor of Engineering Sciences, Docent, Professor at the Department of Agricultural Technologies, Machinery and Life Safety, Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin.

Aleksey E. Tarabrin, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Deputy Director for Research of the National Scientific Agricultural Library, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine.

Aleksandr P. Tarasenko, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Honoured Master of Sciences and Engineering of the Russian Federation, Professor at the Department of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Vladimir P. Shatsky, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Head of the Department of Mathematics and Physics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Tatiana G. Vashchenko, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Professor at the Department of Plant and Seed Selection Breeding and Biotechnologies, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Lyudmila V. Grigorieva, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Director of Fruit-and-Vegetable Institute named after I.V. Michurin, Michurinsk State Agrarian University.

Tatyana A. Devjatova, Doctor of Biological Sciences, Full Professor, Head of the Department of Ecology and Land Resources, Voronezh State University.

Anatoliy V. Dedov, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Professor at the Department of Soil Management, Crop Science and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Tatyana P. Zhuzhzhlova, Doctor of Biological Sciences, Full Professor, Chief Researcher, Head of the Department of Biotechnology and Genetics, A. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar.

Aleksandr I. Illarionov, Doctor of Biological Sciences, Full Professor, Professor at the Department of Soil Management, Crop Science and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Sergey D. Knyazev, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Director, All-Russian Research Institute of Horticultural Crops Selection Breeding.

Sergey I. Korzhov, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Professor at the Department of Soil Management, Crop Science and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Nikolay G. Myazin, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Professor at the Department of Agricultural Chemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Raisa G. Nozdracheva, Doctor of Agricultural Sciences, Docent, Head of the Department of Fruit and Vegetable Growing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Vasiliy A. Fedotov, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Professor at the Department of Soil Management, Crop Science and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Dmitriy I. Shcheglov, Doctor of Biological Sciences, Full Professor, Head of the Department of Soil Science and Land Resources Management, Voronezh State University.

Vasiliy G. Zakshevski, Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS), Honored Worker of Agro-Industrial Complex of Russia, Doctor of Economic Sciences, Full Professor, Director, Scientific-Research Institute of Economics and Organization of Agro-Industrial Complex of the Central Chernozem Region of the Russian Federation.

Andrey P. Kurnosov, Doctor of Economic Sciences, Full Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor at the Department of Information Support and Modeling of Economic Systems in Agriculture, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Richard Jacques, Doctor of Economic Sciences, Professor, Paris Dauphine University, France (Université Paris-Dauphine), Professor Emeritus of Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Olga A. Rodionova, Doctor of Economic Sciences, Full Professor, Deputy Director for Science, All-Russian Research Institute of the Organization of Production, Labor and Management in Agriculture.

Valentina G. Tkachenko, Doctor of Economic Sciences, Full Professor, Head of the Department of Economic Theory and Marketing, Lugansk National Agrarian University, Corresponding Member of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Academician of the Academy of Economics of Ukraine, Academician of the Russian Academy of Humanities, Honoured Worker of Education of Ukraine, Professor Emeritus of Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Andrey V. Ulez'ko, Doctor of Economic Sciences, Full Professor, Head of the Department of Information Support and Modeling of Economic Systems in Agriculture, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Mariya B. Chirkova, Doctor of Economic Sciences, Full Professor, Professor at the Department of Accounting and Auditing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great.

Marina L. Yashina, Doctor of Economic Sciences, Docent, Professor at the Department of Finance and Credit, Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin.

EXECUTIVE SECRETARY – **N.M. Gribanova**

Electronic version and requirements for publishing
scientific articles are available at <http://vestnik.vsau.ru>

Electronic version of the journal in XML/XML+PDF format
is available on the site of eLIBRARY.RU at <http://elibrary.ru>

The journal is included in the bibliographic database of Scientific Publications of Russian Authors and of the Information about Citing These Publications, i.e. Russian Science Citation Index (RINTS), in the New List of Russian Science Citation Index database (RSCI) on the Web of Science platform, as well as in the database of the International System for Agricultural Science and Technology (AGRIS)

ISSN 2071-2243

No fee is charged from postgraduate students for publications

Founder: Voronezh SAU

Address: 1 Michurin street, Voronezh, 394087, Russia
Tel. number: +7(473) 253-81-68
E-mail: vestnik@srd.vsau.ru

© Voronezh SAU, 2020

ВЕСТНИК

ВОРОНЕЖСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА



Основан в 1998 г.
Выходит 4 раза в год

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ PROCESSES AND MACHINES OF AGRI-ENGINEERING SYSTEMS

АГРОИНЖЕНЕРНОМУ ФАКУЛЬТЕТУ ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I – 90 ЛЕТ 90TH ANNIVERSARY OF THE FACULTY OF RURAL ENGINEERING OF VORONEZH STATE AGRARIAN UNIVERSITY NAMED AFTER EMPEROR PETER THE GREAT	13
Оробинский В.И., Гулевский В.А., Подорванов Д.А., Коржов С.И., Трофимова Т.А. ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ХЛЕБОСТОЯ НА ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА Orobinsky V.I., Gulevsky V.A., Podorvanov D.A., Korzhov S.I., Trofimova T.A. INFLUENCE OF THE HEIGHT OF STANDING CROP ON THE FRACTIONAL COMPOSITION OF THE GRAIN HEAP	16
Ревенко В.Ю., Фролов С.С. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ В МОЛОТИЛЬНЫХ АППАРАТАХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ Revenko V.Yu., Frolov S.S. INTENSIFICATION OF THE SEPARATION PROCESS IN THE THRESHING MECHANISM OF GRAIN HARVESTERS	22
Дьячков А.П., Козлов В.Г., Бровченко А.Д., Колесников Н.П., Бунина Я.В. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИХ РЕАЛИЗАЦИИ С ОПТИМАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ Dyachkov A.P., Kozlov V.G., Brovchenko A.D., Kolesnikov N.P., Bunina Ya.V. MODERN TECHNOLOGIES FOR GRAIN CROPS HARVESTING AND OPTIMAL PARAMETERS OF TECHNICAL MEANS FOR THEIR IMPLEMENTATION	33
Григорьев И.В., Афоничев Д.Н., Куницкая О.А., Просужих А.А., Рудов С.Е. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ОПЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН Grigoriev I.V., Afonichev D.N., Kunitskaya O.A., Prosuzhikh A.A., Rudov S.E. ADDITIONAL TECHNICAL OPTIONS TO BOOST SECURITY, RELIABILITY AND ENERGY EFFICIENCY OF AGRICULTURAL MACHINERY	44
Беляев А.Н., Оробинский В.И., Шацкий В.П., Тришина Т.В., Высоцкая И.А. ТРАЕКТОРИЯ ДВИЖЕНИЯ МАШИНО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ ВХОДЕ В ПОВОРОТ Belyaev A.N., Orobinsky V.I., Shatsky V.P., Trishina T.V., Vysotskaya I.A. TRAJECTORY OF THE MACHINE-TRACTOR UNIT AT THE BEGINNING OF TURNING	55
Ворохобин А.В. ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ КОЛЁСНОГО ТРАКТОРА КОРРЕКТИРОВАНИЕМ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НАГРУЗОК НА КОЛЁСА Vorokhobin A.V. IMPROVING THE STABILITY OF A WHEELED TRACTOR MOTION BY ADJUSTING VERTICAL LOADS ON THE WHEELS	63

Беляев А.Н., Тришина Т.В., Брюховецкий А.Н., Высоцкая И.А., Завражнов А.И. ОЦЕНКА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВОРОТА КОЛЁСНОЙ МАШИНЫ Belyaev A.N., Trishina T.V., Bryukhovetsky A.N., Vysotskaya I.A., Zavrazhnov A.I. KINEMATIC CHARACTERISTICS OF A WHEELED VEHICLE TURNING AND THEIR EVALUATION	73
Поливаев О.И., Афоничев Д.Н., Пиляев С.Н., Лощенко А.В., Черемисинов А.Ю. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ КРЕСЛА ОПЕРАТОРА ТРАКТОРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SimInTech Polivaev O.I., Afonichev D.N., Pilyaev S.N., Loshchenko A.V., Cheremisinov A.Yu. SIMULATION MODEL FOR VERTICAL VIBRATIONS OF TRACTOR DRIVER SEAT IN THE SimInTech SOFTWARE PACKAGE	79
Шацкий В.П., Гулевский В.А. О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОСВЕННО-ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА Shatsky V.P., Gulevsky V.A. CONCERNING WAYS FOR INCREASING EFFICIENCY OF INDIRECT EVAPORATIVE AIR COOLERS	88
Василенко В.В., Василенко С.В., Дерканосова Н.М., Тертычная Т.Н., Казаров К.Р. СОВРЕМЕННЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОТВАЛЬНОЙ ВСПАШКИ Vasilenko V.V., Vasilenko S.V., Derkanosova N.M., Tertychnaya T.N., Kazarov K.R. MODERN WAYS OF DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND TECHNICAL FACILITIES FOR MOLDBOARD PLOWING	96
Баскаков И.В., Оробинский В.И., Василенко В.В., Гиевский А.М., Чернышов А.В. РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОЗОННОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР Baskakov I.V., Orobinsky V.I., Vasilenko V.V., Gievsky A.M., Chernyshov A.V. RATIONAL OPERATION MODES FOR OZONE PRESOWING TREATMENT OF GRAIN CROP SEEDS	105
Ряднов А.И., Алмазов И.В., Федоров А.В. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСХОДА ТОПЛИВА ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ НА ПЕРЕВОЗКАХ РУЛОНОВ СЕНА Ryadnov A.I., Almazov I.V., Fedorov A.V. THE RESULTS OF STUDIES OF FUEL CONSUMPTION OF VEHICLES FOR HAY BALE TRANSPORTATION	115
Бурдыкин В.Д., Шередекин В.В., Остриков В.В., Сазонов С.Н. О ПРИЧИНАХ ОТКАЗА МНОГОСТРУЙНЫХ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ Burdykin V.D., Sheredekin V.V., Ostrikov V.V., Sazonov S.N. CONCERNING CAUSES OF FAILURE OF MULTIJET SPRAYERS	122
Пиляев С.Н., Афоничев Д.Н. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ Pilyaev S.N., Afonichev D.N. SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR REPLACEMENT CIRCUIT	129
Гуков П.О. РАСЧЁТ ЦЕПИ ФАЗА – НУЛЕВОЙ ПРОВОД СЕЛЬСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,38 кВ Gukov P.O. CALCULATION OF PHASE – NEUTRAL CONDUCTOR SUPPLY SYSTEM OF 0.38 kV RURAL ELECTRIC NETWORK	139
Афоничев Д.Н., Панов Р.М., Филонов С.А. ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА Afonichev D.N., Panov R.M., Filonov S.A. IMPROVING RELIABILITY OF DATA TRANSMISSION AT TORQUE READING	146
Поливаев О.И., Кузнецов А.Н., Терехов Д.Ю., Труфанов В.В. СРАВНЕНИЕ МОНОПОЛЬНОГО И ДИПОЛЬНОГО СПОСОБА ШУМОПОДАВЛЕНИЯ Polivaev O.I., Kuznetsov A.N., Terekhov D.Yu., Trufanov V.V. COMPARISON OF MONOPOLE AND DIPOLE NOISE REDUCTION METHODS	153

Лакомов И.В., Помогаев Ю.М., Извеков Е.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ СУШКЕ ЯБЛОК НА ЛЕНТОЧНОЙ СУШИЛКЕ Lakomov I.V., Pomogaev Yu.M., Izvekov E.A. RESEARCH OF THE PROCESS OF HEAT AND MASS TRANSFER DURING DRYING APPLES ON BELT DRIER.....	161
Белов А.А. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМА РАБОТЫ ЛАБОРАТОРНОЙ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ Belov A.A. SUBSTANTIATION OF PARAMETERS AND OPERATING MODE OF ELECTROHYDRAULIC LABORATORY SET FOR WATER DECONTAMINATION.....	167
Ворохобин А.В., Дерканосова Н.М., Рябов В.П., Талицких Е.В. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ КРИТЕРИЕВ ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «АГРОИНЖЕНЕРИЯ» Vorokhobin A.V., Derkanosova N.M., Ryabov V.P., Talitskikh E.V. METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE FORMATION OF CRITERIA FOR TRAINING STUDENTS IN THE AGROENGINEERING FIELD OF STUDY	174

АГРОНОМИЯ AGRICULTURAL SCIENCE

Бережнов Д.И., Гасанова Е.С., Стекольников К.Е. ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТОВ НА СОДЕРЖАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ФОСФОРА В ЧЕРНОЗЁМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО СТАЦИОНАРНОГО ОПЫТА Berezhynov D.I., Gasanova E.S., Stekolnikov K.E. EFFECT OF APPLICATION OF FERTILIZERS AND AMELIORANTS ON THE CONTENT OF VARIOUS FORMS OF PHOSPHORUS IN LEACHED CHERNOZEM UNDER CONDITIONS OF LONG-TERM STATIONARY EXPERIMENT	183
Дёмина О.Н., Еремин Д.И. ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПЕДОТРОФНОЙ МИКРОФЛОРЫ ПАХОТНОГО ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО Demina O.N., Eremin D.I. EFFECT OF APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS ON THE CHANGE IN THE NUMBER OF PEDOTROPHIC MICROFLORA OF LEACHED ARABLE CHERNOZEM.....	198
Белышкина М.Е., Шевченко В.А. ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК НА СИМБИОТИЧЕСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СОИ СЕВЕРНОГО ЭКОТИПА Belyshkina M.E., Shevchenko V.A. EFFECT OF TOPDRESSING ON THE SYMBIOTIC ACTIVITY AND PRODUCTIVITY OF SOYBEAN OF NORTHERN ECOTYPE.....	206
Дридигер В.К., Горшкова Н.А. ВЛИЯНИЕ СРОКОВ СЕВА И ГЕРБИЦИДОВ НА ЗАСОРЁННОСТЬ ПОДСОЛНЕЧНИКА, ВОЗДЕЛЫВАЕМОГО БЕЗ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ Dridiger V.K., Gorshkova N.A. EFFECT OF SOWING TERMS AND APPLICATION OF HERBICIDES ON WEED INFESTATION OF SUNFLOWER PLANTINGS CULTIVATED WITHOUT TILLAGE.....	212
Саинчук А.М., Стекольников К.Е. ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ НА ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЁМА ОБЫКНОВЕННОГО В УСЛОВИЯХ КАМЕННОЙ СТЕПИ Sainchuk A.M., Stekolnikov K.E. IMPACT OF ANTHROPOGENIC EVOLUTION ON POTENTIAL FERTILITY OF ORDINARY CHERNOZEM IN THE STONE STEPPE.....	220
Бутов А.В., Широбоков В.Г., Дедов А.В., Мандрова А.А. ПРОИЗВОДСТВО ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ СОВРЕМЕННЫХ ПРИЁМАХ ЗАЩИТЫ КАРТОФЕЛЯ Butov A.V., Shirobokov V.G., Dedov A.V., Mandrova A.A. CULTIVATION OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PRODUCTS WITH MODERN METHODS OF POTATO PROTECTION.....	228

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ ECONOMIC SCIENCES

Жукова М.А., Улезько А.В.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ЦИФРОВОЙ
ПЛАТФОРМЫ АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

Zhukova M.A., Ulez'ko A.V.

CONCEPTUAL APPROACH TO CREATING A DIGITAL PLATFORM
FOR THE AGRO-FOOD COMPLEX

238

Четвертаков И.М., Четвертакова В.П.

ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА

Chetvertakov I.M., Chetvertakova V.P.

PROBLEMS AND PATTERNS OF DEVELOPMENT OF HUMAN CAPITAL IN RUSSIA

251

Ляшко С.М., Медеяева З.П.

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ООО «ЭкоНиваАгро» КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА РЫНКЕ МОЛОКА

Lyashko S.M., Medelyaeva Z.P.

INNOVATIVE DEVELOPMENT OF ООО EkoNivaAgro AS A FACTOR OF INCREASING
ITS COMPETITIVENESS IN THE MILK MARKET

260

Сурков И.М.

РАЗВИТИЕ МОЛОЧНОГО СКОТОВОДСТВА В МАЛЫХ
ФОРМАХ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Ivan M. Surkov

DEVELOPMENT OF DAIRY CATTLE BREEDING IN SMALL-SCALE
ENTERPRISES OF VORONEZH OBLAST

268

Ефремов И.А., Иванова Е.В.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ САДОВОДСТВА В РОССИИ

Efremov I.A., Ivanova E.V.

DEVELOPMENT TRENDS IN HORTICULTURAL INDUSTRY IN RUSSIA

276

Денисова Е.В.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ
НА УРОВНЕ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Denisova E.V.

PROBLEMS OF LAND RESOURCE MANAGEMENT AT THE MUNICIPAL LEVEL

287

НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ SCIENTIFIC ACTIVITIES

УЧЕБНИКИ, МОНОГРАФИИ, УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ
УЧЁНЫМИ ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА В 2020 ГОДУ

PUBLISHING ACTIVITIES OF ACADEMIC STAFF OF VORONEZH
STATE AGRARIAN UNIVERSITY (MONOGRAPHS, TEXT-BOOKS,
STUDY GUIDES PUBLISHED IN 2020)

295

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ КАНДИДАТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
НАУК ДОЦЕНТА КАФЕДРЫ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ВОРОНЕЖСКОГО
ГОСАГРОУНИВЕРСИТЕТА НАДЕЖДЫ ИВАНОВНЫ ВАНДЫШЕВОЙ

100TH ANNIVERSARY OF NADEZHDA I. VANDYSHEVA,
CANDIDATE OF AGRICULTURAL SCIENCES, DOCENT
OF VORONEZH SAU PLANT PROTECTION DEPARTMENT

300

СОВЕТЫ ПО ЗАЩИТЕ ДОКТОРСКИХ И КАНДИДАТСКИХ ДИССЕРТАЦИЙ,
СОЗДАННЫЕ НА БАЗЕ ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I

DOCTORAL AND CANDIDATE SCIENCE-DEGREE COUNCILS
OF VORONEZH STATE AGRARIAN UNIVERSITY

305

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

INFORMATION FOR AUTHORS

306

АГРОИНЖЕНЕРНОМУ ФАКУЛЬТЕТУ ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I – 90 ЛЕТ

Агроинженерный факультет – один из старейших факультетов Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I. Он имеет богатейшую историю, традиции, которые передаются из поколения в поколение. За годы своего существования факультет подготовил большое количество высококвалифицированных специалистов, деятелей наук и учёных.

Факультет был создан в 1930 г. и за прошедшие 90 лет стал наиболее крупным в университете.

В развитие факультета значительный вклад внесли академик ВАСХНИЛ Н.П. Александров, профессора И.В. Архангельский, Ф.И. Гаврилов, В.А. Елисеев, Ф.С. Завалишин, Е.М. Харитончик, А.Н. Семенов, А.С. Куракин, Б.И. Огарков, И.В. Жиленков, заслуженные деятели науки и техники РФ профессора А.П. Тарасенко, В.П. Гребнев, В.С. Воищев, заслуженный работник высшей школы РФ О.И. Поливаев, почётный работник АПК России В.П. Шацкий, доценты А.И. Барковский, А.Я. Гуланс, С.Д. Полонецкий, Д.Ф. Маньков, М.Г. Мацнев, П.Д. Третьяков, С.Т. Павленко, почётный работник АПК России А.П. Дьячков.

Деканами факультета в разное время были Р.В. Лавров, С.П. Шепелев, Б.Л. Панфёров, А.А. Чапкевич, К.С. Корчагин, С.В. Ятченко, Ю.А. Вейс, Ф.М. Курушин, И.В. Архангельский, П.Н. Житков, П.Д. Третьяков, И.М. Шацман, А.И. Барковский, С.Д. Полонецкий, Б.И. Огарков, А.А. Котов, М.Н. Кухарев, И.А. Резниченко, В.В. Труфанов.

В настоящее время деканом факультета является доктор сельскохозяйственных наук, профессор В.И. Оробинский.

В 1991 г. Воронежский сельскохозяйственный институт (ВСХИ) был преобразован в Воронежский государственный аграрный университет (ВГАУ), а факультет механизации сельского хозяйства переименован в агроинженерный факультет.

Агроинженерный факультет ведёт подготовку по следующим направлениям и специальностям:

35.03.06 – Агроинженерия, направленности: Эксплуатация и ремонт машин и оборудования, Электрооборудование и электротехнологии;

23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, направленность: Автомобили и автомобильное хозяйство;

23.05.01 – Наземные транспортно-технологические средства, специализация – Автомобильная техника в транспортных технологиях;

35.04.06 – Агроинженерия (магистратура), направленности: Машины, оборудование и технологии в агропромышленном комплексе, Электротехнические комплексы и системы.

Значительным успехом преподавательского состава факультета можно считать освоение и реализацию программ подготовки магистров из числа наиболее успевающих студентов. Ежегодно большинство магистров поступают в аспирантуру и успешно её заканчивают. Более 30 человек, окончивших магистратуру, стали кандидатами и докторами наук.

В 90-е годы учебная база факультета расширилась за счёт использования регионального выставочного комплекса «Агробизнес Черноземья», где студенты и аспиранты знакомятся с новыми образцами сельскохозяйственной техники, а также новыми технологиями, устанавливают научные и производственные связи с предприятиями-изготовителями и с хозяйствами, использующими эту технику.

За свою 90-летнюю историю факультет подготовил свыше 18 000 высококвалифицированных инженеров-механиков сельского хозяйства. Из них 613 выпускников получили дипломы с отличием. Сфера деятельности выпускников агроинженерного факультета

очень обширна. Помимо инженерных должностей в сельскохозяйственных и промышленных предприятиях многие из них занимают ответственные посты на хозяйственной работе, в научных учреждениях, в административных органах, многие награждены орденами и медалями.

В настоящее время в состав факультета входят 5 кафедр, учебный парк машин, учебный полигон, учебные мастерские, лаборатория измерительных приборов, 6 компьютерных классов и научно-исследовательская лаборатория в выставочном комплексе. Численность штатных преподавателей – 68, докторов наук – 17, кандидатов наук – 42. На момент празднования 90-й годовщины факультета лидерами коллектива являются доктора наук: А.П. Тарасенко, В.В. Василенко, К.Р. Казаров, О.И. Поливаев, В.И. Оробинский, В.К. Астанин, А.М. Гиевский, В.С. Воищев., В.П. Шацкий, А.Н. Ларионов, В.Н. Колпачев, П.В. Москалев, В.А. Гулевский, Д.Н. Афонищев, А.Н. Беляев, Е.В. Пухов, В.Г. Козлов, И.В. Баскаков.

Аспирантура имеется при кафедрах сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, математики и физики, электротехники и автоматики, эксплуатации транспортных и технологических машин.

Опытный и хорошо сложившийся коллектив преподавателей обеспечивает высокий уровень учебно-методической и научно- исследовательской работы.

На факультете работает диссертационный совет, в котором защищено 24 докторских и более 220 кандидатских диссертаций. За последнюю пятилетку из сотрудников факультета защитили докторские диссертации: В.А. Гулевский, А.М. Гиевский, П.В. Москалев, В.Г. Козлов, А.Н. Беляев, И.В. Баскаков.

Сегодня перед факультетом стоят новые задачи. Это совершенствование учебной деятельности с учетом мировых новейших технологий и передового опыта других стран, создание инновационных предприятий, существенное улучшение научной деятельности и т. д. Агроинженерный факультет Воронежского ГАУ является лидером во многих отношениях среди инженерных факультетов аграрных вузов страны.

Научно-исследовательская работа осуществляется по теме «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства». Лучшие результаты достигнуты в разработке технологии послеуборочной обработки зерна фракционированием. Под руководством профессоров В.И. Оробинского и А.М. Гиевского разработаны универсальные машины для фракционирования зерна семейства ОЗФ, данные машины выпускаются серийно. Сепаратор СВС-30 проходит производственную проверку.

Внедрены технологии дистанционных образовательных технологий при реализации учебного процесса студентов очной и заочной форм обучения.

Разработан комбинированный способ поворота трактора со всеми управляемыми колесами, позволяющий повысить управляемость и устойчивость движения (руководитель – доктор технических наук, профессор А.Н. Беляев).

Основным направлением научной деятельности коллектива под руководством доктора технических наук, профессора В.П. Шацкого является построение и численная реализация новых физико-математических моделей инновационных направлений в технологических и производственных процессах в АПК. Математическое моделирование режимов работы рабочих органов, узлов и устройств сельскохозяйственных машин. Теоретические исследования качественных особенностей математических моделей. Перспективные направления исследований в физике.

Одним из основных направлений исследований является изучение возможностей водоиспарительного охлаждения для создания регламентируемых температурно-влажностных режимов в мобильных и стационарных сельскохозяйственных объектах. В процессе хозяйственных исследований с НПО «Сплав» (г. Тула) был создан промышленный образец водоиспарительного охладителя для животноводческих помещений.

На кафедре электротехники и автоматики усовершенствован датчик вибрации на основе печатной платы Freeduino и разработана прикладная программа на языке программиро-

вания C++ «Программа клиента датчика вибрации» для регистрации результатов измерений (Д.Н. Афоничев, И.И. Аксенов); выполнены исследования по совершенствованию ветро-электрических установок вертикально-осевого типа для использования в условиях Центрального Черноземья (Д.Н. Афоничев, С.Н. Пиляев, Р.М. Панов); разработаны рекомендации по применению электротехнологий и электрического освещения в теплицах (Д.Г. Козлов); обоснованы решения по защите электроприводов и повышению эффективности их работы в условиях сельскохозяйственного производства (Н.А. Мазуха, А.П. Мазуха); предложена информационная система управления электроустановками сельскохозяйственного производства на основе технологии Smart Grid (Д.Н. Афоничев, С.Н. Пиляев); разработаны рекомендации по модернизации систем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей на базе МЭК 61850 (Е.А. Извеков); усовершенствованы методики оценки режимов работы распределительных электрических сетей (П.О. Гуков, В.В. Картавец, В.А. Черников); предложен комплекс рекомендаций по повышению эксплуатационной надёжности элементов распределительных сетей сельскохозяйственных предприятий Тербунского района при резервировании систем электроснабжения с учётом восстановления (Ю.М. Помогаев, И.В. Лакомов); проведены исследования по поиску рациональных конструкций и режимов работы асинхронных электродвигателей (С.А. Филонов, Н.В. Прибылова, М.Ю. Еремин).

Под руководством Е.В. Пухова сформирована научная школа «Разработка интеллектуальных производственных технологий при эксплуатации, ремонте и утилизации машин и оборудования в агропромышленном комплексе».

Выигран на конкурсной основе грант от Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) на тему «Разработка интеллектуальной системы управления сельскохозяйственным производством и программно-аппаратного комплекса для высокопроизводительных расчётов по прогнозированию потребности и потреблению ресурсов в онлайн режиме (на примере выполнения уборочно-транспортных процессов в сельском хозяйстве)» (Е.В. Пухов, С.С. Мешкова).

Под руководством доцентов А.П. Дьячкова и А.Д. Бровченко продолжается работа по совершенствованию процессов транспортно-сборочных (распределительных) операций с оптимизацией параметров машин, участвовавших в их выполнении. Результаты исследований используются в работе ООО «ЭКО-НИВА-ТЕХНИКА».

В различных формах научно-исследовательской работы на факультете принимает участие более половины студентов, в основном старшекурсники и обучающиеся по программе магистров. Помимо общеуниверситетских научных студенческих конференций на кафедрах практикуются тематические научные конференции, ежегодные аттестации магистров и аспирантов, которые проходят интересно и эффективно.

Коллектив факультета оказывает большую помощь производству: готовит на коммерческой основе водителей автомобилей, повышает квалификацию руководителей и специалистов нефтебаз, складов горюче-смазочных материалов, инженеров по охране труда, консультирует практиков при внедрении новых технологий и средств механизации на полях и фермах. Учёные факультета выезжают на районные и областные семинары для специалистов сельского хозяйства с пропагандой научно-технических знаний, в том числе с образцами своих экспериментальных машин и орудий. За последние годы особенно участились приглашения изобретателей для непосредственного запуска в производство разработанных ими технических средств и технологий (плуги с нетрадиционной схемой и др.).

Существенную помощь сельскому хозяйству факультет оказывает силами студентов-практикантов, аспирантов, обслуживающего персонала, направляя их для непосредственной работы на тракторах, комбайнах и в специализированных отрядах по уборке зерновых культур на высокопроизводительных импортных машинах. Только на производственной практике ежегодно работают механизаторами и механиками 150–200 студентов третьего и четвертого курсов.

Опытный, сложившийся коллектив преподавателей факультета обеспечивает высокий уровень учебно-методической и научно-исследовательской работы.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ХЛЕБОСТОЯ НА ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА

**Владимир Иванович Оробинский
Вячеслав Анатольевич Гулевский
Даниил Алексеевич Подорванов
Сергей Иванович Коржов
Татьяна Александровна Трофимова**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Качество и сроки проведения уборки зерновых в значительной степени определяют не только объём собранного урожая, но и его продовольственные и посевные показатели. Затянутые сроки уборки приводят к биологическим потерям за счёт самоосыпания наиболее крупного и спелого зерна. Одним из путей увеличения производительности зерноуборочных комбайнов является снижение загрузки молотилки незерновой частью вороха за счёт перехода на повышенный срез стебля. С одной стороны, это может привести к увеличению потерь колосьев нижних горизонтов, но с другой – позволит оптимизировать сроки уборки и не допустить потери наиболее спелых и крупных колосьев верхних горизонтов. На опытных полях Воронежского ГАУ в 2018–2019 гг. анализировались изменения фракционного состава и массы зерна озимой пшеницы в колосе в зависимости от горизонта его расположения. Исследования показали, что в нижних горизонтах (до 0,5 м) наибольшую долю составляет зерно размером 2,2–2,4 мм, в горизонте 0,5–0,6 м – 2,4–2,6 мм, 0,6–0,7 м – 2,6–2,8 мм, а в горизонтах выше 0,7 м – 2,8–3,0 мм. С увеличением высоты расположения колоса масса одной зерновки фракций 1,6; 1,8; 2,0; 2,2 и 2,4 мм убывает до высоты 0,6 м, но у колосьев, расположенных на высоте более 0,6 м, масса зерна фракции 2,0 мм практически не меняется, а масса зерна фракций 2,2 и 2,4 мм возрастает. Масса зерновки фракции 2,6 мм с увеличением высоты расположения колоса почти не меняется, а масса зерновки фракций 2,8; 3,0; 3,2 и 3,4 мм увеличивается. Результаты проведённых исследований показывают, что при увеличении высоты среза до 0,4–0,5 м потери будут незначительными, так как зерновки колосьев нижних горизонтов имеют самую низкую продовольственную и семенную ценность.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: зерновой ворох, высота среза, масса зерновки, урожайность, фракционный состав.

INFLUENCE OF THE HEIGHT OF STANDING CROP ON THE FRACTIONAL COMPOSITION OF THE GRAIN HEAP

**Vladimir I. Orobinsky
Vyacheslav A. Gulevsky
Daniil A. Podorvanov
Sergey I. Korzhov
Tatiana A. Trofimova**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The quality and timing of grain harvesting largely determine both the volume of the harvested crop and its food and sowing indicators. Prolonged harvesting periods lead to biological losses due to seed cast, particularly of the largest and ripest grain. One of the ways to increase the productivity of combine harvesters is to reduce the loading of the thresher with tailings of the heap by cutting stems at the height higher than in common use. On the one hand, this can lead to an increase in the loss of ears of the lower horizons, but on the other hand, it will optimize the harvesting time and prevent the loss of the most ripe and large ears of the upper horizons. Experimental part of the study was performed in 2018–2019 in field trials of the Department of Crop Science, Forage Production and Agricultural Technologies of Voronezh State Agrarian University. The authors analyzed changes in the fractional composition and weight of winter wheat grain in the ear depending on the horizon of its location. Studies have shown that in the lower horizons (up to 0.5 m), the largest share is made up of grain with a size of 2.2–2.4 mm, in the horizon of 0.5–0.6 m the grain with a size of 2.4–2.6 mm, in the horizon of 0.6–0.7 m the grain with a size of 2.6–2.8 mm, and in the horizons above 0.7 m the grain with a size of 2.8–3.0 mm. With an increase in the height of the ear location, the mass of one grain of fractions of 1.6; 1.8; 2.0; 2.2 and 2.4 mm decreases to a height of 0.6 m, but in those ears located at a height of more than 0.6 m, the mass of grain of 2.0 mm fraction practically does not change, and the grain mass of fractions of 2.2 and 2.4 mm increases. The mass of grain fraction of 2.6 mm with an increase in height of the ear location almost does not change, and the mass of grain fractions of 2.8; 3.0; 3.2 and 3.4 mm increases. The results of the conducted studies show that with an increase in the height of the cutting up to 0.4–0.5 m, the losses will be insignificant, since the grains of the ears of the lower horizons have the lowest food and seed value.

KEYWORDS: grain heap, height of cutting, grain mass, yield, fractional composition.

Уборка является одной из наиболее ответственных операций производства продукции растениеводства. От качества её проведения зависит фактическая величина убранного урожая. Сокращение парка уборочных машин и снижение их производительности приводят к растягиванию сроков уборки и, следовательно, к увеличению биологических потерь. Одним из путей увеличения производительности комбайнов является переход на повышенный срез, но в этом случае возрастают потери по несрезанным колосьям, так как их часть окажется ниже линии среза. Однако при уборке на низком срезе увеличивается загрузка молотилки незерновой частью вороха [15, 16, 19], снижается производительность комбайнов и возрастает продолжительность уборки тем же количеством уборочной техники, что ведёт к увеличению биологических потерь зерна за счёт самоосыпания [17, 20]. В потери от перестоя хлебов попадает наиболее крупное спелое зерно, расположенное в верхних горизонтах хлебостоя, в то время как сохраняются колосья нижних горизонтов, чаще всего это подгонные растения с низкой массой и щуплым зерном, которое плохо вымолачивается и составляет отходовую фракцию. Для определения оптимальной величины высоты среза необходимо изучить характер качественного распределения зерна по высоте хлебостоя. Такие исследования проводили на озимой пшенице сорта Алая заря на полях Воронежского государственного аграрного университета [2, 5, 8, 18].

Частью этих исследований являлось изучение качественного распределения зерна по высоте хлебостоя. Анализировались изменения фракционного состава и массы зерна в колосе в зависимости от горизонта его расположения [3, 4, 6].

Изменение массы колоса и зерна в нём анализировали по высоте хлебостоя. С трёх различных участков поля площадью 1 м² каждый производили срез растения озимой пшеницы на высоте не более 3 см от уровня почвы. Эти растения разделяли на отрезки длиной 10 см. Подсчитывали количество колосьев в разных горизонтах, взвешивали, обмолачивали, определяли массу зерна в каждом горизонте, среднюю массу одного колоса и зерна в нём. Данные опыта представлены в таблице.

Исследования фракционного состава проводили с помощью универсального рассева У1-ЕРЛ-2. Пробы отбирали из ранее полученного зерна по 1000 шт. из каждого горизонта в 3-кратной повторности.

Зерно разделяли по толщине на перфорированных решётах с прямоугольными ячейками с шириной отверстий 3,4; 3,2; 3,0; 2,8; 2,6; 2,4; 2,2; 2,0; 1,8; 1,6 мм. Результаты исследований объединили для большей наглядности в 5 групп: 1,6–1,8; 2,0–2,2; 2,4–2,6; 2,8–3,0; 3,2–3,4 мм. Полученные данные графически представлены на рисунке 1.

Изменение массы колосьев и зерна в них в зависимости от длины растений

Горизонт, м	Средняя масса колоса, г	Средняя масса зерна в колосе, г	Масса зерна в горизонте	
			кг/м ²	%
0,2–0,3	0,25	0,15	0,0004	0,087
0,3–0,4	0,35	0,16	0,0023	0,501
0,4–0,5	0,41	0,24	0,0133	2,895
0,5–0,6	0,68	0,50	0,0223	4,854
0,6–0,7	1,09	0,82	0,0838	18,241
0,7–0,8	1,47	1,21	0,1590	34,610
0,8–0,9	1,62	1,45	0,1387	30,192
0,9–1,0	1,92	1,58	0,0396	8,620

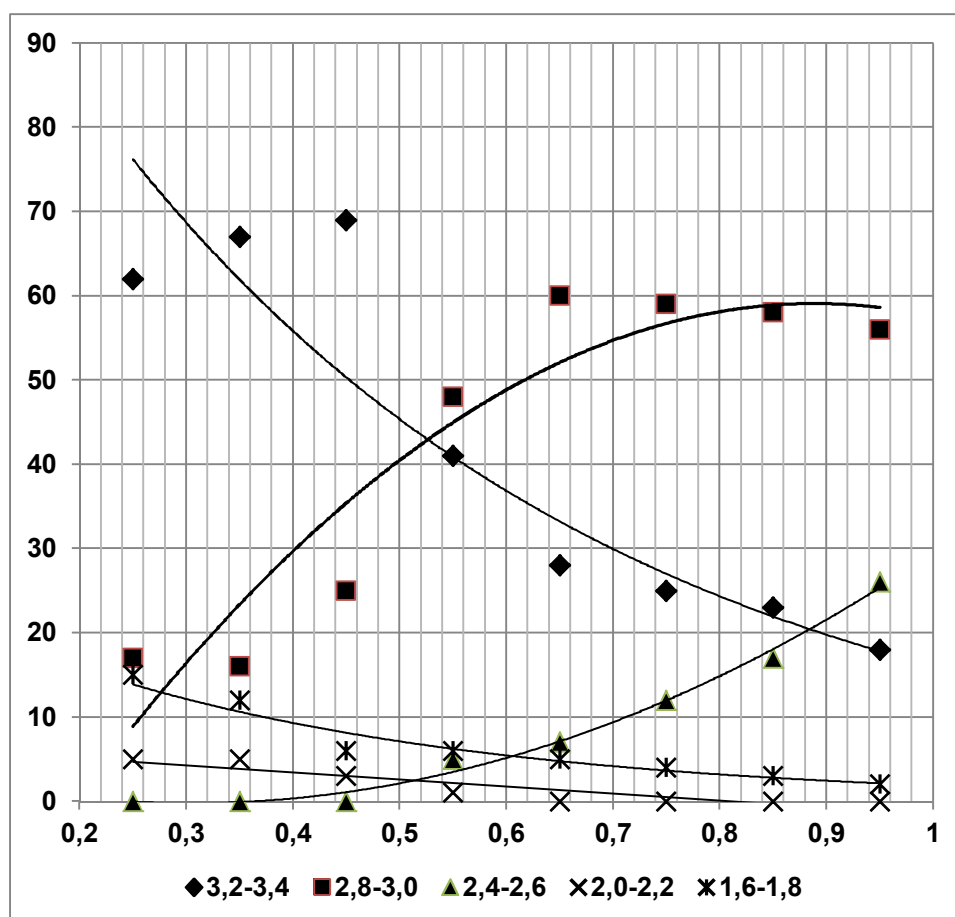


Рис. 1. Распределение фракционного состава по высоте среза

Как видно из таблицы, масса колоса и зерна в нём с повышением уровня расположения возрастает. Если в горизонте 0,2–0,3 м масса колоса составляла 0,25 г, то в горизонте 0,9–1,0 м она увеличилась до 1,92 г, или в 7,68 раза. Почти то же самое наблюдается и с изменением массы зерна в колосе: она увеличилась до 1,58 г, или в 10,53 раза. Следовательно, масса зерна в колосе увеличивается быстрее, чем общая масса колоса. Из анализа данных распределения массы зерна по горизонтам видно, что больше всего зерна находится в горизонтах 0,6–0,9 м (около 83%), а в горизонтах до 0,5 м – всего 3% зерна.

От высоты расположения среза колоса зависят как масса зерна в колосе, так и его качество [1, 7, 11, 12].

По мере увеличения высоты расположения колоса средний размер зерна и доля его в общей массе изменяются. В нижних горизонтах (до 0,5 м) наибольшую долю составляет зерно размером 2,2–2,4 мм (38,02–43,82%), в горизонте 0,5–0,6 м – размером 2,4–2,6 мм (33,59%), в горизонте 0,6–0,7 м – размером 2,6–2,8 мм (33,37%), а в горизонтах выше 0,7 м – 2,8–3,0 мм (от 33,14 до 62,57%).

Как видно на рисунке 1, при увеличении высоты расположения колоса содержание зерна фракций 2,8–3,4 мм увеличивается, а фракций 1,6–2,6 мм уменьшается. В горизонтах 0,2–0,5 м наибольшую долю составляют фракции 2,4–2,6 и 2,8–3,0 мм, небольшую долю – фракции 1,6–2,2 мм, а фракции 3,2–3,4 мм здесь практически отсутствуют. В горизонтах 0,5–1,0 м преобладающими становятся фракции 2,8–3,0 мм, содержание фракций 2,0–2,6 мм снижается, зерно фракций 1,6–1,8 мм практически не встречается, а содержание фракций 3,2–3,4 мм заметно увеличивается.

При изменении высоты расположения колоса изменяется масса зерновки пшеницы [9, 10, 13, 14]. Характер этого изменения зависит от линейных размеров зерна (рис. 2). С увеличением высоты расположения колоса масса 1 зерна фракций 1,6 и 1,8 мм убывает; фракций 2,0, 2,2 и 2,4 мм убывает до высоты более 0,6 м, масса зерна фракции 2,0 мм практически не меняется, а фракций 2,2 и 2,4 мм возрастает. Масса зерновки фракции 2,6 мм с увеличением высоты расположения колоса почти не меняется, а фракций 2,8; 3,0; 3,2; 3,4 мм увеличивается.

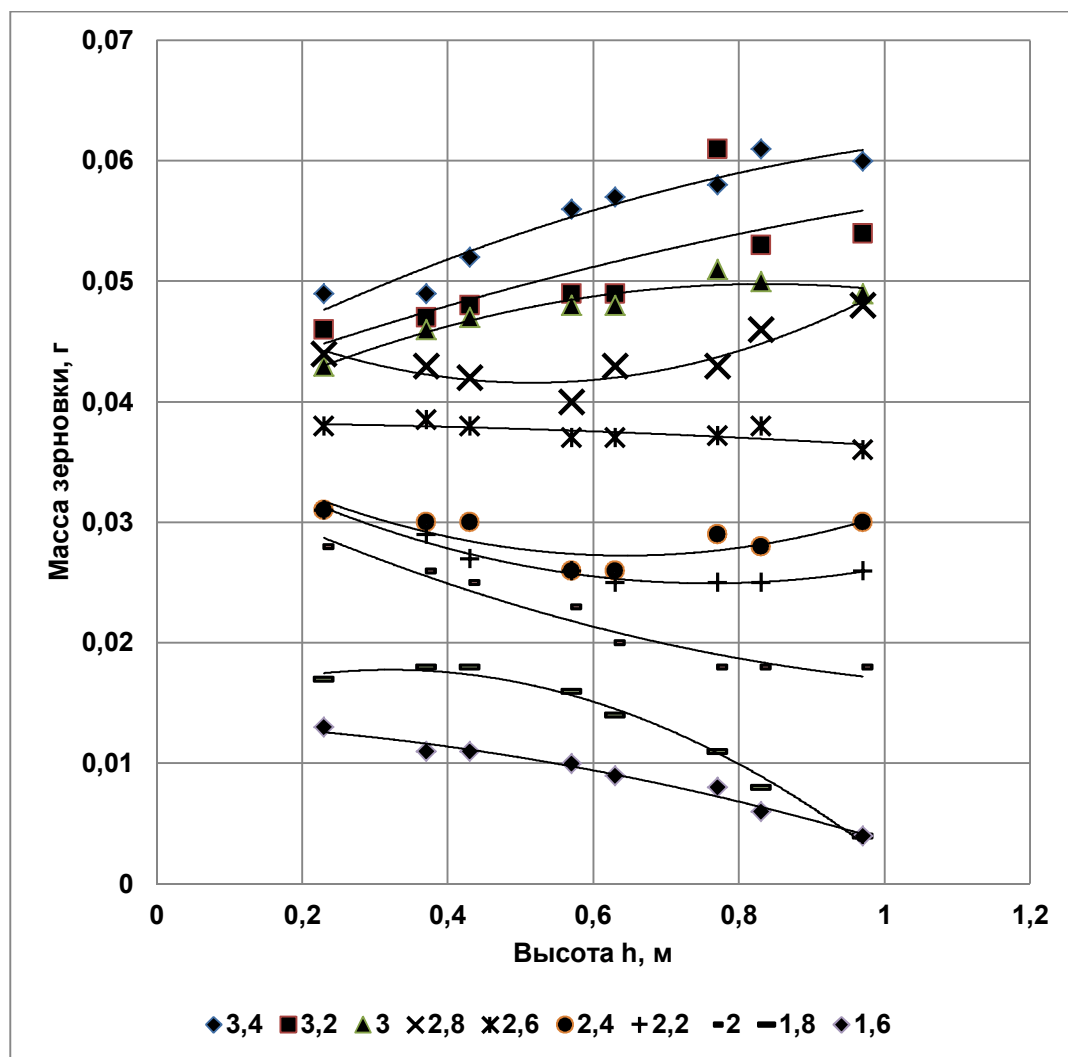


Рис. 2. Изменение массы зерновок различных фракций по горизонтам

Таким образом, исходя из данных, полученных в ходе проведенных исследований, можно сделать следующие выводы.

1. Подача зернового вороха в молотилку комбайна с низким содержанием незерновой части способствует повышению пропускной способности, улучшению сепарации его на решетках очистки, снижению уровня травмирования и потерь зерна.

2. Так как в нижних горизонтах находятся колосья небольшой массы, в которых зерно преимущественно мелкое, то при увеличении высоты среза до 0,4–0,5 м возникающие потери не будут представлять большой продовольственной и семенной ценности.

3. В связи с тем, что содержание зерна ниже линии среза составляет 0,588–3%, выигрыш от повышения производительности при увеличении высоты среза и, следовательно, сокращение срока уборки может компенсировать эту величину за счёт сокращения биологических потерь [17, 20].

Библиографический список

1. Галкин А.Д. Методы и средства повышения эффективности послеуборочной обработки зерна и семян : рекомендации для хозяйств Среднеуральского региона / А.Д. Галкин, В.Д. Галкин, А.М. Гузаиров. – Пермь : Перм. гос. с.-х. акад., 2001. – 84 с.
2. Гиевский А.М. Исследование работы диаметрального вентилятора в пневмосистемах машин серии ОЗФ / А.М. Гиевский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 6. – С. 35–36.
3. Гиевский А.М. Качественные показатели работы двухаспирационной пневмосистемы зерноочистительной машины с одним воздушным потоком / А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, И.В. Баскаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 9. – С. 15–16.
4. Гиевский А.М. Обоснование параметров двухаспирационной пневмосистемы с последовательным обслуживанием одним воздушным потоком / А.М. Гиевский // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1 (36). – С. 90–97.
5. Гиевский А.М. Обоснование параметров наклонного пневмосепарирующего канала первой аспирации машин серии ОЗФ / А.М. Гиевский, А.И. Королев // Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте : сб. науч. тр. – Вып. 3. – Воронеж : Воронежская государственная лесотехническая академия, 2008. – С. 91–98.
6. Гиевский А.М. Пневмосистема зерноочистительной машины с одним воздушным потоком / А.М. Гиевский // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – № 4. – С. 2–4.
7. Гиевский А.М. Пути повышения производительности универсальных зерноочистительных машин / А.М. Гиевский, В.А. Гулевский, В.И. Оробинский // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2018. – № 3 (85). – С. 12–16.
8. Гиевский А.М. Повышение эффективности работы канала послерешетной очистки / А.М. Гиевский, А.А. Никульников // Инновационные технологии и технические средства для АПК : материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (Россия, г. Воронеж, 26–27 ноября 2015 г.). – Ч. 3. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2015. – С. 272–279.
9. Гиевский А.М. Совершенствование пневмосепарирования зерна машинами серии ОЗФ / А.М. Гиевский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 10. – С. 5.
10. Гиевский А.М. Снижение энергозатрат на работу двухаспирационной пневмосистемы / А.М. Гиевский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2016. – № 1. – С. 2–4.
11. Ермолов Ю.И. Фракционные технологии семенной очистки зерна / Ю.И. Ермолов, М.В. Шелков, М.Н. Московский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 6. – С. 23–25.
12. Зюлин А.Н. Теоретические проблемы развития технологий сепарирования зерна / А.Н. Зюлин. – Москва : ВИМ, 1992. – 207 с.

13. Косилов Н.И. Технологические возможности модернизации и создания перспективных поточных линий для послеуборочной обработки зерна / Н.И. Косилов, В.В. Пивень // Вестник Челябинского агроинженерного университета. – Челябинск : Изд-во ЧГАУ, 2000. – Т. 31. – С. 28–31.
14. Лебедев В.Б. Промышленная обработка и хранение семян : учебник / В.Б. Лебедев. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 253 с.
15. Оробинский В.И. Влияние режимов работы очистки комбайна на потери и травмирование зерна при уборке / В.И. Оробинский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 2. – С. 6–7.
16. Оробинский В.И. Снижение травмирования зерна при уборке : монография / В.И. Оробинский, И.В. Баскаков, А.В. Чернышов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – 161 с.
17. Оробинский В.И. Совершенствование технологии послеуборочной обработки семян фракционированием и технических средств для ее реализации : дис. ... д-ра с.-х. наук : 05.20.01 / В.И. Оробинский. – Воронеж, 2007. – 334 с.
18. Повышение эффективности работы двухаспирационной пневмосистемы универсальной воздушно-решетной зерноочистительной машины / А.М. Гиевский, А.П. Тарасенко, В.И. Оробинский, А.В. Чернышов // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 5. – С. 32–34.
19. Тарасенко А.П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке / А.П. Тарасенко. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2003. – 332 с.
20. Тарасенко А.П. Совершенствование технологии послеуборочной обработки зерна / А.П. Тарасенко, М.Э. Мерчалова, И.В. Баскаков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2009. – № 3 (22). – С. 22–25.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Владимир Иванович Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Вячеслав Анатольевич Гулевский – доктор технических наук, профессор кафедры математики и физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: gulevsky_va@inbox.ru.

Даниил Алексеевич Подорванов, обучающийся, агроинженерный факультет ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Сергей Иванович Коржов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: plant@agronomy.vsau.ru.

Татьяна Александровна Трофимова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: plant@agronomy.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 31.10.2020

Дата принятия к печати 15.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Vladimir I. Orobinsky, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Dean of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Vyacheslav A. Gulevsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Mathematics and Physics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: gulevsky_va@inbox.ru.

Daniil A. Podorvanov, Student, the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Sergey I. Korzhov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Soil Management, Crop Science and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: plant@agronomy.vsau.ru.

Tatiana A. Trofimova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Soil Management, Crop Science and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: plant@agronomy.vsau.ru.

Received October 31, 2020

Accepted after revision December 12, 2020

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ В МОЛОТИЛЬНЫХ АППАРАТАХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

**Валерий Юрьевич Ревенко
Сергей Сергеевич Фролов**

Армавирская опытная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный научный
центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных
культур имени В.С. Пустовойта»

От работы молотильно-сепарирующего устройства (МСУ) зерноуборочного комбайна зависят стабильность и скорость протекания уборочного процесса, его энергоёмкость, показатели качества получаемого зерна. Существуют различные направления совершенствования конструкции молотильных аппаратов, основанные на глубоком изучении процессов, происходящих в молотильном зазоре. Одно из таких направлений – создание в МСУ ориентированных воздушных потоков, повышающих интенсивность прохождения вымолачиваемого материала через подбарабанье. Исследования, проведённые на Армавирской опытной станции, включали в себя следующие этапы: разработку конструкции и изготовление макетных образцов модернизированных МСУ; оценку их эффективности в лабораторных условиях на специальном стенде; анализ показателей качества и энергоёмкости уборочного процесса в схеме молотилки зерноуборочного комбайна. Выявлено, что при практически равных уровнях повреждаемости у серийного варианта в зоне надставки деки вымолачивается 50,3% от массы всего обмолаченного зерна, в то время как в модернизированном – 60,1%. Данный эффект обусловлен наличием направленных воздушных потоков, проходящих сквозь подбарабанье со скоростью до 23 м/с. Полевые испытания показали, что при допустимом уровне потерь максимальная пропускная способность хлебной массы у серийного комбайна СК-5М1 составила 5,8 кг/с, а у модернизированного – 6,5 кг/с. При одинаковых регулировках и пропускной способности (7,2 кг/с) потери зерна у серийной машины составили 4,1%, у экспериментальной – 2,0%. Таким образом, внесённые изменения в конструкцию МСУ способствовали повышению эффективности процесса сепарации и росту производительности уборочного агрегата. Предлагаемый способ аэродинамического воздействия на обмолачиваемый материал может быть адаптирован к подавляющему большинству применяемых в настоящее время МСУ и создаёт определённые предпосылки для нового направления совершенствования компоновочных схем молотильных аппаратов зерноуборочных комбайнов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: молотильный барабан, воздушный поток, сепарация, дробление, расход топлива, зерноуборочный комбайн.

INTENSIFICATION OF THE SEPARATION PROCESS IN THE THRESHING MECHANISM OF GRAIN HARVESTERS

**Valery Yu. Revenko
Sergey S. Frolov**

Armavir Experimental Station – Branch of V.S. Pustovoi All-Russian
Research Institute of Oil Crops

The stability and speed of the harvesting process, its energy consumption, as well as quality indicators of the separated grain depend on the operation of the threshing and separating device (TSD) of the combine harvester. There are various directions for improving the design of threshing machines based on a deep study of the processes occurring in the threshing gap. One of these directions is the creation of oriented air flows in the TSD, which increase the intensity of the passing of the threshed grain material through the concave clearance. The studies were carried out at the Armavir Experimental Station and included the following stages: development of the design, manufacturing of brassboard models of modernized TSD, assessment of their effectiveness in laboratory conditions on a special stand, analysis of the quality and energy consumption indicators of the harvesting process in the framescheme of the thresher of a

combine harvester. It was found that on an equal footing of damage, 50.3% of the mass of the whole threshed grain is separated in the serial version in the concave clearance area, whereas 60.1% is separated in the modernized version. This effect is due to the presence of the directional air flows passing through the concave clearance at a speed of 23 m/s. Field tests have shown that at the permissible level of losses, the maximum throughput of grain mass in the CK-5M1 serial combine was 5.8 kg/s, and in the modernized version was 6.5 kg/s. With the same adjustments and a throughput of 7.2 kg/s, the grain loss in a serial combine harvester was 4.1%, in an experimental version was 2.0%. Thus, due to modified alterations of the TSD it became possible to improve the efficiency of the separation process and to increase performance indicators of the harvesting unit. The proposed method of aerodynamic impact on the threshing material can be adapted to the vast majority of currently used TSD and creates certain prerequisites for a new direction in improving the design layout of threshing devices of grain harvesters.

KEYWORDS: threshing rotor, air flow, separation, damages, fuel consumption, combine harvester.

Введение
Создание новых высокопроизводительных машин, способных адаптироваться к уборке широкого спектра сельскохозяйственных культур, является одним из основных направлений совершенствования уборочных агрегатов. При этом должны учитываться разнообразные агробиологические и ботанические особенности растений, как и при выведении новых сортов, в том числе их пригодность к машинной уборке.

Перспективы дальнейшего использования уборочных машин в современном высокотехнологичном сельскохозяйственном производстве неразрывно связаны с повышением показателей производительности, минимизацией потерь за комбайном, снижением удельной энергоёмкости уборочного процесса и травмируемости зернового материала. Многие из указанных параметров напрямую зависят от конструктивных особенностей молотильного аппарата или молотильно-сепарирующего устройства (МСУ). В зерноуборочных комбайнах МСУ обеспечивают сепарацию зерна на 85–90%. Остальная его часть вместе с соломой подаётся на обработку в сепаратор грубого вороха [9]. Но именно от работы МСУ зависят стабильность протекания уборочного процесса, его энергоёмкость, показатели качества получаемого зернового материала, а также производительность зерноуборочной машины.

Принцип обмолота зерна как в первых прицепных уборочных машинах, так и в современных зерноуборочных комбайнах основан на ударном воздействии бичом барабана молотильного аппарата по колосу и на «перетирании» слоя хлебной массы в молотильных зазорах [4]. Многолетнее совершенствование МСУ с целью увеличения пропускной способности комбайна сводилось к наращиванию площади обмолота и сепарации за счёт увеличения угла обхвата и диаметра барабана, ширины молотилки, количества молотильных и сепарирующих барабанов [15]. Дальнейший рост пропускной способности молотильных аппаратов в данном направлении ограничен допустимыми габаритными размерами и массой комбайна в целом [8].

В настоящее время производители зерноуборочных машин и профильные научные организации ведут исследования в области интенсификации процесса сепарации путём совершенствования конструкции молотильных аппаратов [16]. Испытываются различные варианты барабанов, подбичников, бичей, меняются их форма, шаг расстановки и угол наклона [17, 20]. В конструкцию МСУ внедряются гладкие и сетчатые дека, в классических подбарабанах изменяется расположение поперечных планок и т. д. [1, 5].

Много работ посвящено исследованию процессов, протекающих в молотильном зазоре [11, 7, 13, 19]. Углубление знаний в данной области с использованием компьютерного моделирования и современного приборного оснащения позволит наметить пути дальнейшего совершенствования молотильных устройств [2, 3, 18]. Так, в работе [9] предлагалась конструкция молотильного аппарата интенсивного действия, включающая

барабан с гладкими бичами и подбарабанье с выпуклым входом и наклонными планками с полками без прутков на остальном протяжении. Авторами исследовалась возможность увеличения угла отклонения отражающей поверхности била от радиального направления, что, по их мнению, должно было увеличить сепарацию и сократить дробление за счёт уменьшения нормальной составляющей ударного импульса.

В ходе многолетних исследований в области техники и технологии уборочных процессов сотрудники Армавирской опытной станции стали разрабатывать несколько иное направление совершенствования молотильных аппаратов зерноуборочных комбайнов, основанное на использовании ориентированных воздушных потоков, оказывающих динамическое воздействие на слой обмолачиваемого продукта в зоне сепарации. Данный способ повышения эффективности процесса сепарации был защищён патентом на изобретение [12]. Вопросам дальнейшего совершенствования МСУ с использованием указанной технологии посвящена данная статья.

Материалы и методы

Программа многолетних исследований включала в себя следующие этапы:

- разработку конструкции;
- изготовление макетных образцов МСУ;
- оценку эффективности их работы в лабораторных условиях;
- анализ показателей качества уборочного процесса в схеме молотилки зерноуборочного комбайна;
- сравнение энергозатрат на протекание технологического процесса у серийной и модернизированной зерноуборочной машины.

Конечная **цель** исследований – повышение показателей производительности, минимизации потерь за комбайном, снижение удельной энергоёмкости уборочного процесса и травмируемости зернового материала.

Сравнительную оценку различных вариантов МСУ в лабораторных условиях проводили в первый год исследований. Для этого использовали специальный стенд, полностью имитирующий молотилку зерноуборочного комбайна СК-5М-1 (рис. 1).

Для равномерной подачи хлебной массы на обмолот использовали ленточный транспортёр длиной 15 м и шириной ленты 1,5 м. Необходимую загрузку молотилки достигали изменением скорости подачи или толщины слоя сноповой массы, находящейся на транспортёре. Молотильная часть стенда состояла из наклонной камеры 2, приёмного битера 3, барабана 4, надставки деки 5, деки 7 и отбойного битера 6. Под молотильным аппаратом на рамке стенда устанавливали пробоотборники. В первый осуществляли сбор продуктов обмолота (зерно + солома), прошедших через сепарирующую решётку деки. Его конструкция представляла собой трёхсекционный сетчатый ящик с шириной, равной ширине молотилки (1200 мм), и длиной, равной длине горизонтальной проекции подбарабанья молотильного аппарата.

В первую секцию указанного пробоотборника попадали продукты обмолота, прошедшие через надставку деки, во вторую – из I секции деки, в третью – из II секции деки. Продукты обмолота, прошедшие через сепарирующие решётки клавиш соломотряса, собирали в более массивный пробоотборник, длина которого равнялась длине горизонтальной проекции открытой сепарационной решётки клавишных соломотрясов, с учётом крайних положений движущихся клавиш. Для определения величины потерь свободным зерном за соломотрясом и уровня недомолота весь обмолоченный ворох, прошедший через стенд, собирали в III пробоотборник.

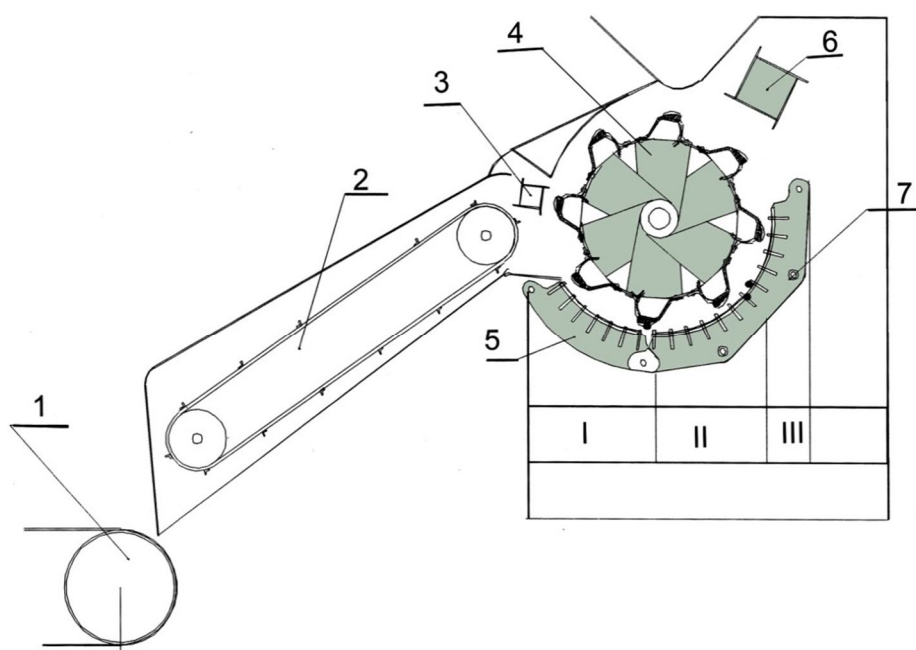


Рис. 1. Схема лабораторного молотильного стенда:
1 – ленточный транспортёр; 2 – наклонная камера; 3 – приёмный битер;
4 – барабан; 5 – надставка деки; 6 – отбойный битер; 7 – дека

В лабораторных опытах обмолачивали снопы озимой пшеницы сорта Таня с урожайностью 57,3 ц/га. Показатели состояния сноповой массы в период проведения лабораторных исследований были следующими:

- влажность зерна – 13,4%;
- влажность соломы – 11,3%;
- абсолютная масса зерна – 42,8 г;
- отношение зерна к соломе – 1 : 1,59.

Опыты проводили по каждому варианту молотильных аппаратов в 5-кратной повторности. Частоту вращения барабана устанавливали в пределах 900 об/мин, установочные зазоры в подбарабанье – 22×18×6 мм.

Изучение параметров воздушного потока, создаваемого молотильными аппаратами, заключалось в определении его скорости, направления и равномерности по площади подбарабанья. Оценку проводили косвенным методом, путём замера динамического напора микроманометрами ММН-2400 и МЛЖ-1 с пневмометрической трубкой Пито-Прандтля в соответствии с известной методикой [14]. Дека была условно разбита на 18 секторов, в каждом из которых было произведено по 16 замеров перед планкой и по 16 – за ней. Для точной установки трубки Пито-Прандтля в любой точке деки молотильного аппарата был изготовлен специальный кронштейн. По результатам замеров и их пересчёта были построены эпюры распределения скоростей воздушного потока в плоскости развертки сепарирующей решётки молотильного аппарата.

В полевых условиях агротехническую оценку проводили на уборке озимой пшеницы комбайном СК-5М-1. При этом различные варианты МСУ испытывали на одном и том же агрофоне. Убирали озимую пшеницу сорта Гром с урожайностью 62,7 ц/га, влажностью соломы и зерна – соответственно 12,5 и 11%. Длина прогона составляла 50 м. Показатели качества работы очистки и соломосепаратора определяли с помощью эластичных пробоотборников. Отбор и обработку проб производили при подачах от 2 до 8 кг/с. По данным сбора соломы и половы определяли потери зерна, а из бункера брали пробы на качество.

Задача данного цикла исследований заключалась в выявлении зависимости технологических показателей работы молотилки от её компоновки. В качестве контрольного варианта использовался тот же комбайн, но с серийным МСУ.

Величину энергозатрат на проведение технологической операции по уборке озимой пшеницы комбайном определяли по количеству удельного расхода топлива на гектар или на тонну вымолоченного материала (кг/га, кг/т). При этом к топливной системе двигателя был подключён расходомер топлива ИП 197, а топливная аппаратура прошла проверку и регулировку с доведением её показателей по расходу топлива в соответствии с паспортными данными двигателя СМД-18, установленного на комбайне.

Проведение лабораторных исследований, отбор и обработку результатов выполняли в соответствии с ГОСТ 28301 [6].

Результаты и их обсуждение

Обоснование изменений, вносимых в конструкцию молотильно-сепарирующего устройства, строилось на следующих логических выкладках. При вращении барабана во внутреннем его объёме из-за отсутствия притока воздуха извне создаётся воздушная полость с пониженным давлением, которая неизбежно компенсируется из зоны обмолота, что приводит к зависанию некоторой части обмолачиваемой массы у барабана и задержке процесса сепарации. За поверхностью подбичника также создаются зоны со значительным разрежением. В классической схеме молотилки это приводит к тому, что вслед за подбичником действуют направленные к центру барабана векторы аэродинамических сил, которые приподнимают вымолоченный материал. Последний при встрече с конструктивными элементами барабана, вращающимися со скоростью до 35 м/с, начинает дробиться.

Предлагаемое решение этой проблемы заключается во введении в конструкцию молотильного барабана элементов, обеспечивающих воздействие дополнительных воздушных потоков на хлебную массу, направленных из центра вращения к периметру барабана. На начальном этапе был разработан первый вариант конструкции молотильного аппарата с барабаном, в крайних дисках которого были выполнены вырезы и приварены наклонные лопасти для нагнетания во внутреннюю полость воздуха. Подвод воздуха осуществлялся через два отверстия во фланцах боковых панелей молотилки. Отверстия снабжались регулируемыми заслонками для дозирования попадающего в барабан объёма воздуха.

Технологический процесс в молотильном аппарате протекает следующим образом: при вращении барабана с лопастями создаётся дополнительный поток воздуха, направленный от барабана к деке и прижимающий к ней обмолачиваемый материал. В этом случае снижается возможность прохода продуктов обмолота внутрь барабана через его межбичевые промежутки, а следовательно, и вероятность повреждения зёрен от встречи с вращающимися деталями. Также возрастает интенсивность прохода через деку хлебной массы, постоянно находящейся в зоне максимального обмолота и сепарации.

Проведённые лабораторные опыты с первым вариантом МСУ выявили незначительное улучшение показателей качества процесса обмолота при практически одинаковой с серийным образцом производительности. С целью дальнейшего повышения эффективности работы молотильного аппарата и повышения интенсивности процесса сепарации во второй год проведения исследований используемое МСУ было модернизировано. Суть изменений состояла в том, что крайние диски остова барабана были полностью демонтированы и заменены массивными крыльчатками, служащими одновременно и осевыми вентиляторами, и опорами крепления подбичников (рис. 2).

Фланцы боковин молотилки также претерпели радикальную трансформацию: они были изготовлены в виде крыльчаток, лопасти которых служили опорой корпусов подшипников барабана. По своей конструкции фланцы боковин аналогичны крыльчат-

кам барабана. Для усиления скорости воздушного потока угол установки направляющей части лопастей прямо противоположен углу установки лопастей рабочего колеса.

В результате получена конструкция молотильно-сепарирующего устройства с практически открытыми боковинами, позволяющая компенсировать разрежения, создаваемые барабаном, совмещающего в данном случае функции молотильного устройства и центробежного вентилятора.

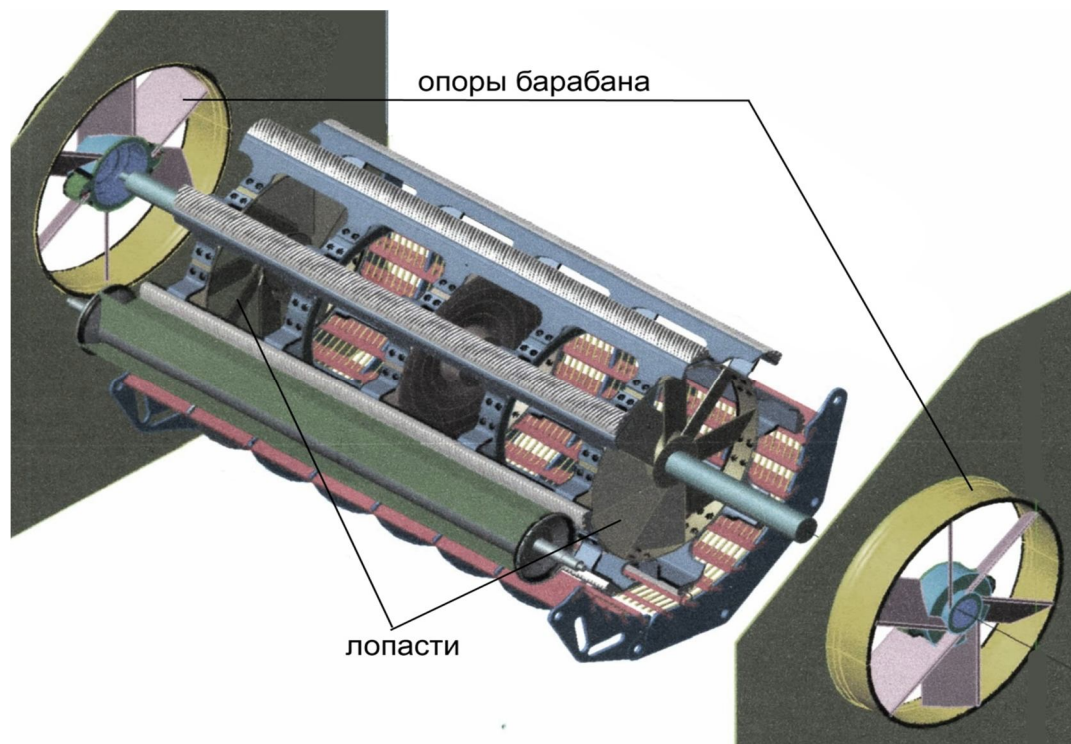


Рис. 2. Второй вариант конструкции модернизированного МСУ

Для оценки эффективности предлагаемой модернизации МСУ была проведена проверка его работоспособности на специализированном лабораторном стенде. При проведении стендовых испытаний отбор проб сепарируемого материала осуществлялся из 4 зон. Первые три определяли сепарирующие возможности подбарабья: надставки, I и II секций деки. Проба из четвертой зоны отражала качество работы клавишного соломосепаратора. Для каждой серии опытов выставляли требуемые обороты барабана и установочные зазоры в подбарабье.

В результате стендовых испытаний выявлено, что приведённая подача хлебной массы в серийное (эталонное) МСУ фиксировалась на уровне $3,84 \pm 0,08$ кг/с. Сепарация в зоне I (надставки деки) составляла в среднем 50,3% от всей массы обмолоченного зерна. Во II зоне сепарация снижалась до 31,1%, в III – до 11,9%. Суммарная сепарация через деку – 93,3%.

Подача зерносоломистого вороха в серии опытов с первым вариантом конструкции модернизированного МСУ (барабан оснащён небольшими лопастями, а боковины молотилки снабжены регулируемыми заслонками) составляла $4,27 \pm 0,08$ кг/с, что выше, чем у эталона, на 8,9%. Уровень сепарации в I зоне – 48,5%, во II – 32,0, в III – 12,4%. Суммарный показатель практически не отличался от контрольного – 92,9%. Однако с учётом более высокой подачи вороха и меньшего уровня дробления (1,88% у серийного устройства МСУ и 1,72% у экспериментального устройства) можно говорить о положительном влиянии конструктивных изменений барабана на показатели работы молотилки в целом.

В следующей серии опытов оценивали второй вариант конструкции МСУ (барабан оснащён увеличенными лопастями, а в боковинах молотилки вырезаны окна с направляющими воздушного потока). Приведённая подача хлебной массы в молотильный зазор составила $4,10 \pm 0,11$ кг/с. Доля сепарации зернового материала в I зоне составила 60,1%, что выше аналогичного контрольного показателя на 19,3%. Резкое смещение количества вымолоченного зерна к началу подбарабана позволило разгрузить зону сепарации самой деки. Соответствующие показатели во II зоне – 25,1%, в III – 9,8%, что ниже контрольных значений в 1,13 и 1,18 раза. Суммарный уровень сепарации подбарабаньем – 94,9%. Таким образом, поступающее количество зерна вместе с соломистой массой на соломосепаратор составило 5,1%, что снижает его нагрузку в сравнении с серийным образцом практически на треть.

По результатам лабораторной проверки на стенде можно сделать предварительный вывод о более эффективной работе второго варианта конструкции МСУ. Но при этом его показатели по дроблению (1,93%) были несколько выше, чем у первого варианта (1,72%). Таким образом, в первом варианте при удовлетворительной общей сепарации основным преимуществом конструкции можно считать снижение повреждаемости зёрен, а во втором – высокий уровень сепарации при удовлетворительных показателях дробления.

Компоновка первого и второго вариантов молотильно-сепарирующего устройства способствует созданию различающихся по силе и направлению вихревых воздушных потоков в молотилке. Для их инструментальной оценки были проведены замеры скоростей воздушных потоков на поверхности деки без подачи хлебной массы в молотильный зазор.

Результаты оценки воздушных потоков, создаваемых молотильным барабаном в плоскости развёртки подбарабана серийного и второго варианта модернизированного молотильного аппарата, представлены на рисунках 3 и 4.

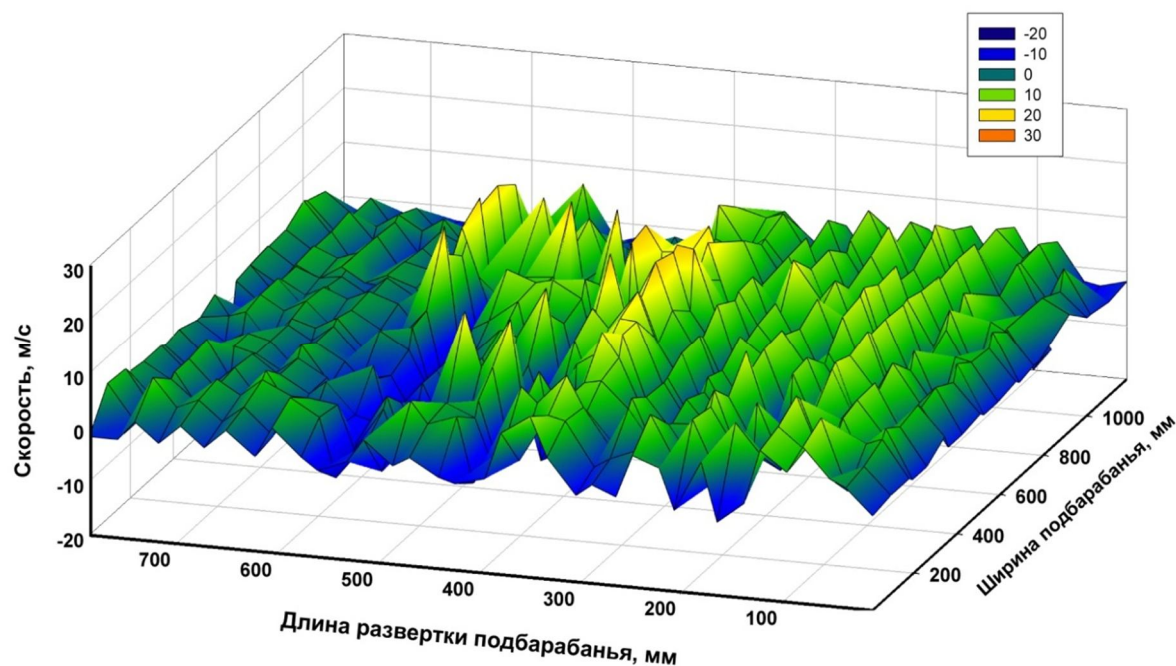


Рис. 3. Эпюра скоростей воздушных потоков сквозь деку серийного МСУ

Анализ эпюры скоростей воздушных потоков в серийном варианте МСУ показывает, что их распределение по плоскости сепарирующей решётки крайне неравномерное (рис. 3). Максимального своего значения скорости достигают в центральной части деки – до 15 м/с. В начале деки искомые показатели не превышают 10 м/с, а в конце – 5 м/с.

Отрицательные значения скоростей воздушного потока за поперечными планками каркаса подбарабання показывают, что в данной зоне вектор скорости меняет направление на противоположное, т. е. возникает эффект завихрения или обратного всасывания. Данный фактор, как было описано выше, негативно отражается на сепарации обмолачиваемого материала в молотильном зазоре.

При установке на стенд первого варианта модернизированного МСУ выявлено, что вид эпюры скоростей воздушных потоков, проходящих через сепарирующую решётку подбарабання, существенно изменился. Распределение скоростей в данном случае носило более равномерный характер. Их пиковые значения в первой половине деки, в зоне находящихся на расстоянии примерно 200 мм от боковых панелей молотилки, достигали 15–20 м/с. Во второй половине деки скорости снижались до 10–15 м/с.

В целом интегральное по площади деки значение скорости воздушного потока, проходящего через сепарирующую решётку экспериментального молотильного аппарата, в 3,5 раза выше по сравнению с серийным вариантом. При этом на выходе из сепарирующей решётки МСУ практически не зафиксировано нулевых и отрицательных значений исследуемых скоростей.

Дальнейшие изменения, воплощённые во втором варианте конструкции экспериментального МСУ, позволили ещё в большей степени улучшить равномерность воздушных потоков, проходящих сквозь подбарабання. Их скоростные параметры достигали величины 20–23 м/с (рис. 4). Доля зон, имеющих скорости ниже 5,0 м/с, составляла не более 20% от площади подбарабання, а скорости воздуха в аэродинамической тени поперечных планок каркаса подбарабання не имели отрицательных значений. Данный фактор, предположительно, способствовал улучшению процесса сепарации вымолоченного материала через деку.

Следует заметить, что характер распределения воздушных потоков в молотильном зазоре при наличии в нём зерносоматистого вороха будет абсолютно другим. Но провести корректно замеры во время прохождения через МСУ нестационарного потока хлебной массы (разной плотности и переменного объёма) не представляется возможным. Тем не менее данная методика проведения исследований позволяет наглядно сравнить процессы, протекающие в молотильном зазоре серийного и экспериментальных МСУ.

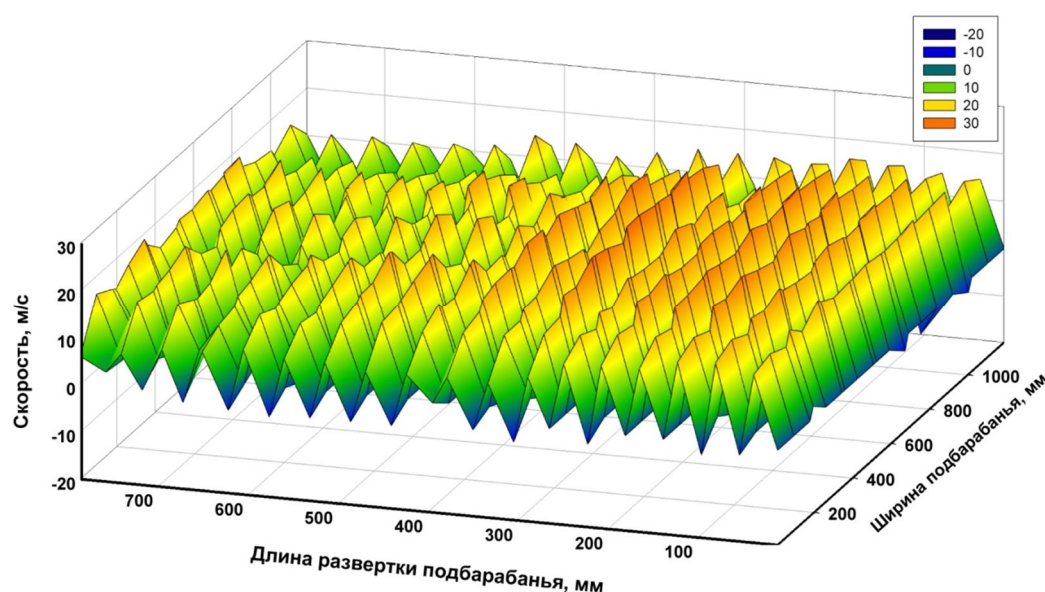


Рис. 4. Эпюра скоростей воздушных потоков через деку второго варианта модернизированного МСУ

Наиболее объективной оценкой эффективности процесса сепарации в молотильно-сепарирующих устройствах зерноуборочных комбайнов является испытание их в полевых условиях на различных подачах, включая рабочие.

Полевые исследования проводили для двух вариантов конструкции молотильных аппаратов: серийного и второй версии модернизированного. При проведении агрооценки указанные варианты молотильных аппаратов поочередно монтировались на один и тот же зерноуборочный комбайн СК-5М-1. Приведённая подача хлебной массы осуществлялась с нарастанием от 1,82 до 8,37 кг/с в серийной машине и от 2,89 до 8,69 кг/с – в экспериментальной. Полученные результаты представлены на рисунке 5, где изображены кривые зависимостей потерь зерна за молотилкой и степень его дробления в функции от приведённой подачи.

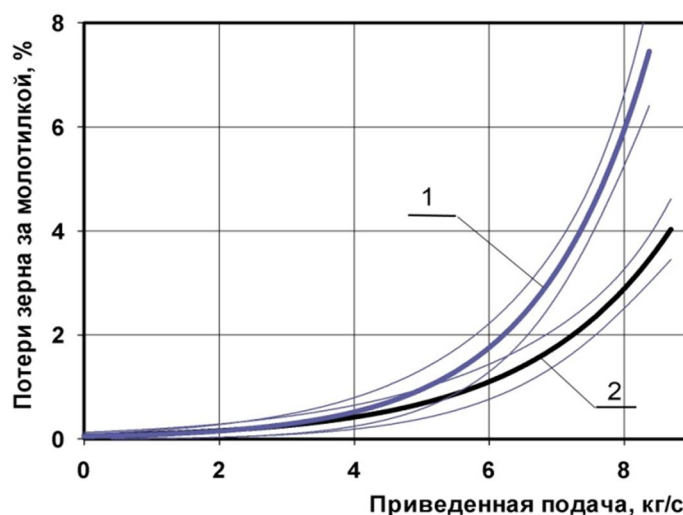


Рис. 5. Потери зерна за молотилкой в функции подачи хлебной массы:
1 – серийный вариант МСУ, 2 – второй вариант модернизированного МСУ
 (тонкими линиями показаны 95% доверительные интервалы)

Из рисунка 5 следует, что при допустимом по ГОСТу уровне потерь за молотилкой зерноуборочного комбайна (1,5%) максимальная пропускная способность хлебной массы у серийного комбайна составила 5,8 кг/с, а у модернизированного – 6,5 кг/с. При одинаковых регулировках и пропускной способности 7,2 кг/с потери зерна в модернизированном МСУ – 2%, а в серийном – 4%.

Показатели дробления зерна на эталонном образце зерноуборочного комбайна превысили допустимые значения при любых подачах хлебной массы и не фиксировались ниже 2,3%. Допустимый уровень дробления (2,0%) у экспериментального образца соответствовал подаче 6,8 кг/с. Потери зерна за очисткой на максимальных подачах у серийного и экспериментального образцов зерноуборочного комбайна составили соответственно 0,25 и 0,43%.

Таким образом, лабораторно-полевые исследования модернизированного молотильного аппарата позволили выявить его преимущества в схеме молотилки зерноуборочного комбайна. Следует также отметить полное отсутствие потерь свободным зерном через открытые отверстия в боковинах молотилки.

Величину энергозатрат на проведение технологической операции по уборке озимой пшеницы зерноуборочным комбайном СК-5М-1 Нива определяли по удельным показателям. Работы проводили на одном и том же участке поля с использованием одного комбайна, на котором поочередно менялись молотильные аппараты. Такой подход позволил исключить дополнительные погрешности и повысить объективность результатов опытов.

Расход горючего при использовании серийного молотильного аппарата составил 3,85 кг на тонну намолота зерна, или 11,1 кг на гектар убранной площади. Установка в схему молотилки зерноуборочного комбайна второго варианта модернизированного молотильного аппарата показала, что расход топлива практически не изменился и составил 3,87 кг/т, или 11,3 кг/га. Таким образом, в мощностном балансе зерноуборочного комбайна с экспериментальным МСУ затраты энергии на создание дополнительных воздушных потоков не являются существенными.

Заключение

Воздействие на хлебную массу высокоскоростными (до 23 м/с) воздушными потоками, направленными из центра вращения к периметру барабана, изменило распределение степени интенсивности сепарации по площади подбарабана: у серийного варианта в зоне надставки деки вымолачивалось 50,3% от массы всего обмолоченного зерна, у модернизированного – 60,1%.

Максимальная пропускная способность хлебной массы у серийного комбайна при допустимом уровне потерь составила 5,8 кг/с, а у модернизированного – 6,5 кг/с. При одинаковых регулировках и пропускной способности 7,2 кг/с потери зерна у серийной машины – 4,1%, у экспериментальной – 2,0%.

Показатели дробления зерна серийного зерноуборочного комбайна превысили допустимые значения при любой загрузке молотилки и не фиксировались ниже 2,3%. Допустимый уровень дробления 2,0% у экспериментального образца соответствовал подаче хлебной массы со скоростью 6,8 кг/с.

Введение в конструкцию комбайна молотильного аппарата с дополнительным воздействием на обмолачиваемый материал ориентированным воздушным потоком повышает интенсивность процесса сепарации, обеспечивая рост его пропускной способности на 10–12%. Удельный расход топлива при этом остаётся практически неизменным.

Данный способ аэродинамического воздействия на обмолачиваемый материал может быть адаптирован к подавляющему большинству применяемых в настоящее время молотильно-сепарирующих устройств и создаёт определённые предпосылки для нового направления совершенствования компоновочных схем молотильных аппаратов зерноуборочных комбайнов.

Библиографический список

1. Алдошин Н.В. Пути улучшения работы очистки зерноуборочного комбайна / Н.В. Алдошин // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2017. – № 6 (82). – С. 43–47.
2. Белов М.И. Математическая модель движения частиц в роторной молотилке / М.И. Белов, Ю.М. Шрейдер // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2015. – № 4. – С. 31–35.
3. Бердышев В.Е. Движение хлебной массы в молотильном пространстве аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства / В.Е. Бердышев, С.Г. Ломакин, В.В. Солдатенков // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2018. – № 2. – С. 7–11.
4. Бородин Д.Н. Основы теории взаимодействия ударной поверхности с зерном сельскохозяйственных культур / Д.Н. Бородин, О.П. Чердниченко // Тракторы и сельскохозяйственные машины и орудия. – 2004. – № 2. – С. 44–31.
5. Гусаров В.В. Параметры зон воздействия молотильно-сепарирующего устройства на обмолачиваемую массу / В.В. Гусаров, А.В. Ключков, С.В. Курзенков // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 182–188.
6. ГОСТ 28301-2007. Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний. – Введ. 2010-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 35 с.
7. Исследование параметров воздушного потока в камере очистки зерноуборочного комбайна / А.В. Майоров, Н.В. Януков, Д.В. Лукина, А.И. Волков // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономика. – 2018. – Т. 4, № 3. – С. 45–52.

8. Компьютерное моделирование процесса разделения зерна и половы на фракции в системе очистки зерноуборочного комбайна / А.И. Баран, В.Б. Попов, А.Н. Вырский, С.В. Труханович // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2016. – № 3 (66). – С. 4–9.
9. Кузин Г.А. Совершенствование молотильного аппарата интенсивного действия / Г.А. Кузин, Л.М. Грошев, И.А. Хозяев // Вестник Донского государственного технического университета. – 2012. – Т. 12, № 1–2 (62). – С. 67–76.
10. Липкович Э.И. Процессы обмолота и сепарации в молотильных аппаратах зерноуборочных комбайнов : пособие для конструкторов зерноуборочных машин / Э.И. Липкович. – Зерноград : ВНИПТИМЭСХ, 1973. – 166 с.
11. Ляшенко А.А. Методика и результаты исследования некоторых параметров хлебной массы при движении её в молотильном зазоре зерноуборочного комбайна / А.А. Ляшенко, О.Н. Косилов // Вестник Донского государственного технического университета. – 2008. – Т. 8, № 3 (38). – С. 287–291.
12. Пат. 2271094 Российская Федерация, МПК A01F 12/18, A01F 12/24 (2006.01). Способ и устройство для осуществления сепарации зерна / А.В. Анисимов, В.А. Анисимов, М.П. Васин, Э.В. Жалнин ; заявитель и патентообладатель ГНУ Северо-Кавказская опытная станция Всесоюзного научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства. – № 2004105614/12 ; заявл. 24.02.2004 ; опубл. 10.03.2006, Бюл. № 7. – 7 с.
13. Сороченко С.Ф. Математическая модель движения зернового вороха по решету адаптера очистки зерноуборочного комбайна / С.Ф. Сороченко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 12 (146). – С. 131–138.
14. Турбин Б.Г. Вентиляторы сельскохозяйственных машин: теория и технологический расчет / Б.Г. Турбин. – Ленинград : Машиностроение, 1968. – 159 с.
15. Böttinger S. Combine harvesters – state-of-the-art and further developments for the improvement of machine settings / S. Böttinger, P. Wacker // Landtechnik. – 2010. – Vol. 65 (2). – Pp. 102–105. DOI:10.1515/lt.2010.603.
16. Ivan Gh. Improving threshing system feeding of conventional combine harvesters / Gh. Ivan, V. Vladut, I. Ganea-Chrsitu // Actual Tasks on Agricultural Engineering : International Symposium on Agricultural Engineering (Croatia, Opatija, February 2015). – Croatia, Opatija, 2015. – Vol. 43. – Pp. 431–440.
17. Review of grain threshing theory and technology / J. Fu, Z. Chen, L. Han, L. Ren // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. – 2018. – Vol. 11 (3). – Pp. 12–20. DOI: 10.25165/ij.ijabe.20181103.3432.
18. Computer based Control of the Separation Process in a Combine Harvester / D. Hermann, F. Scholer, M.L. Bilde, N.A. Andersen, O. Ravn // Land.Technik AgEng. : 75th Conference of LAND, TECHNIK (Germany, Hannover, 10.11.2017 – 11.11.2017). – Düsseldorf : VDI Verlag GmbH, 2017. – Pp. 599–604.
19. Miu P. Modeling and simulation of grain threshing and separation in threshing units. Part I / P. Miu, H.-D. Kutzbach // Computers and Electronics in Agriculture. – 2008. – Vol. 60 (1). – Pp. 96–104. DOI: 10.1016/j.COMPAG.2007.07.003.
20. Tang Z. Modeling and design of a combined transverse and axial flow threshing unit for rice harvesters / Z. Tang, Y. Li, L. Xu, F. Kumi // Spanish Journal of Agricultural Research. – 2014. – Vol. 12 (4). – Pp. 973–983. DOI: 10.5424/sjar/2014124-6077.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Валерий Юрьевич Ревенко – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сои Армавирской опытной станции – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта» (АОС – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК), Россия, Краснодарский край, г. Армавир, e-mail: skskniish@rambler.ru.

Сергей Сергеевич Фролов – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе Армавирской опытной станции – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта» (АОС – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК), Россия, Краснодарский край, г. Армавир, e-mail: zam.aos@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 10.11.2020

Дата принятия к печати 25.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Valery Yu. Revenko, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Soybean Breeding and Seed Production Laboratory, Armavir Experimental Station – Branch of V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Russia, Krasnodar Krai, Armavir, e-mail: skskniish@rambler.ru.

Sergey S. Frolov, Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director for Research, Armavir Experimental Station – Branch of V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Russia, Krasnodar Krai, Armavir, e-mail: zam.aos@yandex.ru.

Received November 10, 2020

Accepted after revision December 25, 2020

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИХ РЕАЛИЗАЦИИ С ОПТИМАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Анатолий Петрович Дьячков
Вячеслав Геннадиевич Козлов
Алексей Дмитриевич Бровченко
Николай Петрович Колесников
Яна Валерьевна Бунина

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Производство зерна представляет собой основу агропромышленного комплекса Российской Федерации и является наиболее крупной подотраслью сельского хозяйства, от развития которой в значительной степени зависит продовольственная безопасность страны. Самым проблемным этапом любой технологии производства зерна была и остаётся уборка, в связи с этим поиск путей совершенствования технологий уборки зерновых культур за счёт специализации функций транспортного процесса и оптимизации воздействий, оказываемых ходовыми системами прицепов-перегрузчиков на почву, является актуальным. В качестве объекта исследования выбраны технологические схемы уборки зерновых культур, различные типы зерноуборочных машин и прицепов-перегрузчиков. В ходе проведения исследований использовали методы оптимального проектирования, хронометражных наблюдений, математической статистики и др. На основе анализа основных технологических схем уборки зерновых культур разработана оптимальная технология доставки зерна на приёмные пункты. Представлен расчёт и обосновано выражение оптимальной грузоподъёмности прицепа-перегрузчика при уборке озимой пшеницы, выведенное на примере хозяйства Центрально-Чернозёмного региона и конкретных условий эксплуатации: ширина захвата комбайна – 6 м, средняя урожайность зерна – 55 ц/га. В качестве критерия взята удельная цикловая производительность. Оптимальная расчётная грузоподъёмность будет равна 32,8 т. При анализе оптимальной грузоподъёмности прицепа-перегрузителя видно, что его грузоподъёмность зависит от мощности и массы трактора, с которым он агрегируется, а также от производительности его выгрузного устройства, размеров поля, технических характеристик зерноуборочных комбайнов. Даны рекомендации по повышению производительности зерноуборочных комбайнов за счёт специализации функций транспортного процесса доставки зерна от комбайнов на приёмный пункт.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прицеп-перегрузчик, транспортный процесс, удельная цикловая производительность, уплотнение почвы, экономический эффект, оптимизация, грузоподъёмность.

MODERN TECHNOLOGIES FOR GRAIN CROPS HARVESTING AND OPTIMAL PARAMETERS OF TECHNICAL MEANS FOR THEIR IMPLEMENTATION

Anatoly P. Dyachkov
Vyacheslav G. Kozlov
Alexey D. Brovchenko
Nikolay P. Kolesnikov
Yana V. Bunina

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Grain production is the basis of Agro-Industrial Complex of the Russian Federation and is the largest sub-sector of agriculture on the development of which food security of the country largely depends. The most troublesome stage of any grain production technology was and still remains harvesting, in this regard, the search for ways to improve the technologies of grain crop harvesting by specializing the functions of the transport process and optimizing the effects exerted by the undercarriage of reloading trailers on the soil is relevant. Technological schemes of grain harvesting, various types of grain harvesters and reloading trailers were selected as objects of research. In the course of research, design optimization methods, as well as methods of work measurement,

mathematical statistics, etc. were used. Based on the analysis of the main technological schemes of grain harvesting, an optimal technology for delivering grain to receiving stations have been developed. The authors present calculation procedure and substantiate the expression of the optimal load capacity of the reloading trailer when harvesting winter wheat derived in a specific context of the agricultural enterprise of the Central Chernozem Region and specific operating conditions: working width of the harvester is 6 m, the average grain yield is 55 c/ha. The specific cycle performance is taken as a criterion. The optimal design load capacity will be 32.8 tons. When analyzing the optimal load capacity of the reloading trailer, it can be seen that it depends on the power and weight of the tractor with which it is aggregated, as well as on the performance of its unloading device, the size of the field, and the technical characteristics of the combine harvesters. Recommendations are given to increase the productivity of combine harvesters due to the specialization of the functions of the transport process of grain delivery from the combine harvesters to the receiving station.

KEYWORDS: trailer reloader, transport process, specific cycle productivity, soil panning, economic effect, optimization, load capacity.

Производство зерна представляет собой основу агропромышленного комплекса Российской Федерации и является наиболее крупной подотраслью сельского хозяйства, от развития которой в значительной степени зависит продовольственная безопасность страны. Приоритетная роль производства зерна в обеспечении продовольственной безопасности также определяется технологической возможностью создания резервов и запасов зерна, предназначенных для гарантированного снабжения страны с учётом агроклиматических и географических особенностей регионов. Ключевыми показателями, характеризующими состояние зернового комплекса РФ, являются валовой сбор зерновых и зернобобовых культур на уровне 113,3 млн т, в том числе пшеницы – 72,1 млн т [11, 12].

Зерновые и зернобобовые культуры занимают 50–55% посевных площадей крупных хозяйств России в ЦЧР [3]. Что касается количественных показателей зернового производства, то средняя урожайность зерновых культур в нашей стране в 2,7 раза ниже, чем в передовых странах Европы и Америки [5]. Кроме того, производительность труда в российском АПК в 8–10 раз ниже, чем в высокоразвитых странах, и к 2030 г. ожидается сокращение численности сельского населения с 37 до 32,3 млн чел. Все эти факторы сдерживают развитие сельскохозяйственного производства в целом, в том числе и производство зерна.

Самым проблемным этапом любой технологии производства зерна была и остаётся уборка. После распада Советского Союза Россия осталась практически без заводов-производителей зерноуборочной техники. Для уборки зернобобовых, крупяных, масличных и других культур хозяйства России закупают современную отечественную и зарубежную технику немецких, голландских, американских и других производителей. Эти машины имеют различные параметры и производят уборку этих культур по разным технологиям, которые имеют как определённые преимущества, так и недостатки [1, 2, 10, 15–17].

Цель исследования состояла в совершенствовании технологии уборки зерновых культур за счёт специализации функций транспортного процесса и оптимизации воздействий ходовых систем прицепов-перегрузчиков на почву.

В качестве объекта исследования выбраны технологические схемы уборки зерновых культур, различные типы зерноуборочных машин и мобильных прицепов-перегрузчиков. В ходе проведения исследований использовали методы оптимального проектирования, хронометражных наблюдений, математической статистики и др.

Эффективность уборки зависит от способа уборки, выбора и подготовки техники, подготовки полей, организации уборочных работ и уровня профессиональной подготовки исполнителей. Поток убираемого зерна по схеме поле – ток – элеватор снижает транспортные расходы и простои техники. При этом фуражное зерно и кормовые отходы остаются в хозяйствах. Уборку проводят прямым комбайнированием или раздельным (двух- или трёхфазным) способом [14, 18]. Варианты новых технологий – «Невейка»

с обмолотом на стационаре, с обмолотом на краю поля (НИИМЭСХ) и ряд других – на практике не нашли широкого применения.

Современные технологии учитывают ресурсные возможности товаропроизводителей – уровень технической оснащённости, профессиональный потенциал и обеспеченность финансами. Три уровня технологий по степени их интенсивности позволяют по-разному освоить биологический потенциал сорта. Они включены в наиболее эффективные операционные технологии, пригодные для использования в местных условиях зернового производства.

После обмолота зерна комбайнами оно доставляется на приёмные пункты по одной из технологий, которые названы по количеству и виду погрузочно-разгрузочных операций: различают прямоточную (поточную), комбитрейлерную и в последнее время – перегрузочную [14, 18]. Чтобы обеспечить поточное проведение уборочных операций (от первичной обработки почвы – подготовки полей до подготовки полей к уборке и уборке соломы), на убираемых площадях создают уборочно-транспортные комплексы (отряды), которые представляют собой функциональные производственные подразделения. От единичного использования комбайнов переходят к групповому методу труда, а от индивидуального закрепления транспортных средств за комбайнами – к обслуживанию группы комбайнов. Предусмотрены основные технологические звенья (уборочно-транспортное, для уборки соломы и для первичной обработки почвы), вспомогательные звенья (технического и бытового обслуживания).

При индивидуальном закреплении за комбайнами автомобилей последние более половины рабочего времени простаивают, ожидая, пока бункер наполнится зерном. При групповой работе комбайнов и обезличенной загрузке транспортных средств их производительность повышается до 80% [4, 14].

Внутрихозяйственные уборочно-транспортные комплексы создаются как функциональные специализированные подразделения за счёт технических и трудовых возможностей хозяйства. Межхозяйственные комплексы формируют на базе нескольких хозяйств или на базе районных производственных объединений [6, 9].

Количество комбайнов определяется исходя из агросрока, их производительности и объёма работ

$$n_k = \frac{F}{\omega_{cm} \cdot T_{cm} \cdot m_{cm} \cdot Z_{tex} \cdot Z_{пу} \cdot D_p}, \quad (1)$$

где F – площадь полей, занятая под зерновыми, га;

T_{cm} – продолжительность смены, ч;

m_{cm} – количество смен;

ω_{cm} – сменная производительность, га/ч;

Z_{tex} , $Z_{пу}$ – коэффициенты, учитывающие соответственно техническое состояние машины и погодные условия;

D_p – продолжительность оптимального агросрока, дней.

Сменная производительность определяется по выражению (2) или по фактической производительности, полученной в результате хронометража.

$$\omega_{cm} = 0,36 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, \quad (2)$$

где B_p – рабочая ширина захвата комбайна, м;

V_p – рабочая скорость комбайна, м/с;

τ – коэффициент использования времени смены.

$$\tau = \frac{T_p}{T_{cm}}, \quad (3)$$

где T_p – время чистой работы, ч.

Необходимое количество транспортных средств определяем исходя из производительности всех комбайнов уборочно-транспортного комплекса.

Производственный процесс уборки зерновых культур относится к непрерывно-пульсирующему или к прерывно-поточному в зависимости от способа доставки зерна от поля до приёмного пункта. Количество других машин в звеньях производственной линии определяют из выражения

$$\omega_{\text{см}}^{\text{к}} \cdot n_{\text{к}} = \omega_{\text{см}}^{\text{б}} \cdot n_{\text{п}} = \omega_{\text{см}}^{\text{тр}} \cdot n_{\text{тр}}, \quad (4)$$

где $\omega_{\text{см}}^{\text{к}}$, $\omega_{\text{см}}^{\text{б}}$, $\omega_{\text{см}}^{\text{тр}}$ – сменная производительность соответственно комбайна, мобильного прицепа-перегрузчика, транспортного средства общего назначения, т/ч;

$n_{\text{к}}$, $n_{\text{б}}$, $n_{\text{тр}}$ – количество соответственно комбайнов, прицепов-перегрузчиков и транспортных средств.

Тогда количество транспортных средств исходя из выражения (4)

$$n_{\text{тр}} = \frac{0,36 \cdot B_{\text{р}} \cdot V_{\text{р}} \cdot \tau \cdot U_{\text{к}} \cdot n_{\text{к}} \cdot t_{\text{об}}^{\text{тр}}}{Q_{\text{н}} \cdot \lambda_{\text{г}} \cdot \tau_{\text{а}}}, \quad (5)$$

где $U_{\text{к}}$ – урожайность зерна, т/га;

$t_{\text{об}}^{\text{тр}}$ – время оборота (рейса) транспортного средства, ч;

$Q_{\text{н}}$ – номинальная грузоподъёмность транспортного средства, т;

$\lambda_{\text{г}}$ – степень использования грузоподъёмности;

$\tau_{\text{а}}$ – коэффициент использования времени смены транспортного средства.

Время рейса

$$t_{\text{об}}^{\text{тр}} = \frac{2L}{\vartheta_{\text{ст}}} + t_{\text{р}} + t_{\text{п}} + t_{\text{о}}, \quad (6)$$

где L – расстояние перевозки зерна на приёмный пункт, км;

$\vartheta_{\text{ст}}$ – среднетехническая скорость движения автомобиля, км/ч;

$t_{\text{р}}$ – продолжительность разгрузки автомобиля, ч;

$t_{\text{п}}$ – время загрузки автомобиля, ч;

$t_{\text{о}}$ – время оформления документов, ч.

Также определяем количество других технических средств, если они есть в производственной линии.

В последнее время успешно развивается перегрузочная технология доставки зерна от комбайнов на ток или элеватор. Этот способ даёт возможность почти вдвое сократить потребность в автомобилях и водителях. Он основан на использовании разных промежуточных ёмкостей (компенсаторов). Зерно из бункера комбайна выгружают в прицеп-перегрузатель, а из него с помощью выгрузных шнеков – в транспортные средства. Использование прицепов-перегрузателей способствует повышению производительности комбайнов на 10–15% по сравнению с прямыми перевозками [1, 2].

Во всем мире транспортный процесс строят так, что транспорт общего назначения не заходит на поле, чтобы не уплотнять почву, не разрушать её структуру и не вызывать увеличение затрат энергии на её последующую обработку.

В современном крупном сельскохозяйственном производстве в технологиях уборочно-распределительного процесса наблюдается отход от одного из основных принципов построения производственных процессов – принципа непрерывности движения материала. При этом оказывается возможной и необходимой специализация функций транспортных средств: сбор материала выполняет технологический транспорт, а транспортирование – транспорт общего назначения большой грузоподъёмности.

Известны три вида такой технологии доставки зерна от комбайна на ток – когда используются мобильный прицеп-перегрузчик, стационарно-передвижной или стационарный бункеры-накопители. В качестве технологического транспорта в первом случае используется мобильный прицеп-перегрузчик, который агрегируется обычно с колёсным трактором большой мощности (более 200 кВт). Транспорт общего назначения ожидает своей загрузки на краю поля. Технологический транспорт загружается зерном непосредственно от комбайнов и транспортирует его на край поля к транспорту общего назначения.

Для сочленения технологического транспорта с транспортом общего назначения требуются специальные устройства для перегрузки зерна. В качестве таких устройств используют шнеки большой производительности (100–200 кг/с), их привод осуществляется от ВОМ трактора.

При работе с современными комбайнами мобильный бункер-перегрузчик разгружает комбайн на ходу. Тем самым он увеличивает производительность комбайна за счёт исключения его простоев. И пока комбайн набирает очередной бункер, мобильный бункер-перегрузчик доставляет зерно на край поля и выгружает его в транспортное средство большой грузоподъёмности. Этот способ доставки ликвидирует жёсткую связь между грузоподъёмностью транспортного средства и объёмом бункера комбайна, что повышает эффективность использования транспортного средства.

При использовании стационарно-передвижного бункера-накопителя его устанавливают на краю поля, а автомобили-самосвалы с предварительным подъёмом кузова собирают зерно от комбайнов и перегружают в бункер-накопитель. По мере заполнения бункера-накопителя к нему подъезжает транспорт общего назначения, который загружается с помощью высокопроизводительного шнекового механизма.

При укрупнении населённых пунктов возрастает расстояние между полями, являющимися местом производства зерна, и пунктами его хранения и переработки. В этом случае следует использовать стационарные бункеры-накопители. Это будут бункеры-накопители большого объёма, состоящие из нескольких бункеров, поднятых над землёй на высоту, достаточную для загрузки большегрузного транспорта. Зерно от комбайнов также будет собирать технологический транспорт и доставлять к стационарному бункеру. Разгружаться он будет в приёмную яму, из которой зерно с помощью нории далее поступает в бункеры, а уже затем самотёком в кузов большегрузного транспортного средства, перевозящего зерно на большие расстояния.

При перегрузочной технологии доставки зерна на приёмный пункт ликвидируется жёсткая связь как по грузоподъёмности, так и по времени между комбайнами и транспортом общего назначения.

В перспективе экономически будет невыгодно иметь очистные комплексы в малых населённых пунктах, вместо них достаточно будет иметь стационарный бункер-накопитель, который заменит ЗАВ и склад.

Специализация функций транспортного процесса позволяет уменьшить:

- затраты средств на сбор и отвоз материала;
- уплотнение почвы;
- грузооборот материала и машин;
- потребность в спецмашинах за счёт увеличения их производительности.

Большой эффект будет получен, если использовать машины с оптимальной грузоподъёмностью на сборе зерна (комбайны) и перемещении его от комбайнов на край поля (прицепы-перегрузчики).

Одним из путей совершенствования комбайнов является увеличение размеров бункера с целью сокращения времени технологического обслуживания, чтобы увеличить его производительность. Как показывают расчёты, увеличение вместимости бункера

от 3 до 12 м³ (в 4,0 раза) позволит повысить коэффициент технологического обслуживания и производительность комбайна за 1 час сменного времени примерно на 5%. В результате затрачивается большое количество энергии и средств при эксплуатации самоходного комбайна, поэтому ставится задача получения таких показателей операционной технологии уборки зерновых культур, при которых их удельная производительность была бы максимальной.

Методика определения оптимальной грузоподъёмности бункера зерноуборочного комбайна приведена в работах [6, 13, 18]. Оптимальная грузоподъёмность достигается при использовании комбайна с бункерами объёмом 6–8 м³ и специализации функций транспортного процесса отвоза зерна от комбайнов до приёмных пунктов, т. е. когда зерно от комбайнов собирают прицепами-перегрузчиками, транспортируют на край поля и перегружают в транспорт общего назначения, при этом разгрузку комбайнов производят на ходу с использованием ГНСС ГЛОНАСС или GPS.

В связи с этим ставится задача определения следующих параметров: какой должна быть грузоподъёмность прицепа-перегрузчика, чтобы он имел максимальную удельную производительность, а работа технологической линии уборки урожая соответствовала существующим агротребованиям.

На наш взгляд, наиболее подходящим критерием эффективности при обосновании технологической ёмкости прицепа-перегрузчика будет удельная производительность транспортного агрегата на единицу веса [7, 8].

Критерий эффективности по удельной цикловой (на единицу веса) производительности транспортного агрегата находится из выражения

$$K_{\omega} = \frac{\partial \omega_{уд}}{\partial Q_{п}}, \quad (7)$$

где $\omega_{уд}$ – удельная цикловая на единицу веса производительность транспортного агрегата, кг/с/кН;

$Q_{п}$ – грузоподъёмность технологической ёмкости прицепа-перегрузчика, кг.

Удельная цикловая производительность прицепа-перегрузчика равна

$$\omega_{уд} = \frac{\omega_{ц}}{G_{эа}}, \quad (8)$$

где $\omega_{ц}$ – цикловая производительность прицепа-перегрузчика, кг/с;

$G_{эа}$ – эксплуатационный вес тракторного транспортного агрегата, кН.

Цикловая производительность прицепа-перегрузчика равна

$$\omega_{ц} = \frac{Q_{п}}{t_{ц}}, \quad (9)$$

где $t_{ц}$ – время цикла транспортного агрегата, с.

Среднее время цикла транспортного агрегата

$$t_{ц} = t_{з} + t_{дг} + t_{р} + t_{дх}, \quad (10)$$

где $t_{з}$, $t_{дг}$, $t_{р}$, $t_{дх}$ – время соответственно загрузки, движения с грузом, разгрузки и движения без груза, с.

Время загрузки транспортного средства

$$t_{з} = t_{в} n_{б} + t_{пер} (n_{б} - 1), \quad (11)$$

где $t_{в}$ – время выгрузки бункера зерноуборочного комбайна, с;

$t_{пер}$ – время переезда транспортного средства от одного комбайна к другому, с;

$n_{б}$ – количество бункеров, вмещающихся в транспортное средство.

Время выгрузки зерна из бункера комбайна

$$t_b = \frac{Q_b}{\omega_b} = \frac{V_b \gamma_m \lambda_v}{\omega_b}, \quad (12)$$

где Q_b – грузоподъёмность бункера комбайна, кг;

ω_b – производительность выгрузного устройства бункера комбайна, кг/с;

γ_m – плотность зерна убираемой культуры, кг/м³;

V_b – объём бункера комбайна, м³;

λ_v – степень использования объёма бункера.

Количество бункеров комбайнов, вмещающихся в прицеп-перегрузчик

$$n_b = \frac{Q_{\pi}}{Q_b}. \quad (13)$$

Время $t_{\text{пер}}$ зависит от способа движения комбайнов на поле, их количества и скорости движения транспортного средства по убранному полю.

Подставим выражения (12)–(13) в выражение (11) и проведём преобразования

$$t_3 = C_1 Q_{\pi} - C_2, \quad (14)$$

$$\text{где } C_1 = \frac{Q_b + t_{\text{пер}} \omega_b}{\omega_b Q_b};$$

$$C_2 = t_{\text{пер}}.$$

Время движения прицепа-перегрузчика по полю с грузом

$$t_{\text{дг}} = \frac{S}{V_{\text{дг}}}, \quad (15)$$

где S – расстояние, на которое необходимо переместить груз после заполнения прицепа, м;

$V_{\text{дг}}$ – средняя скорость движения транспортного средства по полю, м/с.

Среднюю скорость движения транспортного агрегата найдём из мощностного баланса. Так как уборка урожая производится в относительно благоприятное время года, то буксованием можно пренебречь. Тогда для установившегося движения

$$g_{\text{дг}} = \frac{N_{\text{ен}} \cdot [\xi_N] \eta_{\text{мг}}}{R_a + G_{\text{тр}}(f + i)}, \quad (16)$$

где $N_{\text{ен}}$ – номинальная мощность, кВт;

$[\xi_N]$ – допустимый коэффициент загрузки двигателя;

$\eta_{\text{мг}}$ – КПД трансмиссии;

R_a – тяговое сопротивление транспортного агрегата при движении на подъём, кН;

$G_{\text{тр}}$ – эксплуатационный вес трактора, кН;

f – коэффициент сопротивления перекатыванию;

i – уклон местности, доли единицы.

Тяговое сопротивление прицепа при движении на подъём

$$R_a = G_{\text{эп}} \cdot (f + i), \quad (17)$$

где $G_{\text{эп}}$ – эксплуатационный вес прицепа с грузом, кН.

Между массой и грузоподъёмностью прицепа существует прямолинейная связь

$$M_{\pi} = a + b Q_{\pi}, \quad (18)$$

где a и b – постоянные величины корреляционной зависимости.

Тогда эксплуатационный вес гружёного прицепа

$$G_{\text{эп}} = 10^{-3} g[a + (1 + b)Q_{\text{п}}] \quad (19)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

Тяговое сопротивление транспортного средства при движении на подъём

$$R_a = 10^{-3} g(f + i)[a + (1 + b)Q_{\text{п}}] \quad (20)$$

Подставим в выражение (21) выражения (22)–(26) и преобразуем

$$t_{\text{дг}} = \frac{A + BQ_{\text{п}}}{B}, \quad (21)$$

где $A = S(f + i)(ag \cdot 10^{-3} + G_{\text{тр}})$;

$$B = Sg(f + i)(1 + b) \cdot 10^{-3};$$

$$B = N_{\text{ен}}[\xi_N] \eta_{\text{мг}}.$$

Время движения без груза зависит в основном от $V_{\text{дх}}$, которая определяется условиями работы.

Время разгрузки прицепа-перегрузчика зависит в основном от производительности выгрузного устройства

$$t_p = \frac{Q_{\text{п}}}{\omega_{\text{п}}}, \quad (22)$$

где $\omega_{\text{п}}$ – производительность выгрузного устройства прицепа-перегрузчика, кг/с .

Тогда

$$t_{\text{ц}} = \frac{B_1 + A_1 Q_{\text{п}}}{B_1}, \quad (23)$$

где $A_1 = V_{\text{дх}}(B\omega_{\text{п}}C_1 + B\omega_{\text{п}} + B)$;

$$B_1 = \omega_{\text{п}}(BV_{\text{дх}}C_2 + AV_{\text{дх}} + SB);$$

$$B_1 = BV_{\text{дх}}\omega_{\text{п}}.$$

Эксплуатационный вес тракторного транспортного агрегата

$$G_{\text{эа}} = 10^{-3} g[(a + M_{\text{тр}}) + bQ_{\text{п}}] \quad (24)$$

где $M_{\text{тр}}$ – эксплуатационная масса трактора, кг .

Или

$$G_{\text{эа}} = M + LQ_{\text{п}}, \quad (25)$$

где $M = 10^{-3} g(a + M_{\text{тр}})$,

$$L = 10^{-3} gb.$$

Теперь $\omega_{\text{уд}}$ с учётом выражений (8), (23) и (25) будет

$$\omega_{\text{уд}} = \frac{B_1 Q_{\text{п}}}{MB_1 + A_1 M Q_{\text{п}} + B_1 L Q_{\text{п}} + A_1 L Q_{\text{п}}^2}. \quad (26)$$

Далее найдём частную производную $\frac{\partial \omega_{\text{уд}}}{\partial Q_{\text{п}}}$, приравняв её к нулю, и определим

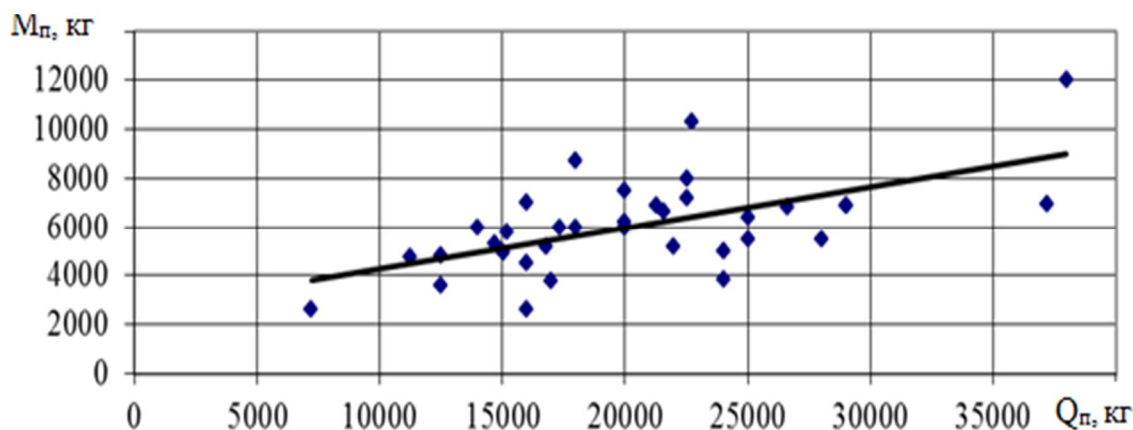
$Q_{\text{п}}^{\text{опт}}$.

$$Q_{\text{п}}^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{B_1 M}{A_1 L}}. \quad (27)$$

Заменяя символы выражения (27) реальными параметрами, получим

$$Q_{\text{п}}^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\omega_{\text{п}} [V_{\text{дх}} N_{\text{ен}} [\xi_N] \eta_{\text{мг}} t_{\text{пер}} + S(f+i)(10^{-3} ag + G_{\text{тр}}) V_{\text{дх}} + S N_{\text{ен}} [\xi_N] \eta_{\text{мг}}] (a + M_{\text{тр}})}{V_{\text{дх}} \left[N_{\text{ен}} [\xi_N] \eta_{\text{мг}} \omega_{\text{п}} \left(\frac{Q_{\text{б}} + t_{\text{пер}} \omega_{\text{б}}}{Q_{\text{б}} \omega_{\text{б}}} \right) + 10^{-3} Sg(f+i)(1+b) \omega_{\text{п}} + N_{\text{ен}} [\xi_N] \eta_{\text{мг}} \right] b}}. \quad (28)$$

Построим зависимость эксплуатационной массы прицепа-перегрузчика от его грузоподъёмности (см. рис.).



Зависимость эксплуатационной массы прицепа-перегрузчика от его грузоподъёмности:
 $M_{\text{п}} = 2600,6 + 0,1682 Q_{\text{п}}; r = 0,6$

Из данных, представленных на рисунке, следует, что между массой прицепа и его грузоподъёмностью существует корреляционная зависимость.

В качестве примера выполним расчёт для трактора John Deere 8520 при работе с группой комбайнов серии W (John Deere–W660) в средних условиях ЦЧР.

$$Q_{\text{п}}^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{200[4,2 \cdot 217 \cdot 0,95 \cdot 0,85 \cdot 150 + 500(0,08 + 0,03)(10^{-3} 2600,6 \cdot 9,81 + 97) \cdot 4,2 + 500 \cdot 217 \cdot 0,95 \cdot 0,85](2600,6 + 9700)}{4,2 \left[217 \cdot 0,95 \cdot 0,85 \cdot 68,6 \left(\frac{7020 + 150 \cdot 68,6}{7020 \cdot 68,6} \right) + 10^{-3} \cdot 500 \cdot 9,81(0,08 + 0,03)(1 + 0,1682 \cdot 200 + 217 \cdot 0,95 \cdot 0,85) \right] 0,1682}} =$$

$$= 32800.$$

А для трактора John Deere 7920 $Q_{\text{п}}^{\text{опт}} = 23550$ кг.

При анализе выражения (22) видно, что грузоподъёмность прицепа зависит от мощности и массы трактора, с которым он агрегируется, а также от производительности его выгрузного устройства, размеров поля, технических характеристик зерноуборочных комбайнов. Поэтому при покупке прицепа-перегрузчика надо это учитывать.

Определим количество комбайнов, которое может обслуживать один прицеп-перегрузчик, работающий с трактором John Deere 8520 и комбайнами John Deere W660 при уборке озимой пшеницы по технологии напрямую (однофазная).

Размер поля – 900×1000 м, форма – прямоугольная.

Урожайность зерна $U_z = 55$ ц/га; $V_p^k = 2,2$ м/с; $B_k = 6$ м.

Технологическая производительность комбайна

$$\omega_k = 0,36 \cdot 6 \cdot 0,96 \cdot 2,2 \cdot 0,55 = 2,6 \text{ кг/с.}$$

Технологическая производительность комбайна практически равна цикловой производительности и лишь незначительно комбайн теряет её при повороте. При этом цикловая производительность прицепа-перегрузчика определяется как

$$\omega_n^u = \frac{Q_n^{onm}}{t_u}, \quad (29)$$

а время t_u равно

$$t_u = 68,6 \cdot \frac{32800}{7020} + 150 \cdot \left(\frac{32800}{7020} - 1 \right) + \frac{500}{3,3} + \frac{32800}{200} + \frac{500}{4,2} = 1305,8 \text{ с.}$$
$$\omega_n^u = \frac{32800}{1305,8} = 25,1 \text{ кг/с.}$$

Теперь определим количество комбайнов, которые может обслужить один прицеп-перегрузчик

$$n_k = \frac{25,1}{2,6} = 9,65 \approx 9.$$

Количество транспортных средств общего назначения зависит в основном от их грузоподъёмности и расстояния транспортирования.

Экономический эффект, полученный от применения представленной методики, будет складываться из:

- снижения энергетических затрат на перемещение самого агрегата и массы собираемого в бункер материала;
- снижения удельного сопротивления машины при последующих обработках почвы;
- повышения урожайности различных культур за счёт снижения переуплотнения и распыления почвы.

Библиографический список

1. Бункер-перегрузчик зерна J&M // Каталог сельскохозяйственной техники. – Благовещенск : ЛБР Агромаркет, 2014. – С. 248–249.
2. Бункеры-перегрузчики зерна // Каталог импортной сельскохозяйственной техники. – Минск : ООО «Беларус-Сервис», 2018. – С. 28.
3. Всероссийская сельскохозяйственная перепись 2016 года : в 8 т. Т. 4. Посевные площади сельскохозяйственных культур и площади многолетних насаждений и ягодных культур [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/VSP_2016%20T_4_K1_web.pdf (дата обращения: 15.08.2020).
4. Высокопроизводительные перегрузочные машины HAWE-Wester GmbH & Co. KG Maschinenbau. Сервис. Техника. Запасные части // Каталог ООО «Ньютехагро» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.newtechagro.ru/uploads/files/files/peregruz_mash_hawe_wester.pdf (дата обращения: 15.08.2020).
5. Гаврилова Е.Ю. Задачи поставлены – время выполнять (по материалам Всероссийского агрономического совещания 2019) / Е.Ю. Гаврилова // Сахарная свекла. – 2019. – № 2. – С. 2–5.
6. Дьячков А.П. Расчет звеньев производственной линии уборки сахарной свеклы / А.П. Дьячков, А.Д. Бровченко, А.И. Любимый // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве : материалы национальной научно-практической конференции (Россия, г. Воронеж, 25 сентября 2020 г.). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – С. 35–39.
7. Завалишин Ф.С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве / Ф.С. Завалишин. – Москва : Колос, 1973. – 319 с.
8. Кутищев А. Земледелие с умом / А. Кутищев // Газета «ЭкоНива-Вести/EkoNiva-News» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/81400569-Zemledelie-s-umom-izdanie-gruppy-kompaniy-ekoniva.html> (дата обращения: 15.08.2020).
9. Методика определения оптимальной грузоподъёмности бункера зерноуборочного комбайна / А.П. Дьячков, Н.П. Колесников, А.Д. Бровченко и др. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета – 2015. – № 4–2 (47). – С. 92–99.
10. Новый вектор развития Липецкого завода KvernelandGroup // Крестьянские ведомости : газета агробизнеса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kvedomosti.ru/selxoxtexnika-kverneland/> (дата обращения: 11.08.2020).

11. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации : Указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 года № 20 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/564161398> (дата обращения: 12.08.2020).
12. Об утверждении Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 10 августа 2019 года № 1796-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/560974985> (дата обращения: 12.08.2020).
13. Окунев Г.А. Последствия влияния на почву тракторов среднего класса при оценке эффективности их использования / Г.А. Окунев, Н.А. Кузнецов // АПК России. – 2016. – Т. 75, № 1. – С. 89–95.
14. Организация сельскохозяйственного производства : учебник по группе специальностей 35.02.00 «Сельское хозяйство» / М.П. Тушканов, С.И. Грядов, А. Пастухов и др. ; под ред. профессора М.П. Тушканова, профессора Ф.К. Шакирова. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 290 с.
15. Оригинальный прицеп ASN «GIGANT» с выдвигающей системой // Каталог современной сельскохозяйственной техники завода Fliegl. Agrartechnik [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://polymya-agro.by/pdf/13-pritsepy-fliegl.pdf> (дата обращения: 12.08.2020).
16. Прицепы-перегрузчики BergmannGTW // Каталог уборочной техники компании «Агро-Лидер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://agro-lider.ru/agrotechnics/peregruzchiki-zerna/pritsepy-peregruzchik-gtw-330-430/> (дата обращения: 12.08.2020).
17. Система телеметрии AFS Connect™ // Каталог компании «Альтаир» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kvedomosti.ru/selxoztexnika-kverneland/> (дата обращения: 11.08.2020).
18. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства : учебник / А.В. Новиков, И.Н. Шило, Т.А. Непарко и др. ; под ред. А.В. Новикова. – Минск : Новое знание; Москва : ИНФРА-М, 2012. – 512 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Анатолий Петрович Дьячков – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kafexpl@agroeng.vsau.ru.

Вячеслав Геннадиевич Козлов – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: vya-kozlov@yandex.ru.

Алексей Дмитриевич Бровченко – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kafexpl@agroeng.vsau.ru.

Николай Петрович Колесников – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: nikolay2060@yandex.ru.

Яна Валерьевна Бунина – аспирант кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: missisangelyana@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 18.11.2020

Дата принятия к печати 24.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Anatoly P. Dyachkov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Operation of Transport and Technological Machines, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: kafexpl@agroeng.vsau.ru.

Vyacheslav G. Kozlov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Operation of Transport and Technological Machines, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: vya-kozlov@yandex.ru.

Alexey D. Brovchenko, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Operation of Transport and Technological Machines, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: kafexpl@agroeng.vsau.ru.

Nikolay P. Kolesnikov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Operation of Transport and Technological Machines, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: nikolay2060@yandex.ru.

Yana V. Bunina, Postgraduate Student, the Dept. of Operation of Transport and Technological Machines, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: missisangelyana@yandex.ru.

Received November 18, 2020

Accepted after revision December 24, 2020

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ОПЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Игорь Владиславович Григорьев¹
Дмитрий Николаевич Афоничев²
Ольга Анатольевна Куницкая¹
Алексей Анатольевич Просужих³
Сергей Евгеньевич Рудов⁴

¹Арктический государственный агротехнологический университет

²Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

³Ухтинский государственный технический университет

⁴Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного

Во многих отраслях промышленности, например автомобилестроении, лесном машиностроении, для транспортных и технологических машин предлагаются дополнительные технические опции. Это могут быть опции для повышения уровня комфорта оператора, что напрямую способствует повышению эффективности (производительности) его работы, а также опции, направленные, прежде всего, на повышение безопасности, надежности и энергоэффективности машины. В большей части случаев дополнительные технические опции производятся отдельными компаниями, которые устанавливают свою продукцию на широкую линейку машин с учётом специфики природно-производственных условий эксплуатации. Рассмотрены две важные технические опции, устанавливаемые на сельскохозяйственные, лесные, транспортные машины, – системы автоматического пожаротушения и системы контроля давления в шинах. Системы автоматического пожаротушения позволяют снизить риск влияния человеческого фактора, связанного с недостаточной очисткой отсеков машин, а также риск загорания сельхозмашин по техническим причинам. Обычно эти риски возникают из-за нарушений крепления патрубков и целостности самих патрубков, обусловленных нагрузками при эксплуатации и несвоевременной или некачественной заменой при износе, наличием короткого замыкания, связанного с отсутствием квалифицированного подхода к диагностике электрических цепей и их своевременной замены, а также наличием замыкания в электрических устройствах при износе подшипников. Использование современных систем контроля давления в шинах сельскохозяйственных тракторов, помимо предотвращения преждевременного аварийного выхода из строя, позволяет снизить переуплотнение почвы сельхозугодий, сократить расход топлива и, как следствие, операционные затраты, зависящие от эффективности использования шин, которые могут достигать до 15%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сельскохозяйственные машины, система автоматического пожаротушения, контроль давления и температуры в шинах, безопасность, надёжность, давление на почву, энергоэффективность.

ADDITIONAL TECHNICAL OPTIONS TO BOOST SECURITY, RELIABILITY AND ENERGY EFFICIENCY OF AGRICULTURAL MACHINERY

Igor V. Grigoriev¹
Dmitriy N. Afonichev²
Olga A. Kunitskaya¹
Aleksey A. Prosuzhikh³
Sergey E. Rudov⁴

¹Arctic State Agrotechnological University

²Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

³Ukhta State Technical University

⁴Military Telecommunications Academy named after the Soviet Union Marshal S.M. Budyenny

In many industries, such as automobile manufacturing and forestry machine-building, additional technical options are offered for transport and process machines. These can be options to increase the level of comfort of the operator, which directly contributes to improving the efficiency (productivity) of his work, as well as options aimed primarily at improving the safety, reliability and energy efficiency of the machine. In most cases, additional technical options are made by several companies that supply a wide range of machines with their products taking into account the specifics of environment and working operating conditions. The authors considered two important technical options designed for agricultural, forestry, and transport vehicles, i. e. automatic fire suppression systems and tire air pressure monitoring systems. Automatic fire suppression systems can reduce the risk of human factors associated with insufficient cleaning of machine areas, as well as the risk of fire of agricultural machines for technical reasons. Usually, these risks arise due to violations of the attachment of the pipes and the integrity of the pipes themselves, due to operating loads and untimely replacement or unskilled replacement because of wear, due to short circuit fault associated with the lack of a qualified approach to the diagnosis of electrical circuits and their untimely replacement, as well as short circuit ignition in electrical devices because of bearing wear. The use of modern systems for monitoring tire air pressure of agricultural tractors, in addition to preventing premature exidental failure, reduces soil panning, fuel consumption and, as a result, operating costs (up to 15%) depending on the efficiency of tire use.

KEYWORDS: agricultural machinery, automatic fire suppression system, tire air pressure and temperature control, safety, reliability, soil pressure, energy efficiency.

Введение
Современные сельскохозяйственные машины представляют собой образцы высокотехнологичной и весьма дорогостоящей техники, к которой предъявляются высокие требования по надёжности и эффективности работы [2]. Как показывает практика, преждевременный аварийный выход из строя этих машин происходит в том числе из-за возгораний, а также разрушения шин. Для предотвращения таких ситуаций возможна установка дополнительных технических опций – систем автоматического пожаротушения, а также современных систем контроля давления в шинах PressurePro. Вместе с тем ряд сельскохозяйственных компаний, при весьма значительной базовой стоимости машины (около 20 млн руб.), стараются экономить на всех возможных дополнительных опциях, нечётко понимая, какие конкретно преимущества они дают.

Материалы и методы

Были изучены конструкции, процессы установки и работы систем автоматического пожаротушения и контроля давления в шинах сельскохозяйственных машин. Проанализированы преимущества, получаемые за счёт использования данных систем.

Результаты и их обсуждение

Автоматические системы пожаротушения

В настоящее время все машины и оборудование работают в таких условиях, в которых практически невозможно полностью устранить основные причины возникновения пожаров, в числе которых можно назвать следующие: высокие температуры рабочих агрегатов двигателей, масла и горюче-смазочных материалов (ГСМ) в подкапотном пространстве, неисправные рукава высокого давления (РВД) и др. Своевременное техобслуживание машин, конечно, снижает риск возгораний, но работающая в экстремальных условиях техника (уборочные комбайны, различные косилки и др.) может давать непредвиденные сбои, приводящие к пожарам.

Практика работы многих предприятий (в том числе и сельскохозяйственных) показывает, что в основном причинами загорания различных машин и оборудования являются высокие температуры. Что касается сельхозмашин, то среди причин можно отметить попадание в подкапотное пространство травы, скопление пыли и т. п.

Наиболее склонными к загоранию узлами сельхозмашин являются двигатели внутреннего сгорания (ДВС), системы распределения, приводные ремни, конвейерные линии, бункеры (у комбайнов), то есть такие узлы, в которых в процессе работы происходит повышение температуры [15]. Существует такое понятие, как температура самовозгорания, например, температура самовозгорания сена составляет 70°C. Это означает, что в ходе круглосуточных уборочных работ, когда отсутствует возможность регулярно очищать технику от того же сена, возникает опасность самовозгорания в тех узлах, где

произошло накопление этих продуктов производства. Конечно, производители сельхозтехники работают над своими проектами и делают технику максимально безопасной в этом смысле, но с полей в уборочную страду продолжают поступать неутешительные сводки. Исключить эти негативные явления призваны системы автоматического пожаротушения.

Источником огня может стать и залетевшая искра. Даже если люди обнаружат загорание машины, имея под рукой средства пожаротушения, они не всегда успеют предотвратить большой ущерб [14]. Временной период между началом развития пожара и моментом его обнаружения бывает достаточно длительным.

В отсеке двигателя температура около турбин может достигать 370°C , излучающий эффект на поверхности двигателя – 180°C , а диапазон температур самовозгорания для применяемых в машине масел и дизельного топлива составляет $210\text{--}230^{\circ}\text{C}$ [7]. К загоранию машины может привести и короткое замыкание проводки, и тушить его сложно.

Одним из наиболее удачных вариантов автоматической системы пожаротушения (АСПТ) для сельскохозяйственных машин является принцип компоновки жидкостной АСПТ компании Dafo, которая включает пульт управления с индивидуальным источником питания, что даёт гарантию срабатывания АСПТ, даже если бортовая электросеть машины отключена. Система управления АСПТ соединена с баллоном с азотом, обеспечивающим срабатывание при поступлении соответствующей команды с пульта управления. В свою очередь баллон с азотом соединен с баллоном, содержащим огне-тушащую суспензию, который через диафрагму подключён к системе трубопроводов, выходящих на форсунки. Форсунки устанавливаются индивидуально, в зависимости от конструктивных особенностей машины. Принцип работы системы заключается в том, чтобы на первых стадиях огня определить источник его возникновения и локализовать пожар с минимальными потерями для техники. Система управления АСПТ функционирует следующим образом.

1. Кабель детектора реагирует на открытое пламя от 180°C и одновременно передаёт сигнал на блок управления, на аварийный дисплей в кабине оператора и на звуковой оповещатель. Таким образом происходит информирование оператора о том, что в машине имеет место возгорание.

2. С блока управления сигнал поступает на актуатор для запуска азотного блока (используется инертный газ N_2).

3. Газ поступает в нижнюю часть бака с жидкостью Fogtex, где создаётся давление на поршень для вытеснения жидкости.

4. Жидкость Fogtex поступает из бака в распределительную систему, где находятся уникальные форсунки, через которые и происходит тушение пожара.

Достоинствами системы являются: жидкость Fogtex, которая борется со всей пожарной триадой, является биоразлагаемой (разлагается в природе в течение 28 дней) и абсолютно безопасной для человека и техники.

Форсунки DW2 имеют угол распыла 100° град. и эффективную длину распыла 1 м при постоянном потоке воздуха 25 м/с. Бак, в котором находится жидкость Fogtex, имеет поршневой тип, и поэтому он может располагаться под любым углом, что позволяет устанавливать баки на машине практически в любом удобном месте так, чтобы они не мешали оператору при работе машины, при проведении технического обслуживания и ремонта. Система находится без давления как до пожара, так и после пожара, что позволяет безопасно проводить инспекцию после пожара и ремонтные работы. После пожара легко смывается водой и не вызывает коррозию и окислительную реакцию. Система многократного использования. Срок эксплуатации составляет 10 лет.

АСПТ имеет три варианта запуска – два принудительных и один автоматический. Для автоматического запуска АСПТ используется кабель-детектор, который состоит из двух проводов, разделённых слоем парафина. Под действием повышающейся от огня температуры парафин расплавляется, что приводит к замыканию проводов.

Принудительный запуск АСПТ, при необходимости, использует оператор, если он раньше автоматики обнаружил возникшую проблему. Кнопки принудительного запуска системы установлены внутри и снаружи кабины. Для исключения случайного срабатывания АСПТ кнопки принудительного запуска защищены колпаками.

Установку АСПТ можно заказать у производителя машин как дополнительную техническую опцию, которую надо указать в контракте на поставку машины, или её можно установить на уже имеющуюся машину непосредственно на предприятии. Главное, чтобы у выполняющих эту работу специалистов был соответствующий сертификат, иначе производитель АСПТ не будет принимать претензии в случае каких-либо сбоев в её работе. Обычно на установку АСПТ на одну машину уходит 3–4 дня, всё зависит от конструктивных особенностей машины и защищаемых зон.

Стоимость системы пожаротушения для среднего трактора будет составлять около 0,5 млн руб., для крупной техники может достигать до 2,0 млн руб., но эти затраты можно частично компенсировать меньшей стоимостью страхового полиса на машину, оснащённую такой дополнительной опцией.

Достоинством АСПТ компании Dafo является возможность перезарядки после срабатывания. Это в 5 раз дешевле, чем установка новой. Её также можно перемонтировать с одной машины на другую, если они однотипны и идентичны по конструкции. Иначе придётся потратиться на новые трубопроводы и кабели.

Стоимость АСПТ, прежде всего, зависит от объёма защищаемого от загорания отсека и количества отсеков на машине. Стандартный расчёт предусматривает, что на 1 м³ защищаемого пространства отсека требуется 5 л суспензии. Объём баллонов с суспензией варьирует в пределах 5–25 л, если этого недостаточно, то устанавливают несколько баллонов. Чтобы гарантировать работоспособность АСПТ, её надо ежемесячно тестировать.

Системы контроля давления в шинах

Рынок сельскохозяйственной техники сильно отличается от традиционных для рассматриваемой технологии сегментов – таких как горно-добывающие (майнинговые) и транспортные компании (грузовые и автобусные перевозки) [16].

Сельскохозяйственные автомобили, тракторы и комбайны не ездят с высокими скоростями, не возят сверхтяжёлые грузы, но перемещаются в основном по грунтовым дорогам, по стерне, пашне. Необходимость контроля давления в этих условиях не теряет своей актуальности. Влияние неправильного давления в шинах сельскохозяйственных машин на эффективность процесса отличается от обычных транспортных машин [8, 10, 11]. Были выполнены масштабные теоретические и экспериментальные исследования с целью выявления негативного воздействия движителей тяжёлых машин на структуру и свойства почв сельскохозяйственных и лесных угодий [17]. При переуплотнении почвы движителями машин ухудшаются её структура и физико-механические свойства, которые являются важными, а иногда и решающими факторами формирования урожая сельскохозяйственных культур и эффективности различных приёмов их возделывания [3].

подавляющее большинство современных сельскохозяйственных машин имеет колесный движитель, и давление в шинах оказывает существенное влияние на почву. Если шина перекачана, начинается процесс переуплотнения почвы. Через определённый промежуток времени это негативно скажется на урожайности, а значит, и финансовых результатах сельскохозяйственного предприятия. Кроме того, перекаченные шины негативно сказываются на комфорте работы оператора [12].

Обычно колёса сельскохозяйственных машин накачивают на давление 1–3 атмосферы, но компании-лидеры в производстве шин, например Michelin, рекомендуют для сельскохозяйственных машин шины сверхнизкого давления, около 0,8 атмосферы. Такие шины имеют максимальное пятно контакта и соответственно оказывают минимальное давление на почву.

Давление в шинах оказывает существенное влияние на такой важный для сельскохозяйственных тракторов показатель, как тяговое усилие [13]. На многих сельскохозяйственных предприятиях для увеличения тягового усилия тракторов на них устанавливают большое количество балласта [4], но при этом часто забывают, что тяговое усилие трактора можно повысить за счёт оптимальной регулировки давления в шинах. Современные сельскохозяйственные тракторы импортного и отечественного производства являются высокотехнологичными машинами, имеющими возможность использования функции «автопилота» [5], поэтому их эксплуатация во многом отличается от привычной для механизаторов «старой закалки».

Как показывает практика, оптимальная регулировка давления в шинах сельскохозяйственных тракторов позволяет убрать значительное количество балласта и соответственно значительно экономить топливо. Общеизвестно, когда на тракторе размещено 2,5–3 т лишнего металла, закреплённого на всех мостах, расход топлива существенно возрастает, а энергоэффективность падает. При уменьшении давления в шинах увеличивается пятно контакта с почвой, следовательно, увеличивается опорная поверхность, улучшаются сцепные свойства колёс с почвой, что позволяет передавать большую мощность.

В настоящее время уже разрабатываются программы, позволяющие автоматически подбирать оптимальное давление в шинах в зависимости от пробуксовок колёс трактора. Пока системы автоматической регулировки давления в шинах сложно внедрять на сельскохозяйственных машинах ввиду большой стоимости таких систем (ориентировочная стоимость оснащения такой системой одного трактора составляет 10 тыс. долларов США). Отечественные агрохолдинги при базовой стоимости сельскохозяйственного трактора 20 млн руб. стараются экономить на различных дополнительных опциях, поэтому отказываются от автоматической регулировки давления в шинах [1, 6]. Вместе с тем есть более дешёвый вариант, позволяющий оперативно получать сведения о давлении во всех колёсах трактора. Такую систему контроля давления в шинах (СКДШ) PressurePro уже достаточно широко используют многие промышленные компании России и, прежде всего, те, которые для своих образцов сельскохозяйственной техники приобретают очень дорогие шины. В последние годы эти системы достаточно распространены и на лесопромышленных предприятиях, ими оснащают тяжёлые автолесовозы.

Большим достоинством применения СКДШ PressurePro является существенное повышение коэффициента технической готовности (КТГ) техники. Известно, что эксплуатация сельскохозяйственных машин отличается сезонностью, и выход из строя сельскохозяйственной техники в «горячий сезон» даже на один день может принести существенные убытки.

Если трактор выйдет из строя по причине прокола колеса во время полевых работ, да еще и на «подраскисшем» от осадков поле, то вытащить его для проведения ремонтных работ будет крайне трудно. Отметим, что прокол колеса трактора на поле является распространённым явлением (при наезде колеса на обломки плугов и других сельскохозяйственных орудий) [9]. В большей части случаев колесо трактора при этом

не взрывается, а сдувается постепенно. При этом на мощном полноприводном тракторе (200–400 кВт) оператор не ощущает, что колесо начинает терять давление. Это становится заметно только при наступлении аварийной ситуации, которая могла бы и не случиться, если бы у оператора была возможность получать сведения о давлении во всех колёсах. При этом стоимость колёс для сельскохозяйственных машин хотя и меньше, чем для карьерных самосвалов, но всё равно существенная и варьирует в пределах 100–500 тыс. руб. При правильной эксплуатации такие шины должны служить 2–3 года.

Если для подвижного состава грузового автотранспорта около 30% операционных затрат зависят от эффективности использования шин, то для сельскохозяйственных машин это составляет 5–7%. На тяжёлых тракторах операционные затраты, зависящие от эффективности использования шин, могут достигать и до 15%.

Проблема большинства сельскохозяйственных предприятий в рассматриваемом аспекте состоит в отсутствии культуры выбора и эффективного использования шин. На всех предприятиях есть инженер-механик, который заботится о силовых установках, технологическом оборудовании, но нет шинного инженера. Над эффективным использованием шин у отечественных сельхозпроизводителей мало кто всерьёз задумывается. Зачастую можно столкнуться с такими ситуациями, когда на одной оси установлены разные колёса, в том числе и по диаметру.

К сожалению, в практике работы отечественных сельскохозяйственных предприятий не принято варьировать давление в шинах в зависимости от поверхности движения машины. Но ведь на дороге и в поле это давление должно быть разным. Во многом это связано с нежеланием операторов, а также с не совсем правильным нормированием работ, когда оператор теряет время, изменяя давление в шинах, а механик факт изменения оператором давления в шинах проверить не может. СКДШ PressurePro позволяет оперативно отслеживать такие ситуации не только на поле, но и в офисе. Более того, можно задавать геозоны в бортовом компьютере трактора с указанием на них мест, на которых надо работать с высоким давлением в шинах (дорога), а на каких – с низким (поле). При этом если оператор съехал с дороги на поле, не поменяв давление, диспетчеру и в офис придёт уведомление. За счёт имеющегося на тракторе компрессора операция изменения давления в колёсах не занимает много времени (10–15 мин).

Данные, полученные от СКДШ, могут служить в качестве арбитра при спорах оператора и руководства агрохолдинга или спорах с поставщиком шин о причинах раннего и аварийного их выхода из строя. Надо помнить, что неправильный подбор шин, например по слоистости, составу резиновой смеси, допустимой нагрузке, ряду других параметров, приведёт к быстрому выходу из строя без вины эксплуатирующей организации. Данные СКДШ позволяют предъявлять рекламации к производителям (поставщикам) шин, требовать соблюдения гарантийных обязательств.

За счёт функции разграничения права доступа в СКДШ имеется возможность защиты меню настроек монитора паролем для предотвращения случайного или намеренного перепрограммирования.

Конструктивно СКДШ сложна и представляет собой конструктор. На колёса трактора (комбайна) устанавливаются датчики стоимостью около 5 тыс. руб., к ним в комплект на машину устанавливается интегрирующее устройство стоимостью около 30 тыс. руб., то есть система контроля давления для машины с шестью колёсами будет стоить около 60 тыс. руб. Как и АСПТ, при необходимости СКДШ можно довольно просто переставить с одного трактора на другой, поскольку датчики накручиваются на вентили шин, как колпачки.

Давление воздуха в шине преобразуется в радиосигнал, который посылается на установленное в кабине автоматическое устройство управления с монитором. При установке СКДШ на трактор не нужны соединительные провода, значит, нет опасности их обрыва. Автоматическое устройство управления принимает и обрабатывает сигналы от датчиков, и при отклонении от нормы выдает сигнал. СКДШ можно настроить в соответствии с особенностями конструкции и эксплуатации трактора, например отдельно по осям, если порог нормы давления в шинах должен быть различным.

Сами датчики неразборные, герметичные, ударопрочные и виброустойчивые, с автономным источником питания, срок службы которого зависит от культуры эксплуатации и составляет 2–5 лет. Пока давление в шине находится в пределах заданного диапазона, датчик уходит в «режим сна» (на 5–120 мин.). Если давление в шине выходит за заданный нормативно диапазон значений, датчик начинает передавать сигнал раз в 5 с, чтобы оператор мог видеть динамику изменения давления. Если оператор не предпринимает никаких действий для исправления ситуации, источник питания датчика быстрее садится, и неразборный датчик приходится заменять целиком. Функционал системы позволяет задать временной интервал, в течение которого будет отслеживаться заданный процент отклонения давления.

СКДШ PressurePro можно интегрировать с ведущими провайдерами диспетчеризации и мониторинга. Это позволяет не только оператору, но и диспетчеру (механику), при наличии технической возможности, получать оперативную информацию о давлении в каждой шине каждого трактора.

Программирование датчиков на базовое давление осуществляется непосредственно при накручивании датчика на вентиль и даёт возможность выставить базовое давление на каждой оси и позиции отдельно на мониторе. При достижении колёсами рабочей температуры и соответствующем увеличении давления в шине за счёт нагрева СКДШ временно воспринимает его как базовое. Пороги срабатывания системы настраиваются вручную на повышение и на понижение давления, начиная от 6%. При этом погрешность измерений системы составляет 2% при устойчивой работе от –40 до +70°C, в диапазоне 0,5–20,5 атмосферы.

Большим достоинством СКДШ PressurePro для сельскохозяйственных машин является возможность уловить случаи снижения давления в шинах при езде на склонах. Когда у трактора спускает колесо при движении по полю, расположенному под углом к горизонту, уловить снижение диаметра колеса при его проколе оператору становится значительно сложнее.

Исходя из особенностей эксплуатации сельскохозяйственных машин, прежде всего их низких эксплуатационных скоростей, такие известные технологии сбережения шин на грузовом автотранспорте, как динамическая балансировка колёс и центровочные втулки для ступиц колёс не будут эффективными. Также неэффективной будет система выравнивания давления в спарке колёс.

Приобретение и оснащение сельскохозяйственных машин СКДШ недостаточно для экономии шинного бюджета. Надо также менять отношение персонала, прежде всего операторов. Опыт работы компании TYREMAN group показывает, что многие операторы сначала не воспринимают адекватно информацию, выводимую на монитор, могут даже отключать систему оповещения. В этом случае СКДШ никакого эффекта не даст. При правильной работе с СКДШ можно получить увеличение пробега шины на 15–50%.

В качестве рекомендаций по оптимизации расходов на приобретение шин можно отметить правильность работы не с одним, а хотя бы двумя-тремя их производителями,

чтобы иметь возможность сравнивать их по показателю стоимости владения шиной (не стоимости покупки, а именно стоимости владения), в которую входит количество простоев машины из-за проблем с шинами, стоимость ремонта шины.

Лидерами в производстве шин для сельскохозяйственных машин в настоящее время являются компании Michelin, Trelleborg, BKT, Bridgestone, Continental. Российскими шинами оснащают в основном небольшие тракторы, в то время как на мощные и дорогие машины ставят практически на 100% шины зарубежных брендов.

Конструкции шин низкого давления для сельскохозяйственных машин принципиально отличаются, например от шин для грузовых автомобилей. Шины для сельскохозяйственных машин – радиальные, бескамерные, имеют усиленную боковину, что предотвращает и боковые проколы, и саморазбортировку. Такие шины могут работать с давлением от 0,7 атмосфер.

По аналогии с машиной можно купить более дешёвые шины, но при этом много тратить на ремонт и обслуживание и нести потери из-за простоев. В настоящее время компания TYREMAN group внедряет в горно-добывающем секторе программный комплекс, позволяющий вести учёт истории каждой шины по таким пунктам, как пробег, ремонт, интенсивность износа протекторов и др. Это даёт возможность определить, какая шина для конкретных условий эксплуатации наиболее эффективна. При наличии в парке предприятия 150 тракторов средний шинный годовой бюджет составит 75–100 млн руб. – достаточно мотивирующая сумма, чтобы серьёзно отнестись к этому вопросу.

Безусловно, исходя из известного принципа «кадры решают всё» крупным и средним сельскохозяйственным предприятиям необходимо иметь в своём штате отдельного шинного инженера, занимающегося учётом и эксплуатацией шин. Обучить такого человека можно либо в компаниях-производителях шин, либо в специализированных учебных центрах, например в компании TYREMAN group.

В ближайшей перспективе можно ожидать выхода на пробную эксплуатацию более совершенной, но и более дорогой системы контроля давления в шинах сельскохозяйственных машин. Она представляет собой две интегрированные системы: систему централизованной накачки шин (ЦНШ) и систему контроля давления шин (СКДШ), которые включают следующие элементы.

1. Панель индикации ПВ-3 с системой ЦНШ отображает контуры накачки машины, давление в контуре, заданное давление в контуре для выбранного типа покрытия, тип покрытия при накачке; предупреждает о превышении скорости для заданного уровня давления при выполнении накачки в движении; выдаёт информационные сообщения о работе системы ЦНШ; предупреждает о неисправностях в системе ЦНШ (звуковая и световая сигнализация неисправности).

2. Панель индикации ПВ-3 с системой СКДШ отображает давление в шинах, температуру в шинах; определяет «прокол» в шине, межколёсную разницу давления в одной оси, межосевую разницу давления по шинам, критически высокий и критически низкий уровни давления, превышение скорости для заданного уровня давления; позволяет добавлять или удалять радиодатчики в соответствии с колёсной схемой машины, диагностическую информацию по радиодатчику давления. При этом колёсный клапан автоматически открывает и закрывает подачу воздуха к шине; может быть адаптирован под требования заказчика; разгружает ступичные уплотнения после завершения процесса накачки, продлевая их ресурс. Максимальное давление – 20 бар; минимальное давление, до которого может быть сдута шина, – 0,8 бара. Накачка и сдув шин – в движении.

3. Модуль МИ15.1 (СКДШ) считывает данные с радиодатчиков давления; передаёт данные о давлениях в шинах по J1939 в панель ПВ-3. Можно использовать МИ-15.1 как универсальный блок одновременно для тягача и для полуприцепа (прицепа) в одной CAN шине за счёт наличия конфигурации. Один МИ-15.1 считывает данные с 20 датчиков одновременно, а за счёт наличия антенны считывает данные с датчиков, находящихся на расстоянии до 100 м.

4. Модуль МИ-15.Т (ЦНШ) управляет электрическими клапанами накачки и сдува для контуров; автоматически устанавливает для четырёх типов дорожных покрытий соответствующие уровни давления в шинах; передаёт данные о процессах при управлении накачкой или сдувом в шину CAN J1939 для отображения в панели ПВ-3. Один модуль МИ-15.Т может управлять одновременно шестью электромагнитами и считывать данные с двух датчиков давления.

5. Пульт управления ПКК-01.1 обеспечивает возможность установить любое давление в диапазоне от минимального до максимального уровня; наличие кнопки активации системы ЦНШ; имеет четыре кнопки задания уровней давления: асфальт (HWY), бездорожье (FIELD), песок-снег (SAND), аварийный (EMER). Наличие кнопки «RESET» позволяет разгружать контуры после накачки шин, если давление отличается от заданного. Двухцветовая подсветка кнопок (белый и зелёный).

Основные свойства и преимущества систем ЦНШ и СКДШ:

- могут работать как комплексная система, а могут быть реализованы по отдельности как независимые системы для любых шасси 4×4, 6×6, 8×8;
- увязаны между собой, что исключает ложные срабатывания;
- ЦНШ может автоматически накачать давление шин на четыре уровня: дорога, бездорожье, поле, смешанный (уровни можно менять по требованию);
- предусмотрена возможность установки любого уровня давления помимо четырёх предустановленных;
- установка колёсного клапана на шину позволяет разгружать после накачки ступичные уплотнения каналов подвода воздуха автоматически, предотвращая их износ;
- наличие колёсного клапана ЦНШ вместо ручного крана позволяет осуществлять накачку и сдув шин в движении, улучшая потребительские свойства машины;
- наличие встроенной системы СКДШ позволяет повысить технический уровень машины, что создаёт конкурентные преимущества производителю машины;
- использование СКДШ позволяет потребителям техники экономить топливо, защищать шины, управлять правильным давлением для почвы и тяги;
- СКДШ защищает шины и предупреждает оператора о проколах, повышая пассивную и активную безопасность дорожного движения;
- СКДШ позволяет определять проколы шин, межколесный перекося давления на оси, межосевой перекося давления шин, критически низкий уровень давления шин, критически высокий уровень давления шин;
- возможно обнаружение превышения скорости в соответствии с текущим давлением в шинах с аварийной сигнализацией для исключения перегрева шин;
- процедура добавления и удаления радиодатчиков давления шин при замене шин или радиодатчиков давления предусмотрена прямо из кабины посредством электронной панели ПВ-3;
- диагностика радиодатчиков выполняется в кабине машины;
- мультязычный интерфейс отображает параметры по требованию заказчика.

Стоимость такой системы прогнозируется в пределах 3–4 тыс. долларов США.

Выводы

Установка системы автоматического пожаротушения на сельскохозяйственные машины позволяет гарантированно избежать существенных потерь из-за самовозгорания машины, а также снизить стоимость её страховки.

Установка СКДШ на сельскохозяйственные машины позволяет получить следующие преимущества:

- сохранить плодородие полей за счёт уменьшения переуплотнения почвы;
- увеличить тягу тракторов;
- уменьшить количество балласта на тракторах;
- снизить затраты на шины за счёт их своевременного ремонта и увеличения ходимости;
- сократить простои машин (максимизация КТГ);
- повысить точность выполнения задач при автоматизации сельскохозяйственных работ (работе автопилота трактора по системе точного земледелия) за счёт исключения необходимости в подруливании из-за разности давления в колёсах;
- увеличить долю шин, пригодных к восстановлению;
- снизить расход топлива (в пределах 3–10%).

Библиографический список

1. Автоматическое устройство для регулирования давления воздуха в шинах энергонасыщенных тракторов с заблокированным приводом осей / Ю.Г. Горшков, Ю.Б. Четыркин, А.В. Богданов, Е.А. Лещенко // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 12. – С. 9–12.
2. Афоничев Д.Н. Совершенствование организации технического сервиса в сельском хозяйстве / Д.Н. Афоничев, Е.В. Кондрашова, И.И. Аксенов // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 12, № 3. – С. 230–236.
3. Бердов Е.И. Пути и методы снижения уплотняющего воздействия движителей тракторов высоких тяговых классов / Е.И. Бердов, М.А. Русанов, В.М. Коновалов // Вестник Челябинского агроинженерного университета. – 2004. – Т. 41. – С. 22–25.
4. Богданов А.В. Снижение буксования ведущих колёс – фактор повышения эффективности и безопасности движения колёсных машин / А.В. Богданов, И.С. Житенко, И.А. Мурог // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2013. – № 2 (40). – С. 87–89.
5. Богданов А.В. Улучшение курсовой устойчивости как фактор повышения эффективности использования колесных мобильных машин и снижения дорожно-транспортных происшествий / А.В. Богданов, С.Ю. Попова // Агропродовольственная политика России. – 2015. – № 1 (37). – С. 19–22.
6. Богданов А.В. Обоснование параметров устройства для поддержания заданного давления воздуха в шинах колесных машин / А.В. Богданов, Ю.Б. Четыркин, Е.А. Лещенко // Аграрный вестник Урала. – 2012. – № 11–1 (103). – С. 44–46.
7. Годжаев З.А. Энергоустановки мобильных сельхозмашин с применением вихревых эжекторов выхлопных газов / З.А. Годжаев, Р.А. Серебряков, А.И. Кусков // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – № 2. – С. 3–8.
8. Горшков Ю.Г. Оптимальное давление воздуха в шинах колесных тракторов / Ю.Г. Горшков, А.В. Богданов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – № 9. – С. 15–18.
9. Качурин В.В. Безотказность комбинированных агрегатов на севе / В.В. Качурин // Сельский механизатор. – 2014. – № 11. – С. 17.

10. Определение рационального давления воздуха в шинах колесного трактора / Ю.Г. Горшков, А.В. Богданов, Ю.Б. Четыркин, Е.А. Лещенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 11. – С. 25–26.
11. Определение рациональных давлений воздуха в шинах колесных машин (тракторов) при выполнении транспортных работ / Ю.Г. Горшков, А.В. Богданов, Ю.Б. Четыркин, Е.А. Лещенко // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2012. – Т. 61. – С. 26–30.
12. Особенности улучшения работы машинно-тракторного агрегата за счет снижения колебания нагрузки / Д.Д. Нехорошев, П.В. Коновалов, А.Ю. Попов, Д.А. Нехорошев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 1 (53). – С. 345–351.
13. Повышение тягово-сцепных свойств и безопасности движения колесных машин подтормаживанием полуоси буксующего колеса / Ю.Г. Горшков, А.В. Богданов, Ю.Б. Четыркин и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 9. – С. 45–47.
14. Снижение времени свободного развития пожара путем усовершенствования пожарной колонки / Г.А. Полушин, А.А. Гребенщиков, А.В. Зайнишев, А.В. Богданов // Техносферная безопасность. – 2018. – № 3 (20). – С. 24–29.
15. Сравнительный анализ противопожарных систем защиты лесных машин / И.В. Григорьев, О.А. Куницкая, О.И. Григорьева, С.А. Войнаш // Строительные и дорожные машины. – 2019. – № 1. – С. 45–49.
16. Технические решения для повышения срока службы шин автолесовозов / И.В. Григорьев, О.А. Куницкая, Ю.В. Ланских, А.А. Перминов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2019. – № 5. – С. 13–19.
17. Шегельман И.Р. Оценка рейсовой нагрузки лесного трактора как важнейшего фактора проектирования и создания прогрессивных лесных машин / И.Р. Шегельман, П.В. Будник, В.Н. Баклагин // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 11. – С. 78–83.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Игорь Владиславович Григорьев – доктор технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесного комплекса ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», Россия, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, e-mail: silver73@inbox.ru.

Дмитрий Николаевич Афоничев – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Ольга Анатольевна Куницкая – доктор технических наук, профессор кафедры технологии и оборудования лесного комплекса ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет», Россия, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, e-mail: ola.ola07@mail.ru.

Алексей Анатольевич Просужих – старший преподаватель кафедры технологии и машин лесозаготовок ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», Россия, Республика Коми, г. Ухта, e-mail: prosuzhikh75@mail.ru.

Сергей Евгеньевич Рудов – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры № 3 ФГКВУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Санкт-Петербург, e-mail: 89213093250@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 18.09.2020

Дата принятия к печати 09.11.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Igor V. Grigoriev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Technology and Equipment of the Forest Complex, Arctic State Agrotechnological University, Russia, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, e-mail: silver73@inbox.ru.

Dmitriy N. Afonichev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Olga A. Kunitskaya, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dep. of Technology and Equipment of the Forest Complex, Arctic State Agrotechnological University, Russia, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, e-mail: ola.ola07@mail.ru.

Aleksey A. Prosuzhikh, Senior Lecturer, the Dept. of Technology and Machinery, Ukhta State Technical University, Russia, Komi Republic, Ukhta, e-mail: prosuzhikh75@mail.ru.

Sergey E. Rudov, Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer, the Dept. No. 3, Military Telecommunications Academy named after the Soviet Union Marshal Budienny S.M., Russia, Saint-Petersburg, e-mail: 89213093250@mail.ru.

Received September 18, 2020

Accepted after revision November 09, 2020

ТРАЕКТОРИЯ ДВИЖЕНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ ВХОДЕ В ПОВОРОТ

Александр Николаевич Беляев¹
Владимир Иванович Оробинский¹
Владимир Павлович Шацкий¹
Татьяна Владимировна Тришина¹
Ирина Алевтиновна Высоцкая²

¹Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

²Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Министерства обороны Российской Федерации

Машинно-тракторные агрегаты (МТА) на базе колёсных тракторов при выполнении агротехнологических операций на деформируемом опорном основании практически постоянно движутся по криволинейной траектории, которая изменяется или в результате внешних возмущений, или из-за колебаний параметров трактора и агрегируемой с ним сельскохозяйственной машины, что является признаком нарушения устойчивости. Наиболее динамически нагруженным режимом работы и сложным элементом кинематики МТА является участок «вход в поворот» его криволинейного движения с целью разворота на деформируемой рыхлой почве, на котором вследствие низкого сцепления шин колёс трактора с поверхностью происходит интенсивное боковое скольжение. В настоящее время наработки по изучению криволинейного движения имеются лишь только для сравнительно больших радиусов поворота и малых скоростей или для отдельного колёсного трактора, или тракторного поезда на его базе на транспортных работах. Исходя из вышесказанного следует, что с целью поиска путей повышения устойчивости движения МТА необходим анализ различных режимов его движения на участке входа в поворот на деформируемом опорном основании. В связи с этим в настоящей работе представлены таблично заданные зависимости координат траектории движения кинематического центра комбинированного навесного агрегата и отдельного трактора, определённые экспериментально в реальных условиях эксплуатации при совершении поворота на поворотной полосе на этапе «вход в поворот» на различных скоростях в виде массивов экспериментальных точек; для них получены аппроксимирующие функции явного вида. С помощью параметрических уравнений для тех же условий определены текущие координаты теоретических кривых траекторий кинематического центра трактора и проведены их сравнения с опытными, в результате чего выявлено что как увеличение скорости движения, так и массово-геометрических характеристик приводит к существенному отклонению МТА от рациональной траектории.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: машинно-тракторный агрегат, вход в поворот, траектория, боковое скольжение, устойчивость движения, нелинейная аппроксимация.

TRAJECTORY OF THE MACHINE-TRACTOR UNIT AT THE BEGINNING OF TURNING

Alexander N. Belyaev¹
Vladimir I. Orobinsky¹
Vladimir P. Shatsky¹
Tatyana V. Trishina¹
Irina A. Vysotskaya²

¹Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

²Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin
Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation

Machine-tractor units (MTU) based on wheeled tractors when performing agricultural operations on a deformable supporting base almost constantly move along a curvilinear trajectory which changes either as a result of external disturbances, or due to fluctuations in the parameters of the tractor and the agricultural machine aggregated with it, which can be a sign of stability violation. The most dynamically loaded mode of operation and a complex element of the MTU kinematics is the beginning of turning section of its curvilinear motion for the purpose of turning on deformable loosening soil, where due to the low adhesion of the tractor wheel tires to the surface, intensive side sliding occurs. At

present, theoretical and practical developments in the study of curvilinear motion are available only for relatively large turning radius and low speeds, as well as for a separate wheeled tractor or a tractor-trailer train designed for transport work. Taking the above mentioned into consideration, it follows that in order to find ways to improve the stability of the MTU movement, it is necessary to analyze various modes of its motion at the beginning of turning section of its curvilinear trajectory on a deformable supporting base. In this regard, this paper presents tabular dependencies of the coordinates of the trajectory of the motion of the kinematic center of a combined mounted unit and a separate tractor determined experimentally in real operating conditions when making a turn on the headland at the stage of the beginning of turning section at different speeds. Tabular dependencies are presented in the form of experimental pixel arrays with explicit approximating functions. Using parametric equations for equal conditions, the current coordinates of the theoretical curves of the trajectories of the kinematic center of the tractor are determined and compared with the experimental ones, as a result of which it is revealed that both an increase in the speed of movement and mass-geometric characteristics lead to a significant deviation of the MTU from the rational trajectory.

KEYWORDS: machine-tractor unit (MTU), beginning of turning, trajectory, sideslipping, stability of motion, nonlinear approximation.

Для того чтобы машинно-тракторные агрегаты (МТА) были эффективны, высокопроизводительны и конкурентоспособны, они должны соответствовать множеству эксплуатационных требований, из которых одним из наиболее важных является устойчивость движения – свойство трактора, позволяющее ему сохранять в требуемых пределах как положение продольной и вертикальной осей, так и направление движения при отсутствии управляющих воздействий тракториста независимо от скорости движения и действия внешних и инерционных сил различной природы [2].

Колёсные тракторы в составе МТА при выполнении сельскохозяйственных операций практически постоянно движутся по криволинейной траектории, которая непрерывно меняется или в результате действий водителя, или при возникновении каких-либо внешних возмущений, или из-за изменения в процессе движения некоторых характеристик и параметров трактора и агрегируемой с ним сельскохозяйственной машины, что является признаком нарушения его устойчивости. Вращение трактористом рулевого колеса на некоторый угол ещё не означает, что при этом будет обеспечено движение МТА по требуемой траектории. Его действия при этом являются лишь предпосылками к тому, чтобы трактор двигался по траектории, наиболее близкой к заданной [7].

Незначительное отклонение МТА от требуемой рациональной траектории, а его продольной оси – от заданного направления движения за счёт, например, упругости шин вполне допустимо. Но если весь МТА или его отдельные элементы, или оси трактора скользят, то в этом предельном случае имеет место потеря устойчивости в боковом направлении, в том числе занос, как правило, заднего моста трактора.

Наиболее нагруженным режимом работы и сложным элементом кинематики МТА при выполнении сельскохозяйственных операций является его криволинейное движение с целью разворота на поворотной полосе на деформируемой почве, которое к тому же зачастую имеет и различного рода геометрические препятствия, обусловленные в основном особенностями профиля поля.

При этом процесс полного цикла, например беспетлевого кругового поворота, который лежит в основе большинства известных способов поворота, как правило, состоит из трёх участков или же их комбинаций:

1-й участок – «вход в поворот»: радиус кривизны меняется от $R = \infty$ до $R = R_T$;

2-й участок – «установившийся поворот»: радиус $R = R_m$ – постоянный;

3-й участок – «выход из поворота»: радиус кривизны меняется от $R = R_T$ до $R = \infty$.

На рыхлой же почве переход колёсного МТА от движения по прямолинейной траектории к движению по окружности постоянного минимально допустимого радиуса R_T невозможен, ввиду того что на участке «вход в поворот» вследствие малого сцепления шин колёс трактора с деформируемым опорным основанием происходит их интенсивное боковое скольжение. Также при этом из-за возникновения бульдозерного эффекта возрастает сопротивление почвы с внешней стороны колеса и от её смятия, что

является причиной значительного увеличения ширины и глубины колеи, сопротивления движению, динамической нагрузки почвы, трактора и МТА в целом.

Исходя из вышесказанного следует, что для поиска возможных путей уменьшения различных потерь и увеличения при этом запаса силы тяги необходимо проведение анализа режимов криволинейного движения колёсного трактора по рыхлому и деформируемому основанию.

На сегодняшний день как зарубежные, так и отечественные учёные достаточно полно и содержательно изучили и исследовали процесс прямолинейного движения колёсных машин, в том числе и тракторов, по податливой опорной поверхности, но практически не затрагивали вопрос движения по криволинейной траектории. Имеющиеся экспериментальные и теоретические выкладки, как правило, содержат множество допущений и ограничений, из-за чего не могут отражать полной реальной картины взаимодействия эластичной шины колёсного движителя с деформируемым грунтовым основанием и, как следствие, применяться в том числе для оценки и анализа режимов движения машины [1].

В настоящее время как теоретические, так и экспериментальные наработки по изучению криволинейного движения имеются лишь только для сравнительно больших радиусов поворота и малых скоростей или для отдельного колёсного трактора, или тракторного поезда на его базе на транспортных работах. И для них же и разработаны, с определённой долей точности, методы теоретических и экспериментальных исследований [3, 4]. Причём на деформируемой почве отдельный трактор подвергался исследованиям при круговом движении, что не вполне соответствует реальным полевым условиям эксплуатации МТА. Следовательно, вышеупомянутые теоретические и экспериментальные разработки и предпосылки не в полной мере отражают реальную картину криволинейного движения навесного МТА на базе колёсного трактора и не могут быть использованы для оценки его кинематических и динамических параметров, так как носят частный характер, отдельные их положения противоречивы и не подтверждаются на практике.

Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на устойчивость движения колёсных тракторов и различной компоновки навесных агрегатов на его базе, включая комбинированных (с орудиями на фронтальной и задней навесных системах), при повороте с малыми радиусами в условиях реальной эксплуатации, в том числе при неустановившемся режиме поворота – на самом динамически нагруженном участке – «вход в поворот», не исследовалось [1].

Несмотря на то что вопросам качения упругого колеса по деформируемой почве посвящено большое количество исследований, комплексно процессы их взаимодействия не описаны. В состав практически всех моделей входят, как правило, в большом количестве, эмпирические коэффициенты, определение которых крайне затруднено, и громоздкие расчётные зависимости, неудобные для анализа процесса криволинейного движения колёсного трактора, что ограничивает их широкое применение [10]. При этом зачастую в этих моделях множество определяющих факторов или некорректно учитываются, или не учитываются вообще. Попытки учесть их при теоретических исследованиях приводят к искажению законов механики [11, 13], вследствие чего более-менее приемлемая для практических расчётов точность получается лишь при малых углах поворота управляемых колёс и низких скоростях движения. Следовательно, возникает необходимость поиска новых методов, которые могли бы достаточно точно описать различные режимы неустановившегося движения трактора по деформируемой поверхности.

Так как при функциональном проектировании технических систем, наряду с теоретическими, широко применяются экспериментальные факторные математические модели [8], то для решения поставленной задачи нами проведены полевые испытания трактора ЛТЗ-155 и навесного комбинированного широкозахватного МТА на его базе,

составленного по схеме КРШ-8,1 + НП-5,4 + ЛТЗ-155 + КРШ-8,1, в реальных условиях функционирования на поворотной полосе при выполнении кругового беспетлевого поворота с варьированием скорости движения. При этом исходя из выбранных условий экспериментальных исследований и фазовые координаты, и выходные параметры представляют собой случайные процессы, так как их варьирование носит характер, обусловленный случайными внешними возмущающими воздействиями [3, 4].

Для регистрации информации о физических параметрах трактора или МТА, необходимых при разработке математической модели, выбран некоторый интервал дискретизации времени t , являющийся независимой переменной, и в соответствии с этими промежутками t зафиксированы величины фазовых координат и выходных параметров. Эти значения представляют собой случайные последовательности некоррелированных чисел, входящие в непрерывные множества. Также важным условием проведения эксперимента является стационарность, кроме математического ожидания, которое можно отфильтровать и применять центрированные значения, и эргодичность исследуемых случайных процессов.

Для получения теоретической экспериментальной факторной математической модели необходимо также выявить её структуру и определить численные значения её параметров. Исходя из этого получены опытные данные кривой траектории поворота МТА, включающие путь, проходимый его кинематическим центром – серединой заднего моста трактора, и курсовой угол поворота остова трактора. В результате обработки экспериментальных измерений с применением одного из программных пакетов комплекса системы компьютерной алгебры Maple [6] получена таблично заданная функция зависимости координат траектории движения кинематического центра трактора (x_i, y_i) , где количество точек измерения $i = 1, \dots, N$.

Например, для комбинированного МТА с задней и фронтальной навесками машин, оборудованного по схеме КРШ-8,1 + НП-5,4 + ЛТЗ-155 + КРШ-8,1, при поступательной скорости движения $v = 0,68$ м/с, максимальном угле поворота внутреннего по отношению к центру поворота переднего управляемого колеса $\alpha_{BHmax} = 32^\circ$, угловой скорости поворота передних управляемых колёс $\omega_1 = 0,28$ 1/с, угловой скорости поворота задних колёс $\omega_2 = 0$ 1/с, ширине колеи $B = 1,8$ м и продольной базе трактора $L = 2,6$ м был получен массив экспериментальных координат траекторий движения (x_i, y_i) кинематического центра МТА на входном участке поворотной полосы, который приведён в таблице 1.

Таблица 1. Координаты траектории движения МТА при $v = 0,68$ м/с

$x_i, \text{ м}$	0	0	0	0	0,00685	0,0186	0,0314
$y_i, \text{ м}$	0	0,231	0,462	0,673	0,846	1,06	1,21

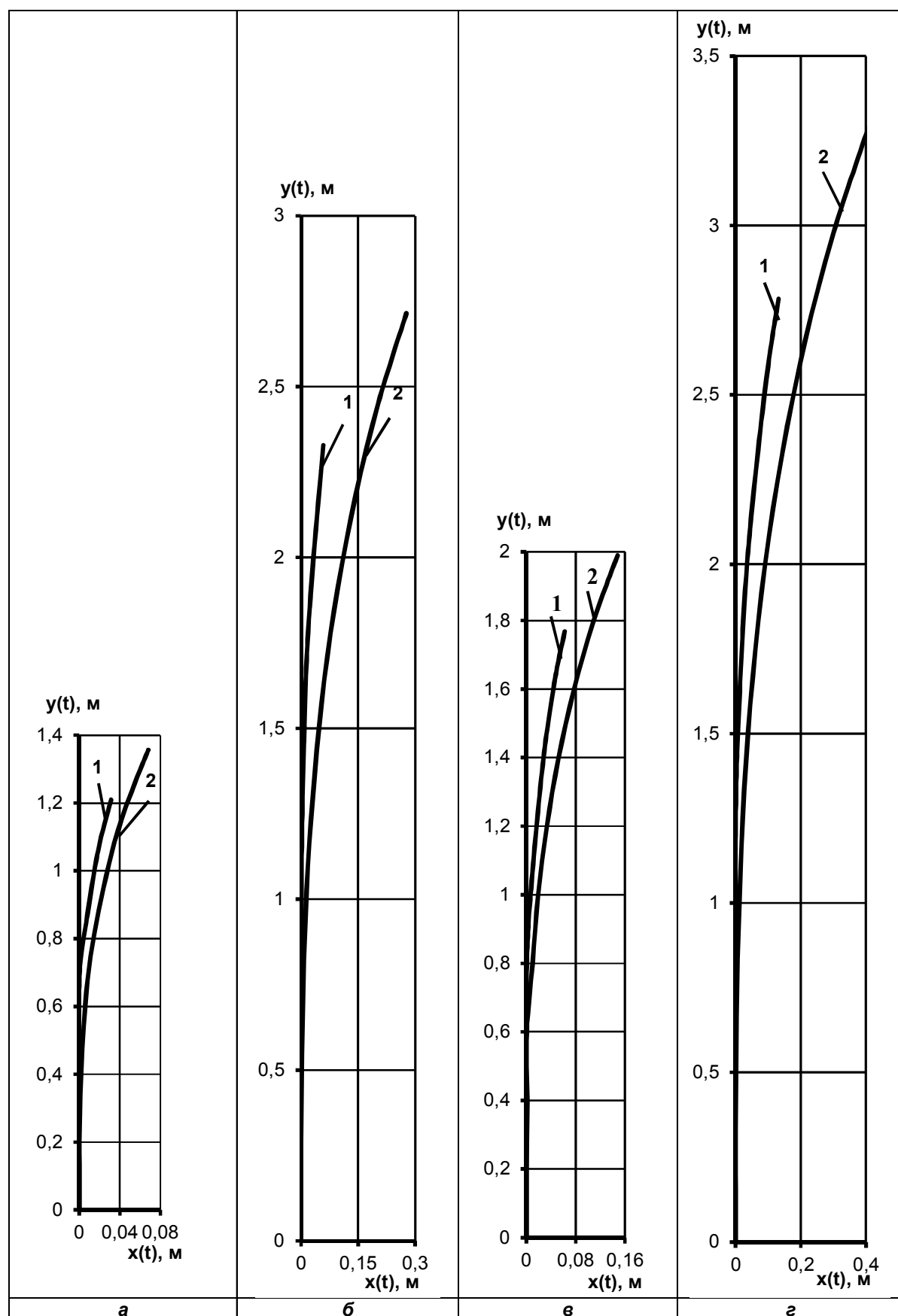
Так как на начальном участке траектории поворота при $x = 0$ касательная к кривой вертикальна, то из анализа числовых значений координат, представленных в таблице 1, вытекает, что при малых значениях абсциссы x нелинейная аппроксимация данных её массива позволяет получить функцию явного вида, описываемую формулой [5]

$$y(x) = px^q, \quad (1)$$

где p и q – вполне определённые постоянные, $0 < q < 1$.

В соответствии с формулой (1) для указанного массива экспериментальных точек была получена следующая аппроксимирующая функция, график которой представлен на рисунке (вариант а, кривая 1):

$$y(x) = 3,47 x^{0,28}.$$



Траектории кинематического центра МТА при входе в поворот:
 а – $v = 0,68$ м/с; б – $v = 1,0$ м/с; в – $v = 1,37$ м/с; г – $v = 1,67$ м/с

Для вышеуказанного МТА при $v = 1,37$ м/с и тех же конструктивных и эксплуатационных характеристиках получены массив опытных координат траекторий движения (x_i, y_i) на входном участке поворотной полосы (табл. 2) и его аппроксимирующая функция, график которой представлен на рисунке (вариант б, кривая 1):

$$y(x) = 4,87 x^{0,26}.$$

Таблица 2. Координаты траектории движения МТА при $v = 1,37$ м/с

x_i , м	0	0	0	0,00393	0,0144	0,0327	0,0586
y_i , м	0	0,4	0,85	1,299	1,699	1,999	2,328

Опытные значения координат траекторий движения (x_i, y_i) на участке «вход в поворот» для кинематического центра отдельного трактора ЛТЗ-155 при тех же исходных параметрах $\omega_1 = 0,28$ 1/с, $\omega_2 = 0$ 1/с, $B = 1,8$ м, $L = 2,6$ м при $v = 1,0$ м/с и $v = 1,67$ м/с приведены соответственно в таблицах 3 и 4. Для них получены следующие аппроксимирующие функции:

$$y(x) = 3,98 x^{0,3},$$

$$y(x) = 4,75 x^{0,27},$$

а также построены их графики (вариант в, кривая 1 и вариант г, кривая 1, см. рис.).

Таблица 3. Координаты траектории движения трактора при $v = 1,0$ м/с

x_i , м	0	0	0	0,00654	0,0264	0,0453	0,0622
y_i , м	0	0,325	0,751	0,999	1,379	1,619	1,768

Таблица 4. Координаты траектории движения трактора при $v = 1,67$ м/с

x_i , м	0	0	0	0,0185	0,0451	0,0948	0,132
y_i , м	0	0,6	1,2	1,729	2,1088	2,546	2,783

Таким образом, используя полученные выборки значений факторов и выходных параметров, можно дать оценку вероятностных характеристик исследуемого случайного процесса, а также разработать вероятностную математическую модель изучаемого объекта.

В работе [12] нами получены в параметрическом виде уравнения для определения текущих координат $x(t)$ и $y(t)$ теоретической кривой траектории кинематического центра при равномерном движении колёсного транспортного средства при входе в поворот, соответствующие точке середины заднего моста, также принятой за кинематический центр, как и в рассматриваемом случае:

$$x(t) = v \int_0^t \sin \left[v \int_0^{t_1} \frac{\sin(\omega_1 \tau + \omega_2 \tau)}{\left[\frac{B}{2} (tg \omega_1 \tau + tg \omega_2 \tau) + L \right] \cdot \cos \omega_1 \tau \cos \omega_2 \tau} d\tau \right] dt_1; \quad (2)$$

$$y(t) = v \int_0^t \cos \left[v \int_0^{t_1} \frac{\sin(\omega_1 \tau + \omega_2 \tau)}{\left[\frac{B}{2} (tg \omega_1 \tau + tg \omega_2 \tau) + L \right] \cdot \cos \omega_1 \tau \cos \omega_2 \tau} d\tau \right] dt_1. \quad (3)$$

Результаты расчётов по формулам (2) и (3) для ранее указанных исходных данных и варьируемых скоростей $v = 0,68$ м/с, $v = 1,0$ м/с, $v = 1,37$ м/с и $v = 1,67$ м/с представлены графически на рисунке – варианты а, б, в и г, кривые 2. Следует отметить, что так как уравнения (2) и (3) получены для равномерного движения, то теоретическая траектория не зависит от массы агрегата и от силы, затрачиваемой на его передвижение [9].

Как видно из анализа графиков, для всех рассматриваемых случаев значения экспериментальных точек находятся ниже теоретических кривых, максимальные величины абсцисс которых, соответствующие концу рассматриваемого этапа манёвра, в 2,17–4,73 раза, а ординат – на 0,15–0,5 м больше опытных, что является признаком бокового скольжения, вследствие этого, очевидно, значительного отклонения МТА от требуемой траектории входа в поворот.

Нахождение МТА на действительной траектории (см. рис. – варианты а, б, в, г, кривые 1) из-за меньшей её кривизны в сравнении с теоретической (см. рис. – варианты а, б, в, г, кривые 2), не позволяет ему плавно перейти на движение по участку установившегося поворота с минимально возможным радиусом и вызывает дополнительное отклонение от рациональной траектории.

Увеличение как скорости движения, так и массово-геометрических характеристик приводит к ужесточению динамических процессов, происходящих при взаимодействии ведущих колёс трактора с деформируемой почвой, и существенно изменяет изучаемые кинематические параметры МТА.

Полученная аналитическая действительная траектория входа в поворот позволяет оценить кинематические характеристики МТА в зависимости от основных конструктивных и эксплуатационных параметров (скорость движения, продольная база, ширина колеи, углы поворотов колёс, масса), а также исследовать движение по заданной траектории [9]. При этом для её построения необходимо иметь лишь экспериментальные координаты траектории движения кинематического центра трактора, что выполнимо при проведении достаточно простых и доступных экспериментальных исследований, в ходе выполнения которых отпадает необходимость поиска большого количества эмпирических зависимостей и коэффициентов, определение которых крайне затруднено.

Библиографический список

1. Беляев А.Н. Повышение эффективности работы машинно-тракторных агрегатов на базе интегральных универсально-пропашных колёсных тракторов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / А.Н. Беляев. – Мичуринск-наукоград, 2019. – 440 с.
2. ГОСТ Р 31507-2012. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. – Введ. 2013–09–01. – Москва : Стандартиформ, 2013. – 54 с.
3. ГОСТ 25836-83 Тракторы. Виды и программы испытаний. – Введ. 1985–01–01. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 29 с.

4. ГОСТ 7057-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. – Введ. 2003–01–01. – Москва : Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.
5. Дьяконов В.П. Энциклопедия компьютерной алгебры / В.П. Дьяконов. – Москва : ДМК-Пресс, 2009. – 1264 с.
6. Дьяконов В.П. Maple 10/11/12/13/14 в математических расчетах / В.П. Дьяконов. – Москва : ДМК-Пресс, 2011. – 800 с.
7. Смирнов Г.А. Теория движения колёсных машин / Г.А. Смирнов. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва : Машиностроение, 1990. – 352 с.
8. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем / В.П. Тарасик. – Минск : Дизайн ПРО, 1997. – 640 с.
9. Теоретическая механика : учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / С.В. Болотин, А.В. Карапетян, Е.И. Кугушев, Д.В. Трещев. – Москва : Издательский центр «Академия», 2010. – 432 с.
10. Тракторы: теория : учебник для вузов по специальности «Автомобили и тракторы» / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; под общ. ред. В.В. Гуськова. – Москва : Машиностроение, 1988. – 374 с.
11. Трояновская И.П. Механика криволинейного движения тракторных агрегатов : монография / И.П. Трояновская. – Челябинск : ЧГАУ, 2009. – 152 с.
12. Computation of Vehicle Motion Path upon Entering Turn / A.N. Belyaev, V.G. Kozlov, I.A. Vysotskaya, T.V. Trishina // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). – 2019. – Vol. 9, No. 1. – Pp. 4527–4531.
13. Troyanovskaya I.P. Model for stationary turn of an arbitrary vehicle / I.P. Troyanovskaya, S.A. Voinash // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 450 (3). – 032035. DOI: 10.1088/1757-899X/450/3/032035.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Александр Николаевич Беляев – доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: aifkm_belyaev@mail.ru.

Владимир Иванович Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agroeng.vsau.ru.

Владимир Павлович Шацкий – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой математики и физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agroeng.vsau.ru.

Татьяна Владимировна Тришина – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: tata344@rambler.ru.

Ирина Алевтиновна Высоцкая – кандидат физико-математических наук, преподаватель кафедры математики ФГКВУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: i.a.trishina@gmail.com.

Дата поступления в редакцию 18.09.2020

Дата принятия к печати 24.11.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Alexander N. Belyaev, Doctor of Engineering Sciences, Docent, Head of the Dept. of Applied Mechanics Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: aifkm_belyaev@mail.ru.

Vladimir I. Orobinsky, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Dean of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agroeng.vsau.ru.

Vladimir P. Shatsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Mathematics and Physics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia, e-mail: agroeng.vsau.ru.

Tatyana V. Trishina, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia, e-mail: tata344@rambler.ru.

Irina A. Vysotskaya, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Lecturer, the Dept. of Mathematics, Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: i.a.trishina@gmail.com.

Received September 18, 2020

Accepted after revision November 24, 2020

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ КОЛЁСНОГО ТРАКТОРА КОРРЕКТИРОВАНИЕМ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НАГРУЗОК НА КОЛЁСА

Андрей Викторович Ворохобин

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

В сельскохозяйственном производстве колёсными универсально-пропашными тракторами выполняется большой объём работ. Условия их выполнения очень разнообразны как по агроландшафту, так и по тягово-сцепным свойствам. В Центрально-Чернозёмном регионе около 28% сельскохозяйственных угодий расположено на склонах с углами 5–7°. Установлено, что на склоне 8–10° полезная тяговая мощность трактора снижается на 25–27%, а боковое смещение машины от технологической колеи приводит к снижению биологической урожайности, ухудшению условий труда механизатора и нарушению эргономических требований. Известен ряд способов повышения устойчивости движения колёсных тракторов, общим недостатком которых является невозможность адаптации к внешним условиям. Дополнительное ухудшение показателей устойчивости происходит при движении в сложных по проходимости дорожных условиях. Одним из перспективных направлений повышения эффективности использования колёсных тракторов при движении в таких условиях является применение корректирования вертикальных нагрузок на колёса. Рассматривается возможность такого корректирования посредством регулируемого положения балластного груза как в продольном, так и поперечном направлении. Установлено, что степень балластирования передних колёс трактора можно регулировать изменением как веса балластного груза $G_{гр}$, так и его положения относительно передней оси трактора $a_{гр}$. При этом регулирование степени балластирования путём изменения $a_{гр}$ уменьшает вес трактора за счёт снижения $G_{гр}$. Это позволяет уменьшить момент сопротивления перекачиванию агрегата в среднем на 5–8%. Регулирование степени балластирования в поперечном направлении обеспечивает выравнивание вертикальных нагрузок на колёсах при работе трактора на поперечном склоне, что повышает устойчивость движения и обеспечивает оптимальную нагрузку на каждое колесо по критерию допустимого буксования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трактор, балластный груз, регулирование, вертикальные нагрузки, корректирование, устойчивость.

IMPROVING THE STABILITY OF A WHEELED TRACTOR MOTION BY ADJUSTING VERTICAL LOADS ON THE WHEELS

Andrey V. Vorokhobin

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

In agricultural production, wheeled universal arable tractors perform a large amount of work. The conditions for their implementation are very diverse both in the agricultural landscape and in traction & coupling properties. In the Central Chernozem Region, about 28% of agricultural land is located on slopes with angles of 5–7°. It was found that on a slope of 8–10°, the useful traction power of the tractor decreases by 25–27%, and the lateral displacement of the machine from the technological track leads to a decrease in productivity, deterioration in the working conditions of the machine operator and violation of ergonomic requirements. There are a number of ways to increase the stability of the wheeled tractor motion, a common disadvantage of which is the inability to adapt to external conditions. Additional deterioration of stability indicators occurs when driving in difficult road conditions. One of the promising directions for improving the efficiency of the use of wheeled tractors when driving in such conditions is the use of correction of vertical loads on the wheels. The possibility of such a correction by means of an adjustable position of the ballast load in both the longitudinal and transverse directions is considered. It is established that the degree of ballasting of the front wheels of the tractor can be adjusted by changing both the weight of the ballast load and its position relative to the front axle of the tractor. At the same time, adjusting the degree of ballasting by changing its position relative to the front axle reduces the weight of the tractor. This reduces antitorque resistance of the unit by an average of 5–8%. Adjusting the degree of ballasting in the transverse direction ensures the alignment of the vertical loads on the wheels when the tractor is on a cross slope, which increases the stability of the motion and ensures the optimal load on each wheel according to the criterion of permissible slipping.

KEYWORDS: tractor, ballast load, regulation, vertical loads, correction, stability.

В сельскохозяйственном производстве колёсными тракторами выполняется большой объём работ. Условия выполнения этих работ очень разнообразны как по агроландшафту, так и по тягово-сцепным свойствам.

В работе [12] И.А. Трофимов, Л.С. Трофимова и Е.П. Яковлева анализируют сельскохозяйственные угодья Центрального Чернозёмья. Показано, что распахиваются в основном (76%) равнинные участки агроландшафтов. Однако 24% пашни расположено на эрозионно опасных склонах. Практически повсеместно во всех областях ЦЧР распахиваются и более крутые эрозионно опасные склоны. На пологих, слабо эрозионно опасных склонах (2–5°) расположен 51% пашни в Белгородской области, 28% пашни – в Курской области, 16–19% – в Воронежской и Липецкой областях, 6% – в Тамбовской области. На слабопокатых эрозионно опасных склонах (5–7°) расположено 4, 3, 2 и 1% площади пашни соответственно в Белгородской, Воронежской, Курской и Липецкой областях.

Уклоны рельефа в значительной степени определяют особенности экосистем и хозяйственной деятельности. Наличие уклонов рельефа в сочетании с тяжёлым гранулометрическим составом почв и выпадением осадков представляют большую эрозионную опасность и способствуют развитию водной эрозии. Равнинные угодья с небольшими уклонами (до 1°) и со слабовыраженными склонами (до 2°) преобладают на территории всех областей ЦЧР.

Около 28% площади сельскохозяйственных угодий ЦЧР расположены на эрозионно опасных склонах и распределены по уклонам рельефа следующим образом. На пологих слабо эрозионно опасных склонах (2–5°) находится 21% площади сельскохозяйственных угодий; на слабопокатых эрозионно опасных склонах (5–7°) – 4% угодий; на покатых сильно эрозионно опасных склонах (7–10°) – 2% угодий; на крутых особо эрозионно опасных склонах (более 10°) – 1% площади угодий.

Возделывание склоновых сельскохозяйственных угодий оказывает определённое влияние на показатели работы мобильных энергетических средств. Установлено, что начиная уже с уклона местности 5–7°, происходит значительное уменьшение поступательной скорости машинно-тракторного агрегата. На склоне 8–10° полезная тяговая мощность снижается на 25–27%. Кроме того, боковое смещение машины от технологической колеи приводит к снижению биологической урожайности, ухудшению условий труда механизатора и нарушению эргономических требований.

Таким образом, устойчивость является важной характеристикой, оказывающей влияние на эксплуатационные показатели работы машинно-тракторного агрегата в целом.

Из литературных источников известны следующие основные способы повышения устойчивости движения. Это использование низкоклинренсных тракторов, установка сдвоенных колёс, съёмных уширительных ободьев, противовесов и др. [1, 3, 4, 7]. Повлиять на устойчивость движения можно, меняя давление в шинах колёс, поскольку при этом также будет меняться величина боковых упругих сил, а следовательно, и углы увода шин.

Все вышеперечисленные способы позволяют уменьшить вероятность опрокидывания тракторного агрегата при работе на склоне. Однако они обладают малой эффективностью, поскольку не являются адаптивными к внешним условиям.

Для повышения устойчивости движения вдоль горизонтали склона необходимо компенсировать боковой увод колёс трактора. Это можно реализовать, подвернув их вверх по склону на величину угла увода, причём возможен поворот как колёс только первой оси, так и всех управляемых колёс.

Так, в работе [8] описан способ, когда подворачиваются все управляемые колёса трактора, при этом уменьшаются боковые реакции на колёсах, а следовательно, и боковой увод агрегата. Эффективность предложенного способа подтверждена результатами проведённых исследований. В частности, установлено, что поворот задних колёс трак-

тора оказывает существенное влияние на курсовую устойчивость движения. Однако В.С. Стеновский, В.В. Реймер и С.В. Юмакаева отмечают, что поворот колёс при движении на склонах больших углов приводит к росту сопротивления движению, то есть необходимо адаптировать подруливание управляемыми колёсами в зависимости от условий движения.

Ухудшается устойчивость трактора и при движении в сложных по проходимости дорожных условиях. Это вызвано низкими тягово-сцепными свойствами колёсных тракторов. Одним из широко применяемых способов повышения тягово-сцепных свойств колёсных тракторов является балластирование [2, 5, 13]. Установка балластных грузов оказывает влияние на распределение вертикальных нагрузок по осям, а следовательно, на устойчивость движения трактора. Однако это распределение является нерегулируемым, что снижает эффективность применения балласта. Автоматизация изменения положения балластного груза позволит корректировать вертикальные нагрузки по колёсам трактора в зависимости от условий движения, что будет способствовать улучшению эксплуатационных показателей агрегата [2].

Таким образом, целью исследований является повышение устойчивости колёсного трактора корректированием вертикальных нагрузок при движении по неровной поверхности.

Исследован вариант движения колёсного трактора с навесной сельскохозяйственной машиной на подъём. Особенностью представленного агрегата является возможность регулирования положения балластного груза в продольном направлении (рис. 1).

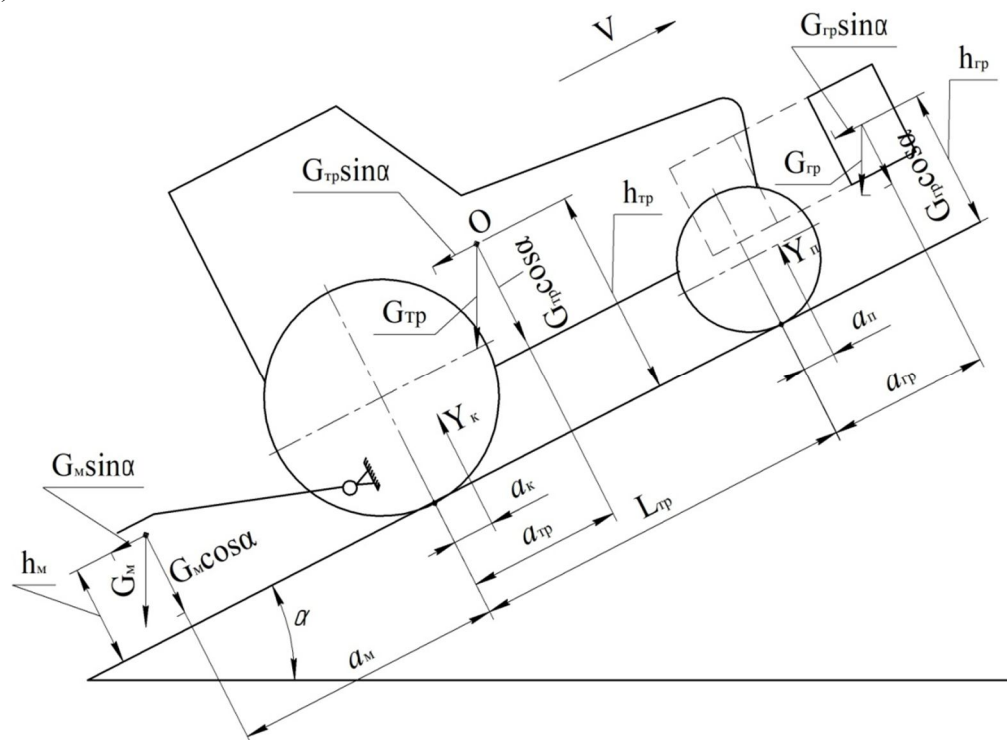


Рис. 1. Схема сил, действующих на колёсный трактор с навесной сельскохозяйственной машиной при её транспортном положении и регулируемом в продольном направлении положении балластного груза: $G_{тр}$, G_m , $G_{гр}$ – вес соответственно трактора, навесной сельскохозяйственной машины и балластного груза; Y_n , Y_k – вертикальные реакции соответственно на передние и задние колёса трактора; $a_{тр}$ – продольная координата центра тяжести трактора; a_m – расстояние от задней оси трактора до центра тяжести навесной сельскохозяйственной машины; $a_{гр}$ – расстояние от передней оси трактора до центра тяжести балластного груза; $L_{тр}$ – продольная база трактора; $h_{тр}$, h_m , $h_{гр}$ – высота приложения центра тяжести соответственно трактора, навесной сельскохозяйственной машины и балластного груза; a_n , a_k – плечо действия соответственно вертикальной реакции на передние и задние колёса трактора

Рассмотрим транспортное положение навесной машины, так как в этом случае условная вертикальная нагрузка G_m от действия навесной машины оказывает наибольшее влияние на соотношение нормальных реакций почвы на передние Y_n и задние Y_k колёса трактора. При таком варианте имеет место наибольшая разгрузка передних колёс трактора по сравнению с движением без навесной машины или при её рабочем положении. При рабочем положении навесной машины вертикальная нагрузка, передаваемая от неё на колёса трактора, во многих случаях меньше G_m в результате влияния силового воздействия рабочих органов и опорных колёс этой машины [2].

Для представленной на рисунке 1 схемы имеем следующие выражения для определения вертикальных реакций почвы на передние Y_n и задние Y_k колёса трактора:

$$Y_n = \frac{G_{tr.o} (\cos \alpha \cdot a_{tr} - \sin \alpha \cdot h_{tr}) - G_m (\cos \alpha \cdot a_m + \sin \alpha \cdot h_m) + G_{gr} (\cos \alpha (L_{tr} + a_{gr}) - \sin \alpha \cdot h_{gr}) - M_f}{L_{tr}}, \quad (1)$$

$$Y_k = \frac{G_{tr.o} \cdot (\cos \alpha (L_{tr} - a_{tr}) + \sin \alpha \cdot h_{tr}) + G_m \cdot (\cos \alpha (L_{tr} + a_m) + \sin \alpha \cdot h_m) - G_{gr} (\cos \alpha \cdot a_{gr} + \sin \alpha \cdot h_{gr}) + M_f}{L_{tr}}, \quad (2)$$

где $G_{tr.o}$ – вес трактора без балластного груза;

$M_f = Y_k \cdot a_k + Y_n \cdot a_n$ – суммарный момент сопротивления перекачиванию.

Момент сопротивления перекачиванию агрегата M_f для транспортного положения навесной машины представим в следующем виде [6]:

$$M_f = G_a \cdot P_f = (G_{tr.o} + G_m + G_{gr}) \cdot f_{tr} \cdot \frac{r_n + r_k}{2}, \quad (3)$$

где G_a – суммарный вес навесного агрегата при транспортном положении навесной машины;

P_f – сила сопротивления качению;

r_n, r_k – радиусы качения соответственно передних и задних колёс трактора,

f_{tr} – коэффициент сопротивления качению трактора (принят одинаковым для передних и задних колёс).

Решим уравнения (1) и (2) для следующих вариантов:

- движение без балластного груза;
- движение с балластным грузом, но без регулирования его положения;
- движение с балластным грузом и регулированием его положения в продольном направлении.

Расчёты проведены для трактора тягового класса 2,0 в агрегате с навесной сельскохозяйственной машиной.

Исходные данные для расчёта:

$G_{tr.o} = 45,5$ кН;

$G_m = 7,9$ кН;

$G_{gr} = 6,5$ кН;

$a_{tr} = 0,95$ м;

$a_m = 2$ м;

$L_{tr} = 2,45$ м;

$B = 1,7$ м [9].

Результаты расчёта приведены графически на рисунке 2. Так как вертикальная реакция на задние колёса трактора Y_k изменяется незначительно, то построим только зависимость вертикальной реакции на передние колёса Y_n .

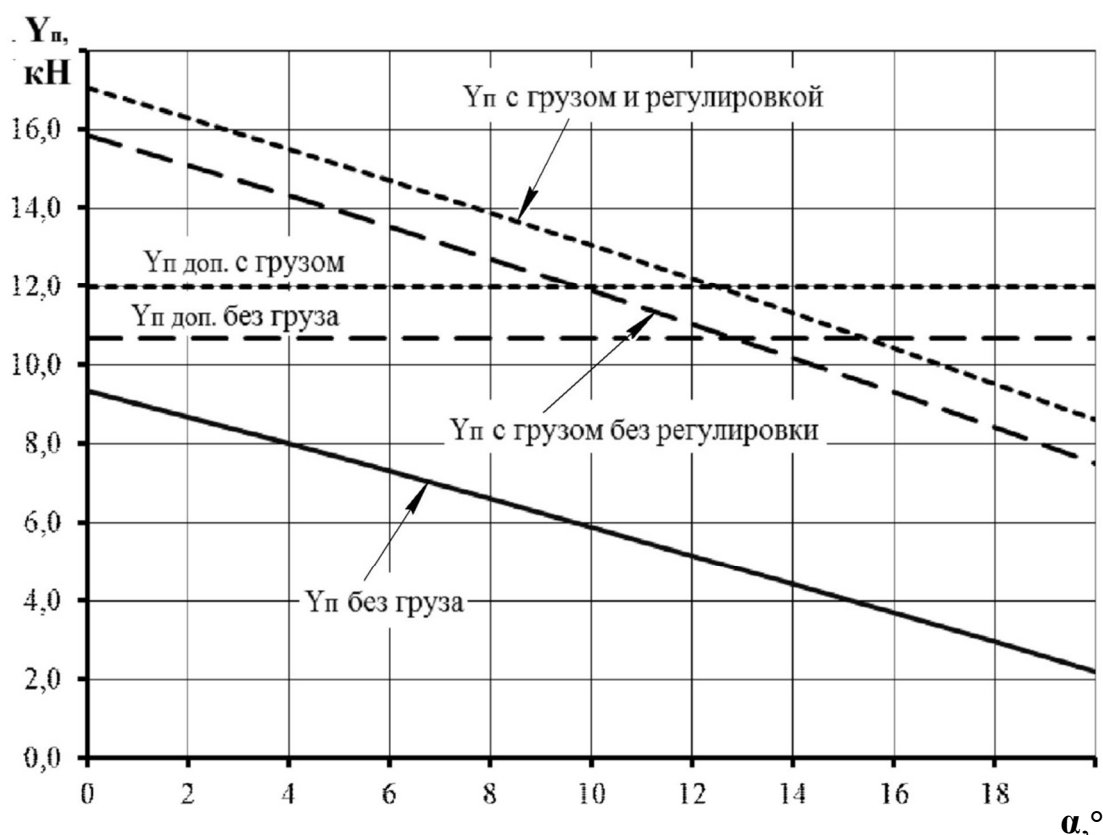


Рис. 2. Изменение вертикальной реакции на передние колёса трактора при движении без балласта, с нерегулируемым и с регулируемым балластом в зависимости от угла подъёма

Из анализа зависимостей на рисунке 2 следует, что при увеличении угла подъёма вертикальные реакции на передние колёса трактора снижаются. При этом с учётом критерия сохранения удовлетворительной управляемости на график нанесены линии допустимой нагрузки на передние колеса ($Y_{n, доп}$) соответственно без груза и с балластным грузом. Таким образом, при движении с нерегулируемым балластным грузом управляемость ухудшается при угле 10° , а при регулировании положения балластного груза – при угле 12° .

Для обоснования целесообразности регулирования момента от действия балластного груза, равного $M_{гр} = G_{гр} \cdot a_{гр}$, введём коэффициент $\lambda_{\delta} = \frac{G_{гр}}{G_{гр,0}}$, характеризующий степень балластирования. Кроме того, для оценки изменения нагрузок на переднюю и заднюю оси трактора от действия балластного груза введём коэффициенты

$$\lambda_n = \frac{Y_{n,i}}{Y_{n,0}} \text{ и } \lambda_k = \frac{Y_{k,i}}{Y_{k,0}},$$

где $Y_{n,i}$ и $Y_{k,i}$ – текущее значение вертикальных реакций соответственно на передние и задние колёса;

$Y_{n,0}$ и $Y_{k,0}$ – значение вертикальных реакций соответственно на передние и задние колёса без балластного груза, но с навесной машиной.

На рисунке 3 представлена графическая зависимость коэффициентов нагрузки на передние $\lambda_{\text{п}}$ и задние $\lambda_{\text{к}}$ колёса от коэффициента, характеризующего степень переднего балластирования трактора $\lambda_{\text{б}}$ при $a_{\text{гр}} = 0$ м и $a_{\text{гр}} = 1$ м. Весовые и геометрические параметры, входящие в эти уравнения, приняты примерно равными параметрам тракторов 4К4а тягового класса 2.

На рисунке 3 видно, что при увеличении степени балластирования за счёт $G_{\text{гр}}$ (при $a_{\text{гр}} = 0$) коэффициент нагрузки на переднюю ось трактора $\lambda_{\text{п}}$ возрастает, а коэффициент нагрузки на заднюю ось трактора $\lambda_{\text{к}}$ не изменяется. В другом случае ($a_{\text{гр}} > 0$) при увеличении степени балластирования изменение нагрузки на переднюю ось трактора $\lambda_{\text{п}}$ происходит интенсивней, чем в первом варианте, так как уменьшается нагрузка на заднюю ось трактора $\lambda_{\text{к}}$.

Таким образом, степень балластирования передних колёс трактора можно регулировать как за счёт изменения $G_{\text{гр}}$, так и $a_{\text{гр}}$. Однако регулирование балластирования передних колёс при $a_{\text{гр}} > 0$ позволяет уменьшить $\lambda_{\text{к}}$, что рационально, если трактор используется с тяжёлыми навесными машинами, и вертикальная нагрузка на задние колеса превышает допустимые пределы по грузоподъёмности их шин и чрезмерному уплотнению почвы.

В современных зарубежных и отечественных тракторах с колёсной схемой 4К4а имеются рекомендации по регулированию $G_{\text{гр}}$ за счёт изменения количества грузов [8, 9, 10, 11], но не предусмотрено изменение $a_{\text{гр}}$. Изменение степени балластирования за счёт роста $G_{\text{гр}}$ ($a_{\text{гр}} = \text{const}$) приводит к повышению потерь на перекачивание трактора. При регулировании степени балластирования за счёт изменения $a_{\text{гр}}$ появляется возможность уменьшить вес трактора уменьшением $G_{\text{гр}}$. Так, например, на рисунке 3 видно, что для обеспечения одной и той же нагрузки на переднюю ось трактора меньшая степень балластирования потребует при $a_{\text{гр}} > 0$. При этом установлено, что снижение момента сопротивления перекачиванию МТА $M_{\text{ф}}$ уменьшением $G_{\text{гр}}$ при $a_{\text{гр}} > 0$ составляет 5–8%.

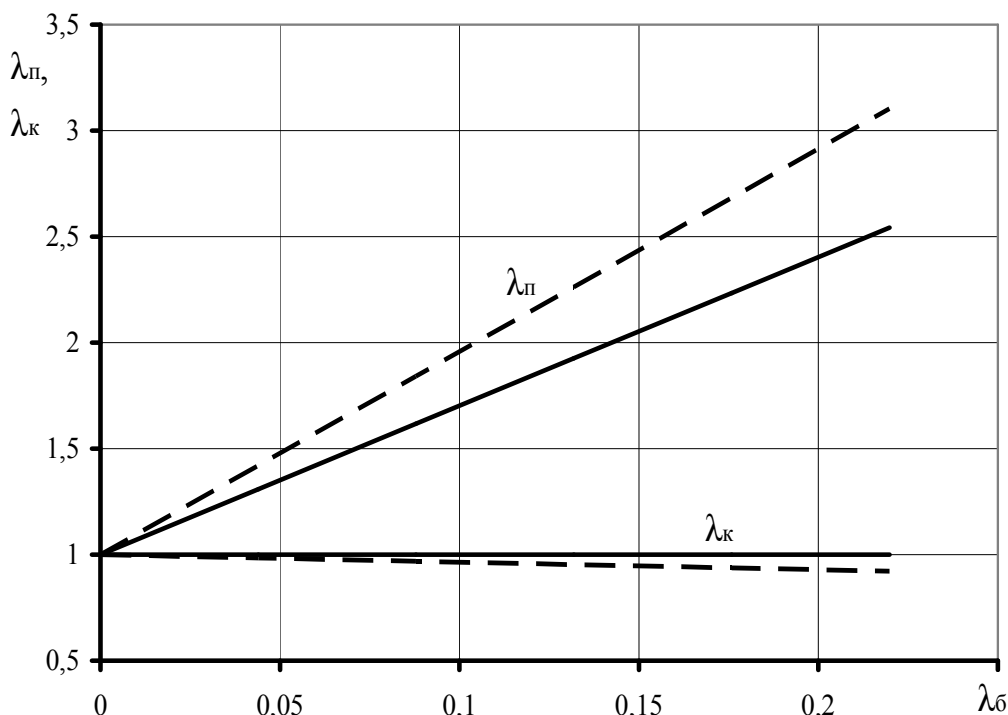


Рис. 3. Зависимость коэффициентов нагрузки на передние $\lambda_{\text{п}}$ и задние $\lambda_{\text{к}}$ колёса от коэффициента, характеризующего степень переднего балластирования трактора $\lambda_{\text{б}}$:
 — $a_{\text{гр}} = 0$ м; — — — $a_{\text{гр}} = 1$ м

Таким образом, регулирование момента вертикальной нагрузки на передние ведущие колёса, отвечающего как за устойчивость, так и управляемость трактора, можно обеспечить изменением не только $G_{\text{тр}}$, но и $a_{\text{тр}}$.

Однако в процессе работы машинно-тракторного агрегата на наклонных опорных поверхностях достаточно часто возникает необходимость движения поперёк склона. В этом случае интерес представляет возможность регулирования положения балластного груза не только в продольном, но и поперечном направлении.

Рассмотрим вариант движения машинно-тракторного агрегата с навесной сельскохозяйственной машиной по поперечному склону, особенностью данного агрегата является возможность регулирования положения балластного груза в поперечном направлении (рис. 4).

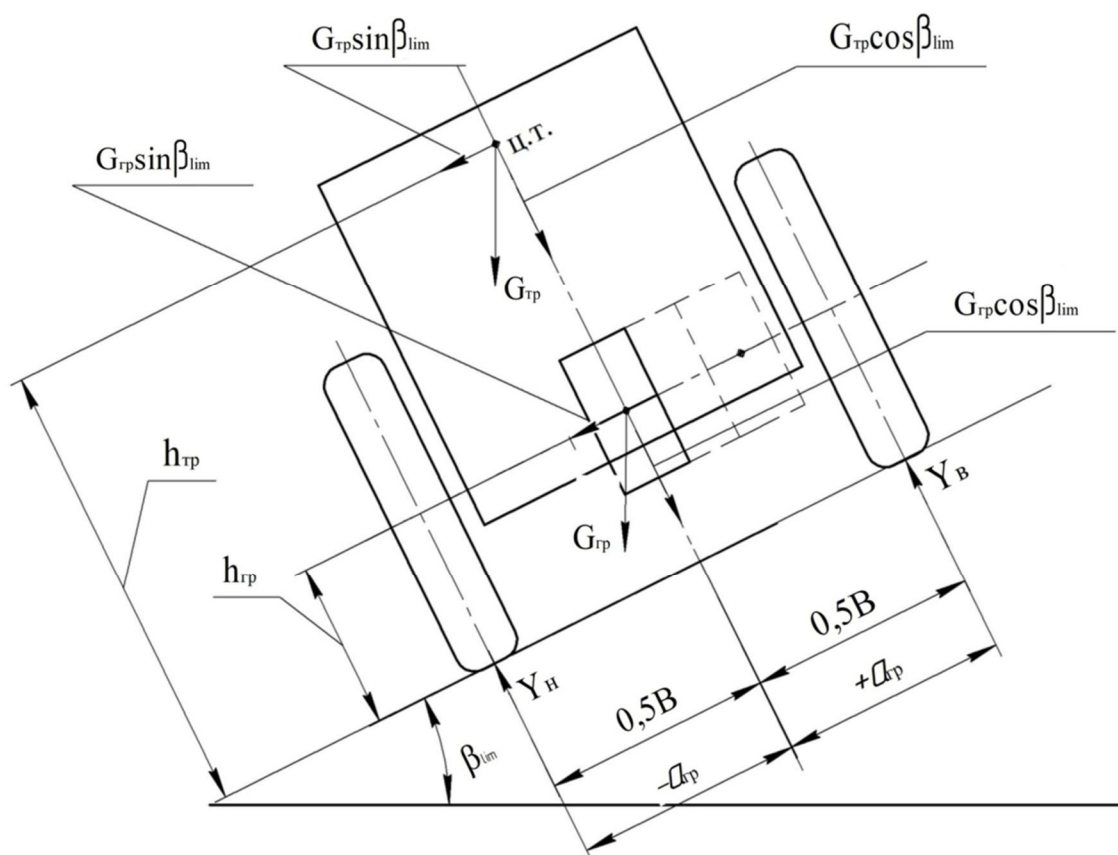


Рис. 4. Схема сил, действующих на навесной агрегат при движении по поперечному склону

Для представленной на рисунке 4 схемы имеем следующие выражения для определения нормальных реакций почвы на верхние $Y_{\text{в}}$ и нижние $Y_{\text{н}}$ колёса трактора:

$$Y_{\text{в}} = \frac{G_{\text{тр}}((0,5B + a_{\text{тр}}) \cdot \cos \beta_{\text{lim}} - h_{\text{тр}} \sin \beta_{\text{lim}}) + G_{\text{тр}}(0,5B \cos \beta_{\text{lim}} - h_{\text{тр}} \sin \beta_{\text{lim}})}{B}, \quad (4)$$

$$Y_{\text{н}} = \frac{G_{\text{тр}}((0,5B - a_{\text{тр}}) \cdot \cos \beta_{\text{lim}} + h_{\text{тр}} \sin \beta_{\text{lim}}) + G_{\text{тр}}(0,5B \cos \beta_{\text{lim}} + h_{\text{тр}} \sin \beta_{\text{lim}})}{B}, \quad (5)$$

где $a_{\text{тр}}$ – расстояние от середины поперечной базы трактора до центра тяжести балластного груза;

B – поперечная база трактора.

Решим уравнения (4) и (5) для следующих вариантов:

- движение без балластного груза;
- движение с балластным грузом, но без регулирования его положения;
- движение с балластным грузом и регулированием его положения в поперечном направлении.

Расчёты проведены для тех же условий, которые рассмотрены выше. Результаты расчёта представлены на рисунке 5.

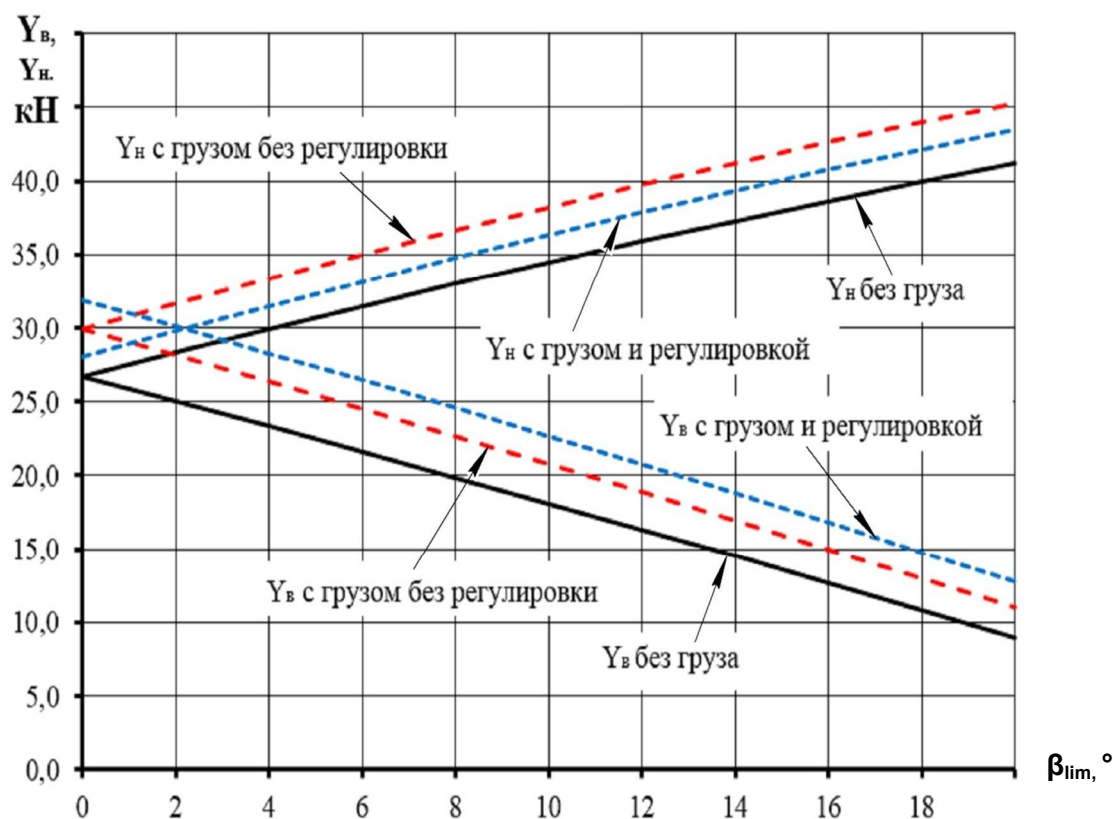


Рис. 5. Изменение вертикальных реакций почвы на верхние и нижние колёса трактора при движении без балласта, с нерегулируемым балластом и с регулируемым балластом в зависимости от угла поперечного склона

Из анализа зависимостей на рисунке 5 следует, что при увеличении угла поперечного склона вертикальные реакции на верхние колёса трактора снижаются, а на нижние возрастают. Однако при работе с регулируемым положением балластного груза в поперечном направлении (вдоль оси мостов) появляется возможность регулировать нагрузки на этих колёсах. Так, при регулируемом положении балластного груза в поперечном направлении нагрузки на верхнее и нижнее колесо одинаковые при угле поперечного склона 2° (при $G_{гр} = 6,5$ кН и $a_{гр} = 0,5$ м). Эта величина будет зависеть как от веса балластного груза, так и от его положения относительно середины центра тяжести, а именно от величины $a_{гр}$. Например, расчеты показывают, что при $G_{гр} = 10$ кН и $a_{гр} = 1$ м нагрузки на верхнее и нижнее колесо одинаковые уже при угле поперечного склона более 6° .

Рассмотрим также целесообразность регулирования момента от действия балластного груза в поперечном направлении в относительных величинах, понятия о которых даны выше. Результаты расчёта приведены на рисунке 6.

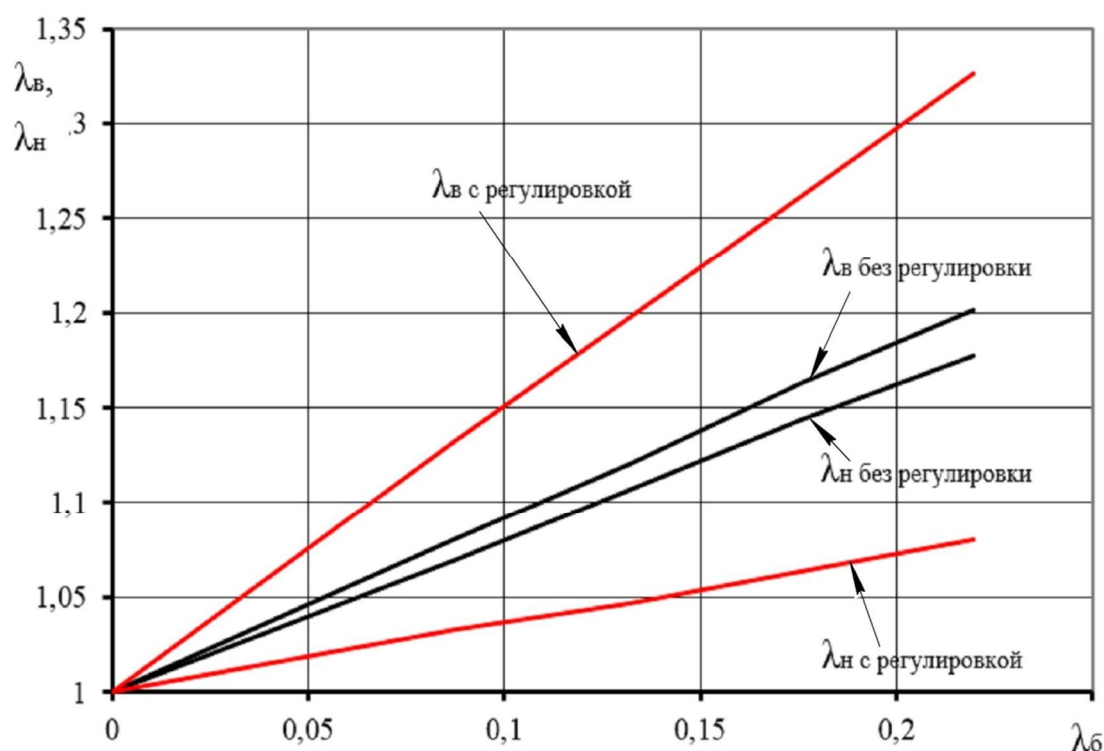


Рис. 6. Зависимость коэффициентов нагрузки на верхние λ_v и нижние λ_n колёса от коэффициента, характеризующего степень балластирования трактора в поперечном направлении λ_b при угле поперечного склона 4°

На рисунке 6 видно, что при увеличении степени балластирования в поперечном направлении коэффициент нагрузки на верхние колёса трактора λ_v и нижние λ_n колёса возрастает с разной интенсивностью, причём при регулируемом положении балластного груза интенсивность роста нагрузки на верхние колёса значительно выше, чем на нижние. Такое регулирование позволит выравнивать нагрузки на колёсах при работе трактора на поперечном склоне, что, несомненно, улучшит устойчивость, сцепные свойства, а также позволит обеспечить оптимальную нагрузку на каждом колесе по критерию допустимого буксования.

Таким образом, теоретическими исследованиями подтверждается эффективность корректирования вертикальных нагрузок на колёса при движении по неровной поверхности. Регулируемое положение балластного груза позволяет корректировать вертикальные нагрузки при движении по неровности как в продольном, так и в поперечном направлении. При этом обеспечивается не только повышение устойчивости движения в рассматриваемых условиях, но и улучшение управляемости агрегата, а также повышение его тягово-сцепных свойств.

Библиографический список

1. Гребнев В.П. Мобильные энергетические средства. Эксплуатационные свойства : учебное пособие / В.П. Гребнев, О.И. Поливаев, А.В. Ворохобин. – Воронеж : ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2009. – 305 с.
2. Гребнев В.П. Эффективность регулирования степени балластирования колесных тракторов при работе с навесными машинами / В.П. Гребнев, А.В. Ворохобин // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 10. – С. 18–21.
3. Гуськов В.В. О влиянии ряда факторов на устойчивость колесного трактора, работающего на склоне / В.В. Гуськов, А.В. Войтиков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1981. – № 2. – С. 11–13.
4. Жилейкин М.М. Обоснование принципов повышения устойчивости и управляемости колесных тракторов при движении на склоне в режиме вспашки / М.М. Жилейкин, Е.В. Ягубова // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2014. – № 9. – С. 67–76.
5. Климанов А.В. Улучшение тягово-сцепных и агротехнических свойств тракторов : учеб. пособие / А.В. Климанов. – Самара : СГСХА, 2001. – 71 с.
6. Кутков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г.М. Кутков. – Москва : КолосС, 2004. – 504 с.
7. Стеновский В.В. Повышение курсовой устойчивости колесного трактора при движении по негоризонтальной опорной поверхности / В.В. Стеновский, А.А. Петров, Н.В. Белоусов // Лесотехнический журнал. – 2016. – № 1. – С. 194–202.
8. Стеновский В.С. Стабилизация транспортного средства на наклонной поверхности / В.С. Стеновский, В.В. Реймер, С.В. Юмакаева // Сельский механизатор. – 2011. – № 5. – С. 12.
9. Тракторы Беларус-1221.2/1221В.2/1221.3, 1522/1522В, Беларус-1523/1523В. Руководства по эксплуатации. Ответственный редактор – директор научно-технического центра, генеральный конструктор Усс И.Н. – Минск : РУП «Минский тракторный завод», 2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mcgrp.ru/files/viewer/156354/2> (дата обращения: 12.08.2020).
10. Тракторы John Deere серий 8120, 8220, 8320, 8420 и 8520. Руководство по эксплуатации (издание для Европы). – John Deere Waterloo Works, 2006. – 494 с.
11. Тракторы New Holland моделей Т 8010, Т 8020, Т 8030, Т 8040. Руководство по ремонту и техническому обслуживанию. – CNH America LLC, 2006. – 432 с.
12. Трофимов И.А. Сохранение и оптимизация агроландшафтов Центрального Черноземья / И.А. Трофимов, Л.С. Трофимова, Е.П. Яковлева // Известия Российской академии наук. Серия: Географическая. – 2017. – № 1. – С. 103–109.
13. Ходовые системы тракторов / В.М. Забродский, А.М. Файнлейб, Л.Н. Кутин, О.Л. Уткин-Любовцов. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 271 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ Принадлежность к организации

Андрей Викторович Ворохобин – кандидат технических наук, врио проректора по заочному и дополнительному образованию, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dogruzka@rambler.ru.

Дата поступления в редакцию 29.11.2020

Дата принятия к печати 26.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Andrey V. Vorokhobin, Candidate of Engineering Sciences, Acting Vice Rector for Correspondence and Additional Education, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: dogruzka@rambler.ru.

Received November 29, 2020

Accepted after revision December 26, 2020

ОЦЕНКА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВОРОТА КОЛЁСНОЙ МАШИНЫ

Александр Николаевич Беляев¹
Татьяна Владимировна Тришина¹
Андрей Николаевич Брюховецкий²
Ирина Алевтиновна Высоцкая³
Анатолий Иванович Завражнов⁴

¹Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

²Луганский национальный аграрный университет

³Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Министерства обороны Российской Федерации

⁴Мичуринский государственный аграрный университет

Для синхронного поворота колёс осей двухосной машины предусмотрена рулевая трапеция, которая обеспечивает поворот наружных и внутренних колёс на разные углы, что позволяет им катиться при криволинейном движении по разным радиусам без проскальзывания. Для реализации этого необходимы очень точные расчёты взаимосвязанных кинематических параметров – различных углов поворота колёс переднего и заднего мостов. Известные расчётные формулы для средних и наружных, по отношению к центру поворота, углов поворота колёс переднего и заднего мостов устанавливают взаимосвязь между исходными параметрами, определяемыми конструкцией машины: продольной базой, расстояниями между осями шкворней, углом поворота внутреннего, по отношению к центру поворота, переднего колеса. Известно, что начальным параметром для исследования кинематики поворота и правильного подбора характеристик рулевой трапеции является также угол поворота внутреннего, по отношению к центру поворота, заднего колеса. В связи с этим в настоящей работе представлены расчётные зависимости для определения средних и наружных углов поворота колёс, теоретического радиуса поворота центра тяжести в зависимости от продольной базы машины, расстояний между осями шкворней и угла поворота внутреннего заднего колеса, проведены расчёты с их использованием и сравнение результатов с ранее известными. Многовариантность расчётов позволяет добиться высокой степени автоматизации при их реализации, так как получение одинакового результата по разным формулам свидетельствует о высокой точности выполненных операций. Результаты исследований можно применять для расчётов кинематических характеристик криволинейного движения колёсных тракторов и автомобилей с целью выбора оптимальных параметров рулевой трапеции, режимов поворота колёс, рациональных величин продольной базы и ширины колеи, выявления закономерностей их изменения для обеспечения требуемых манёвренности, управляемости и устойчивости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: колёсная машина, кинематика поворота, радиус поворота, управляемые колёса, конструктивные параметры.

KINEMATIC CHARACTERISTICS OF A WHEELED VEHICLE TURNING AND THEIR EVALUATION

Alexander N. Belyaev¹
Tatyana V. Trishina¹
Andrey N. Bryukhovetsky²
Irina A. Vysotskaya³
Anatoly I. Zavrazhnov⁴

¹Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

²Luhansk National Agrarian University

³Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin
Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation

⁴Michurinsk State Agrarian University

For synchronous rotation of the wheels of the axles of the two-axle machine, it is supplied with steering geometry, which provides rotation of the outer and inner wheels at different angles, which allows them to roll in a curved motion along different radius without slipping. To achieve this, very precise calculations of the interrelated kinematic parameters are required, i.e. of different angles of rotation of the wheels of the front and rear axles. Known calculation formulas for determining the average and external, relative to the center of rotation, angles of rotation of the wheels of the front and rear axles establish relationships between the initial parameters determined by the design of the machine such as the longitudinal base, the distances between the axes of the pivots, the angle of rotation of the inner, relative to the center of rotation, front wheel. It is known that the initial parameter for studying the kinematics of rotation and the correct selection of the characteristics of the steering geometry is also the angle of rotation of the inner, relative to the center of rotation, rear wheel. In this regard, this paper presents the calculated dependencies for determining the average and outer angles of rotation of the wheels, the theoretical radius of rotation of the center of gravity, depending on the longitudinal base of the machine, the distances between the axes of the pivots and the angle of rotation of the inner rear wheel. Calculations are performed using the defined dependence and comparing the results obtained with previously known ones. The multivariate of calculations allows achieving high degree of automation at practical implementation, since obtaining the same result for different formulas indicates the high accuracy of the performed operations. The results of research can be used to calculate the kinematic characteristics of the curvilinear motion of wheeled tractors and cars in order to select the optimal parameters of the steering geometry, wheel rotation modes, rational values of the longitudinal base and track width, as well as to identify patterns of their changes to ensure the required maneuverability, controllability and stability.

KEYWORDS: wheeled vehicle, turning kinematics, turning radius, driven wheels, design parameters.

Основным измерителем качественных статических показателей криволинейного движения колёсной машины (трактора, автомобиля) является, несомненно, минимальный теоретический радиус поворота [7, 8, 11, 14, 15]. Способ же поворота колёсной машины в основном определяет отличительные свойства кинематических характеристик и её важнейшие эксплуатационные свойства – управляемость, манёвренность и устойчивость движения [3, 4]. Для синхронного поворота колёс осей двухосной машины предусмотрена рулевая трапеция, которая обеспечивает поворот наружных и внутренних колёс на разные углы, что позволяет им катиться при криволинейном движении по разным радиусам без проскальзывания [5, 7, 8, 11]. При правильном подборе параметров рулевой трапеции соотношение между углами поворота внутренних и наружных колёс достаточно близко к теоретическим [7].

В работах [1, 2] предложены аналитические зависимости для определения минимального теоретического радиуса поворота R_T , средних углов поворота колёс переднего и заднего мостов α_{1cp} и α_{2cp} , углов поворота наружных по отношению к центру поворота колёс переднего и заднего мостов α''_1 и α''_2 , теоретического радиуса поворота центра тяжести R_C в зависимости от углов поворота внутренних, по отношению к центру поворота, передних и задних управляемых колёс двухосной машины со всеми управляемыми колёсами α'_1 и α'_2 . Перечисленные аналитические зависимости являются универсальными, применяются для различных, наиболее часто используемых способов поворота, при которых изменение направления движения осуществляется поворотом или только передних, или только задних, или одновременно передних и задних управляемых колёс в горизонтальной плоскости относительно собственной оси поворота и остова машины.

При этом для определения минимального теоретического радиуса поворота в работах [1, 2, 13] была представлена формула (1)

$$R_T = \frac{\left[\frac{B}{2} (\operatorname{tg} \alpha'_1 + \operatorname{tg} \alpha'_2) + L \right] \cos \alpha'_1 \cos \alpha'_2}{\sin(\alpha'_1 + \alpha'_2)}, \quad (1)$$

где B – расстояния между осями шкворней машины, м;

L – продольная база машины, м.

В формуле (1) установлена взаимосвязь между начальными конструктивными, эксплуатационными и кинематическими параметрами, каковыми являются продольная база машины L , расстояния между осями шкворней B (приняты равными для переднего

и заднего мостов, что соответствует реальным конструктивным характеристикам тракторов и автомобилей) и углами поворотов внутренних, по отношению к центру поворота, передних и задних управляемых колёс – соответственно α'_1 и α'_2 .

Для расчёта величин остальных вышеуказанных параметров только через α'_1 были рекомендованы следующие выражения [1, 2]:

$$\operatorname{tg} \alpha_{1cp} = \frac{\operatorname{tg} \alpha'_1 (2R_T - B)}{2R_T}, \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{2cp} = \frac{2L - \operatorname{tg} \alpha'_1 (2R_T - B)}{2R_T}, \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \alpha''_1 = \frac{\operatorname{tg} \alpha'_1 (2R_T - B)}{2R_T + B}, \quad (4)$$

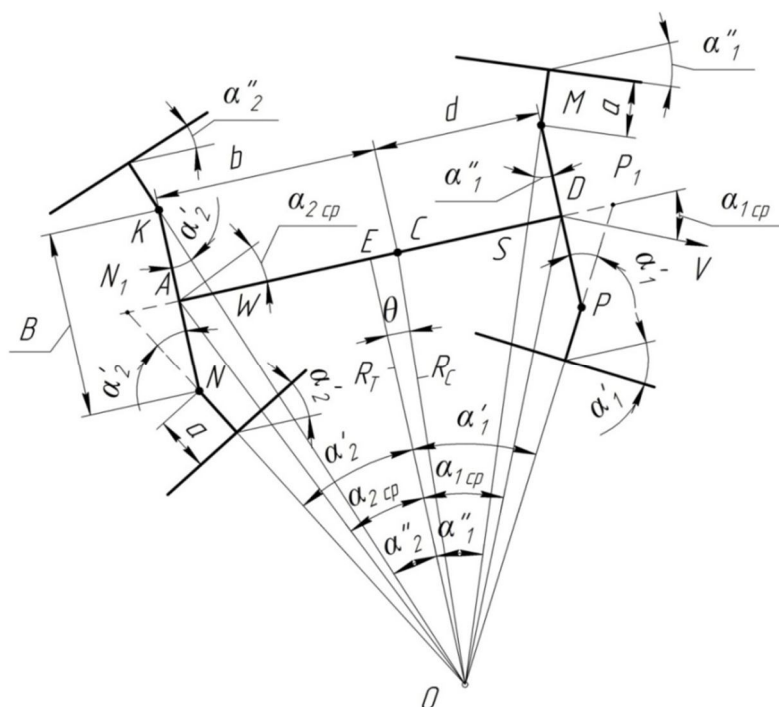
$$\operatorname{tg} \alpha''_2 = \frac{2L - \operatorname{tg} \alpha'_1 (R_T - B)}{2R_T + B}, \quad (5)$$

$$R_C = \sqrt{\left(\operatorname{tg} \alpha'_1 \left(R_T - \frac{B}{2}\right) - d\right)^2 + R_T^2}, \quad (6)$$

где d – расстояние от середины переднего моста (на рисунке точка D) до центра тяжести машины (на рисунке точка C).

Как уже было отмечено выше, начально-исходным параметром для исследования кинематики криволинейного движения, определяемым конструкцией машины, является также внутренний, по отношению к центру поворота, угол поворота заднего управляемого колеса α'_2 . С учётом этого параметра проведём проверку корректности формул (2) – (6) и рассчитаем аналитические выражения для α_{1cp} , α_{2cp} , α''_1 , α''_2 и R_C через α'_2 .

Для решения поставленной задачи используем расчётную схему поворота двухосной колёсной машины со всеми управляемыми колёсами, представленную на рисунке, как наиболее универсальную, предложенную в работе [1].



Расчётная схема поворота двухосной колёсной машины со всеми управляемыми колёсами

Для определения средних углов поворота колёс переднего и заднего мостов используем следующие выражения, учитывающие подобие (по трём углам) треугольников DEO , N_1EO и N_1AN (см. рис.) [6, 10]:

$$\operatorname{tg} \alpha_{1cp} = \frac{DE}{OE} = \frac{L - \operatorname{tg} \alpha'_2 (R_T - \frac{B}{2})}{R_T}, \quad (7)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{2cp} = \frac{AE}{OE} = \frac{\operatorname{tg} \alpha'_2 (2R_T - B)}{2R_T}, \quad (8)$$

где

$$DE = L - \operatorname{tg} \alpha'_2 (R_T - \frac{B}{2}),$$

$$AE = \frac{\operatorname{tg} \alpha'_2 (2R_T - B)}{2}.$$

Для расчёта углов поворота наружных, по отношению к центру поворота, колёс переднего и заднего мостов используем выражения (9) и (10), учитывающие подобие треугольников (по трём углам) OES и MDS , WEO и WAK [6, 10]

$$\operatorname{tg} \alpha_1'' = \frac{SE}{OE} = \frac{DE}{OE + \frac{B}{2}} = \frac{L - \operatorname{tg} \alpha'_2 (R_T - \frac{B}{2})}{R_T + \frac{B}{2}}, \quad (9)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2'' = \frac{WE}{OE} = \frac{\operatorname{tg} \alpha'_2 (2R_T - B)}{2R_T + B}, \quad (10)$$

где

$$SE = \frac{OE \cdot \operatorname{tg} \alpha_1''}{\operatorname{tg} \alpha'_2},$$

$$WE = \frac{R_T \operatorname{tg} \alpha'_2 (2R_T - B)}{2R_T + B}.$$

Используя подобие (по трём углам) треугольников ECO , EOA и AWK , получаем расчётную зависимость для теоретического радиуса поворота центра тяжести [6, 10]

$$R_C^2 = CE^2 + OE^2 = \frac{(2d - (2R_T - B) \operatorname{tg} \alpha')^2}{4} + R_T^2, \quad (11)$$

$$R_C = \frac{\sqrt{(2d - (2R_T - B) \operatorname{tg} \alpha')^2 + 4R_T^2}}{2}.$$

Для подтверждения корректности формул (2)–(11) проведём по ним расчёты при следующих исходно-начальных параметрах, соответствующих техническим характеристикам трактора РТМ-160 [12]:

$$L = 2,765 \text{ м};$$

$$B = 1,8 \text{ м};$$

$$\alpha'_{1max} = \alpha'_{2max} = 33^\circ 30';$$

$$R_T, \text{ определённый по формуле (1), равен } 2,989 \text{ м.}$$

При одних и тех же исходных данных расчёты как по формулам (2) и (3), так и по формулам (7) и (8) дают абсолютно идентичные значения углов $\alpha_{1cp\ max} = \alpha_{2cp\ max} = 24^\circ 50'$, а по формулам (4) и (5), (9) и (10) – $\alpha''_{1max} = \alpha''_{2max} = 19^\circ 35'$.

Теоретический радиус поворота центра тяжести R_C составляет 3,022 м при расчёте и по формуле (6), и по формуле (11).

При повороте только передними колёсами исходно-начальные параметры были следующими:

$$L = 2,765 \text{ м};$$

$$B = 1,8 \text{ м};$$

$$\alpha'_{1max} = 33^\circ 30';$$

$$\alpha'_{2max} = 0^\circ.$$

$$R_T, \text{ определённый по формуле (1), равен } 5,077 \text{ м}.$$

При этих параметрах по тем же формулам получены следующие идентичные значения: $\alpha_{1cp\ max} = 28^\circ 34'$, $\alpha_{2cp\ max} = 0^\circ$ и $\alpha''_{1\ max} = 24^\circ 50'$, $\alpha''_{2\ max} = 0^\circ$, $R_C = 5,343 \text{ м}$.

Таким образом, представленные формулы для определения значений некоторых кинематических параметров криволинейного движения двухосной колёсной машины позволят на стадии проектирования и в процессе эксплуатации выбрать их рациональные конструктивные и эксплуатационные характеристики.

Многовариантность расчётов позволяет также добиться высокой степени автоматизации при их реализации [9], так как получение одинакового результата по разным формулам свидетельствует о точности выполненных операций.

Библиографический список

1. Беляев А.Н. Исследование кинематики поворота колесного трактора / А.Н. Беляев, Т.В. Тришина // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1 (48). – С. 115–120.
2. Беляев А.Н. Повышение эффективности работы машинно-тракторных агрегатов на базе интегральных универсально-пропашных колёсных тракторов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / А.Н. Беляев. – Мичуринск-наукоград, 2019. – 440 с.
3. Гольдяпин В.Я. Новые интегральные тракторы JCB / В.Я. Гольдяпин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 4. – С. 40–43.
4. Козлов Д.Г. Повышение маневренности интегрального трактора / Д.Г. Козлов, К.А. Манаенков // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4. – С. 50–55.
5. Козлов Д.Г. Рулевой привод универсально-пропашного трактора со всеми управляемыми колёсами / Д.Г. Козлов, А.С. Дурманов // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 9. – С. 14–18.
6. Кудрявцев В.А. Краткий курс высшей математики / В.А. Кудрявцев, Б.П. Демидович. – Москва : Наука, 1978. – 624 с.

7. Скотников В.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / В.А. Скотников, А.А. Машенский, А.С. Солонский; под. ред. В.А. Скотникова. – Москва : Агропромиздат, 1986. – 383 с.
8. Смирнов Г.А. Теория движения колёсных машин / Г.А. Смирнов. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва : Машиностроение, 1990. – 352 с.
9. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем / В.П. Тарасик. – Минск : Дизайн ПРО, 1997. – 640 с.
10. Теоретическая механика : учебник / С.В. Болотин и др. – Москва : Академия, 2010. – 432 с.
11. Тракторы: теория : учебник для вузов по специальности «Автомобили и тракторы» / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; под общ. ред. В.В. Гуськова. – Москва : Машиностроение, 1988. – 374 с.
12. Тракторы PTM-160 и PTM-160У. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание / А.С. Дурманов, Ю.А. Коцарь, Г.А. Головащенко, С.В. Плужников. – Саратов : Научная книга, 2006. – 155 с.
13. Computation of Vehicle Motion Path upon Entering Turn / A.N. Belyaev, V.G. Kozlov, I.A. Vysotskaya, T.V. Trishina // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). – 2019. – Vol. 9, No. 1. – Pp. 4527–4531.
14. Mammari S. Two-degree-of-freedom formulation of vehicle handling improvement by active steering / S. Mammari, V.B. Baghdassarian // Proceedings of the American Control Conference. – 2000. – Vol. 1 (6). – Pp. 105–109. DOI: 10.1109/ACC.2000.878782.
15. Ryu J.-C. Estimation of vehicle roll and road bank angle / J.-C. Ryu, J.C. Gerdes // Proceedings of the 2004 American Control Conference. – 2004. – Vol. 3. – Pp. 2110–2115. DOI:10.23919/acc.2004.1383772.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Александр Николаевич Беляев – доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: aifkm_belyaev@mail.ru.

Татьяна Владимировна Тришина – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: tata344@rambler.ru.

Андрей Николаевич Брюховецкий – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой тракторов и автомобилей, проректор по учебной и научно-педагогической работе ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет», ЛНР, г. Луганск, e-mail: bruhoveckiy@rambler.ru.

Ирина Алевтиновна Высоцкая – кандидат физико-математических наук, преподаватель кафедры математики ФГКВУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: i.a.trishina@gmail.com.

Анатолий Иванович Завражнов – доктор технических наук, академик РАН, главный научный сотрудник, профессор кафедры технологических процессов и техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, Тамбовская область, г. Мичуринск, e-mail: aiz@mgau.ru.

Дата поступления в редакцию 18.09.2020

Дата принятия к печати 14.11.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Alexander N. Belyaev, Doctor of Engineering Sciences, Docent, Head of the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: aifkm_belyaev@mail.ru.

Tatyana V. Trishina, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia, e-mail: tata344@rambler.ru.

Andrey N. Bryukhovetsky, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Head of the Dep. of Tractors and Automobiles, Vice Rector for Academic and Scientific-Pedagogical Work, Luhansk National Agrarian University, LNR, Lugansk, e-mail: bruhoveckiy@rambler.ru.

Irina A. Vysotskaya, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Lecturer, the Dept. of Mathematics, Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh) the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: i.a.trishina@gmail.com.

Anatoly I. Zavrazhnov, Doctor of Engineering Sciences, Academician of RAS, Chief Researcher, Professor, the Dept. of Technological Processes and Technosphere Safety, Michurinsk State Agrarian University, Russia, Tambov Oblast, Michurinsk, e-mail: aiz@mgau.ru.

Received September 18, 2020

Accepted after revision November 14, 2020

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ КРЕСЛА ОПЕРАТОРА ТРАКТОРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SimInTech

**Олег Иванович Поливаев
Дмитрий Николаевич Афоничев
Сергей Николаевич Пилияев
Алексей Владиславович Лощенко
Александр Юрьевич Черемисинов**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Количество технологических процессов и операций в сельском хозяйстве велико, и практически все они выполняются машинно-тракторными агрегатами (МТА). При этом происходит взаимодействие опорной поверхности с движителями, что вызывает возникновение колебаний в системе «почва – движитель – трансмиссия – кресло оператора». Сложный спектральный состав колебаний, находящихся в диапазоне от 0,05 до 30 Гц, негативно воздействует на оператора МТА. В зависимости от выполняемых работ и профиля пути колебания кресла оператора могут происходить в трёх плоскостях. С целью снижения влияния колебаний на операторов МТА в разработанной математической модели рассматриваются только вертикальные колебания кресла оператора. При этом приняты некоторые допущения, позволяющие рассматривать колебания только в вертикальной плоскости, проходящей через центр масс трактора. Используя классические методы механики, получаем уравнения динамического режима работы МТА. Поскольку система дифференциальных уравнений является нелинейной, а колебания переменных, входящих в неё, не являются малыми величинами, то получение амплитудно-частотной характеристики через передаточную функцию весьма затруднено. Для решения системы уравнений была разработана модель в российской системе модельно-ориентированного проектирования систем автоматического управления SimInTech. Построенная имитационная модель является универсальной и позволяет определять характер вертикальных ускорений при различных параметрах транспортного средства и видах возмущающих воздействий: случайного процесса микропрофиля пути, единичных препятствий, заданного гармонического изменения пути или тягового усилия. Кроме того, открытая архитектура программного комплекса SimInTech позволяет добавлять в данную модель и исследовать устройства демпфирования кресла оператора различной физической природы (механические, пневматические, гидравлические) и их системы автоматического управления.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трактор, кресло оператора, вертикальные колебания, модель, программный комплекс SimInTech, частотный анализ.

SIMULATION MODEL FOR VERTICAL VIBRATIONS OF TRACTOR DRIVER SEAT IN THE SimInTech SOFTWARE PACKAGE

**Oleg I. Polivaev
Dmitriy N. Afonichev
Sergey N. Pilyaev
Alexey V. Loshchenko
Alexander Yu. Cheremisinov**

Voronezh State Agrarian University named after Peter the Great

The number of technological processes and operations in agriculture is large and almost all of them are performed by machine-tractor units (MTU). During MTU motion the bearing surface interacts with the track assembly, which causes vibrations in the soil – thruster – transmission – driver seat system. The complex spectral composition of vibrations in the range from 0.05 to 30 Hz affects negatively the MTU driver. Depending on the

work performed and the profile of the path, the vibrations of the driver seat can occur in three planes. In order to reduce the effect of vibrations on the MTU drivers, the developed mathematical model considers only the vertical vibrations of the driver seat. At the same time, some assumptions are made that allow considering vibrations only in the vertical plane passing through the center of mass of the tractor. Using classical methods of mechanics, the equations of the dynamic mode of operation of the MTU were obtained. Since the system of differential equations is nonlinear, and the fluctuations of the variables included in it are not small quantities, it is very difficult to obtain the amplitude-frequency response through the transfer function. To solve the system of equations the authors developed a model in the Russian system of model-oriented design of automatic control system SimInTech. The proposed simulation model is universal and allows determining the pattern of vertical accelerations for various parameters of the vehicle and types of disturbing influences, i.e. random process of the path micro-profile, single obstacles, given harmonic change in the path or driving force. In addition, the open architecture of the SimInTech software package allows adding to this model and exploring the damping devices of the driver seat of various physical nature (mechanical, pneumatic, hydraulic), as well as their automatic control systems.

KEYWORDS: tractor, driver seat, vertical oscillations, model, SimInTech software package, frequency analysis.

Рост технической оснащённости сельского хозяйства за последние годы позволил значительно повысить уровень механизации работ в полеводстве и животноводстве, сократить сроки выполнения работ, которые в большинстве случаев приблизились к экономически обоснованным.

В настоящее время полностью механизированы все работы по подготовке почвы к посеву (на пахоте, культивации и бороновании), на посеве зерновых и большинства других культур, на междурядной обработке, уборке зерновых культур, внесении удобрений. В ближайшие годы будут полностью механизированы работы по возделыванию овощей, в садах и виноградниках.

Количество технологических процессов и операций в сельском хозяйстве велико, и практически все они выполняются машинно-тракторными агрегатами (МТА). При этом происходит взаимодействие опорной поверхности с движителями, что вызывает возникновение колебаний в системе «почва – движитель – трансмиссия – кресло оператора».

В процессе движения мобильного энергетического средства (МЭС) из-за неровностей опорной поверхности под колёсными движителями возникают вертикальные колебания остова трактора и кресла оператора. Эти колебания приводят к неблагоприятным для человека вибрациям [1, 2, 5]. Частотный спектр вертикальных ускорений кресла оператора находится в пределах от 0,5 до 30 Гц, а амплитуда колебаний, как правило, значительно превосходит допустимую по санитарно-физиологическим нормам [6, 8]. Для решения данной проблемы необходимо проектирование новых и усовершенствование существующих виброзащитных систем колёсных тракторов за счёт повышения качества систем демпфирования вертикальных колебаний.

На сегодняшний день эффективным способом исследования и проектирования сложных динамических систем, к которым относятся колебания, возникающие в результате взаимодействия движителей с опорной поверхностью, является построение компьютерной модели, позволяющей с помощью виртуального эксперимента подбирать необходимые параметры всей системы [3, 7]. Для решения данных задач используют информационные системы визуального «физического» моделирования. Термин «физическое» здесь означает то, что на экране строится схема исходной технической системы, где математические модели каждого компонента скрыты за условным графическим обозначением, а последовательность их соединения отражает передачу информации или физических сигналов [12, 13].

Среди множества систем компьютерного моделирования последнее время широкое распространение получила российская разработка SimInTech. Программный комплекс SimInTech предназначен для детального исследования и анализа нестационарных процессов в различных динамических объектах. Данный программный комплекс обладает готовыми библиотеками различных физических процессов: пневматики, гидравлики, механики, электрики и т. д.

Рассмотрим построение компьютерной модели МЭС с помощью SimInTech. Мобильное энергетическое средство на базе колёсного трактора с прицепом представляет собой довольно сложную колебательную систему. В зависимости от выполняемых работ и профиля пути колебания кресла оператора могут происходить во всех трёх плоскостях.

Математическое описание подобной сложной динамической системы весьма затруднено, поэтому несколько упростим задачу. Поскольку основным объектом данных исследований являются ускорения вертикальных колебаний кресла оператора, то будем рассматривать только их. Для решения этой и подобных задач примем следующие допущения [1, 4, 9, 10, 11].

1. Колебания трактора происходят только в вертикальной плоскости при его движении с постоянной скоростью равномерно.

2. Дорожные условия одинаковы под обоими бортами трактора и обоими мостами, то есть дорожный профиль одинаков по всей ширине колеи и не деформируется при прохождении переднего моста. Колёса обоих мостов находятся в постоянном контакте с дорожным полотном и строго копируют его профиль без отрыва от опорной поверхности.

3. Все действующие в рассматриваемой динамической системе внутренние и внешние силы направлены строго вертикально.

4. Все упругие, демпфирующие и массовые элементы динамической системы способны совершать только вертикальные движения.

5. Двигатель, трансмиссия, колёса, остова трактора и кабина оператора принимаются в качестве однородного жёсткого (не деформируемого) элемента, симметричного относительно продольной оси, проходящей через центр масс трактора. Угловые перемещения этого элемента осуществляются относительно центра масс трактора только в вертикальной плоскости.

6. Кресло оператора и сам оператор также принимаются в виде однородного физического тела.

7. Возмущающими воздействиями на рассматриваемую динамическую систему являются неравномерность микропрофиля пути под передними и задними колёсами и неравномерная вертикальная составляющая крюковой нагрузки.

Принятые допущения о симметричности позволяют рассматривать движение только половины трактора в вертикальной плоскости, проходящей через центр масс трактора. На рисунке 1 представлена физическая модель динамической системы трактора, построенная согласно принятым допущениям.

Здесь масса двигателя, трансмиссии, остова и кабины представлены в виде элемента массой m_o , который совершает вертикальные перемещения центра масс (точка О) по координате Z_o и угловые перемещения α_o вокруг точки О относительно горизонтальной оси, проходящей через центр масс (точка О).

Воздействия от колёс передней и задней осей передаются в виде сил реакции F_1 и F_2 в точки А и В на остова трактора массой m_o и моментом инерции J_o .

Динамические свойства колеса, передачи и подвески учитываются в виде суммарных коэффициентов соответственно жёсткости и вязкого трения переднего моста c_1, k_1 и c_2, k_2 .

Система поддрессирования кресла водителя также задаётся в виде демпфирующего и пружинного элементов c_c и k_c .

Используя классические методы механики [1], получим уравнения динамического режима нашей системы в следующем виде:

$$\begin{aligned} m_c \frac{d^2 z_c}{dt^2} &= -F_c; \\ m_o \frac{d^2 z_o}{dt^2} &= -F_1 - F_2 + F_c + P_{kn}(t); \\ J_o \frac{d^2 \alpha_o}{dt^2} &= -F_1 l_1 + F_2 l_2 - F_c l_c + l_k P_{kn}(t); \\ F_1 &= c_1 [Z_o - q_1(x) + l_1 \operatorname{tg} \alpha_o] + k_1 \frac{d}{dt} [Z_o - q_1(x) + l_1 \operatorname{tg} \alpha_o]; \\ F_2 &= c_2 [Z_o - q_1(x-L) + l_2 \operatorname{tg} \alpha_o] + k_2 \frac{d}{dt} [Z_o - q_1(x-L) + l_2 \operatorname{tg} \alpha_o]; \\ F_c &= c_c (Z_c - Z_o - l_c \sin \alpha_o) + k_c \frac{d}{dt} (Z_c - Z_o - l_c \sin \alpha_o), \end{aligned} \quad (1)$$

где Z_c, Z_o – вертикальные перемещения кресла водителя и остова трактора;
 m_o – половина массы двигателя, трансмиссии, кабины и остова трактора;
 m_c – масса кресла и оператора;
 c_1, k_1 – жёсткость и коэффициент демпфирования левого переднего колеса;
 c_2, k_2 – жёсткость и коэффициент демпфирования левого заднего колеса;
 c_c, k_c – жёсткость и коэффициент демпфирования системы поддрессоривания кресла оператора;
 α_o – угол отклонения остова трактора от горизонтали в точке центра масс;
 L – колёсная база трактора;
 l_1, l_2, l_c – расстояния от точки центра масс трактора соответственно до передней и задней оси и расстояние от центра масс до точки крепления кресла;
 $q_1(x), q_1(x-L)$ – микропрофиль пути под колёсами соответственно передней и задней осей;
 β – угол наклона вектора усилия на крюке;
 $P_{kn}(t)$ – нормальная составляющая усилия на крюке.

Как следует из системы уравнений (1), в процессе движения трактор подвержен одновременно нескольким внешним воздействиям, которые создаются от неоднородности физико-механических свойств и неровностей дороги и переменных тяговых колебаний, создаваемых со стороны агрегатируемой машины.

На рисунке 1 представлено окно проекта SimInTech со схемой построенной имитационной модели.

Модель включает в себя подмодель решения уравнений системы (1) «Модель трактора» и три подмодели генерации возмущающих воздействий в виде ступенчатой функции, синусоиды и случайного процесса микропрофиля пути с заданной корреляционной функцией.

Исходные данные модели транспортного средства задаются в субмодели «Модель трактора».

Связь между подмоделями и внутри каждого блока осуществляется с помощью очень удобного механизма программы SimInTech, называемого «Сигнал».

В качестве сигналов можно использовать как константы (параметры модели), так и рассчитываемые данные и даже реальные физические сигналы.

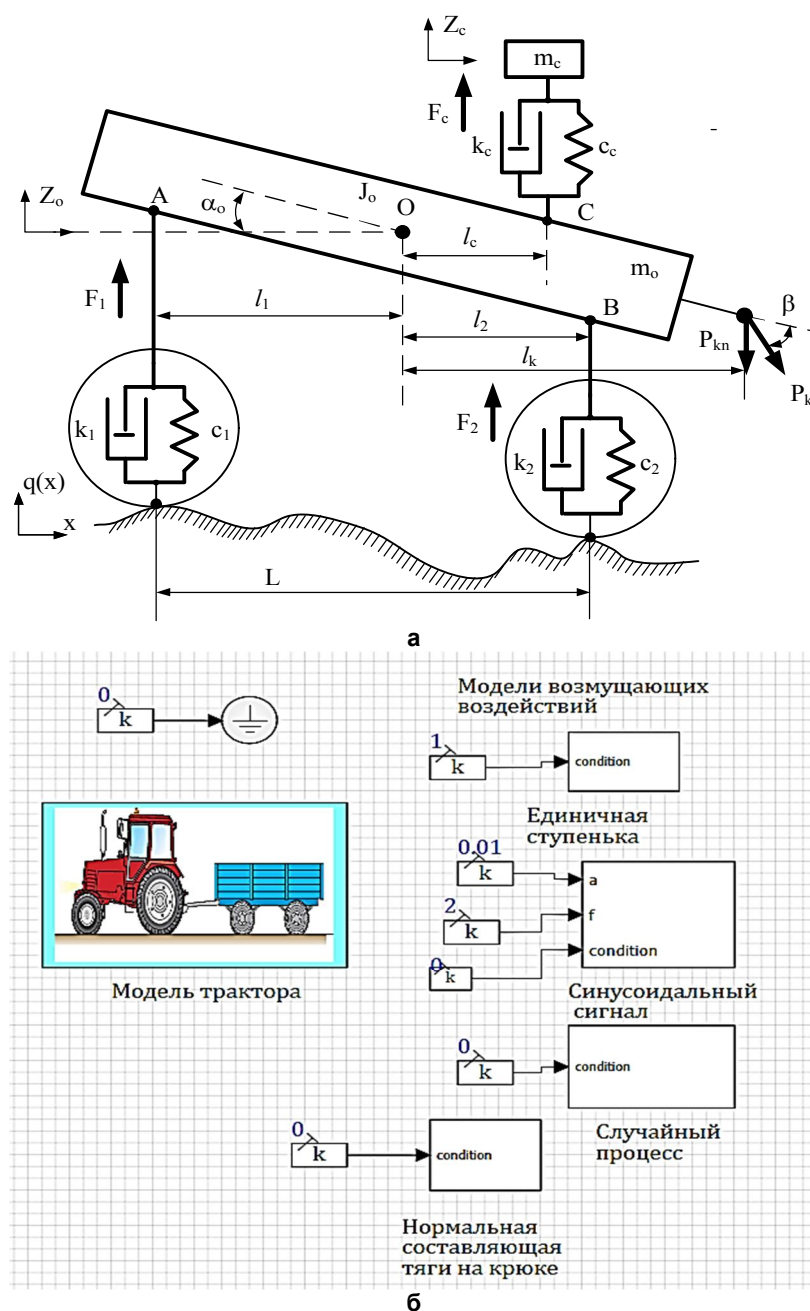


Рис. 1. Физическая (а) и имитационные (б) модели для определения вертикальных колебаний кресла оператора

С помощью имитационной модели можно исследовать вертикальные колебания динамической системы «дорога – трактор – сидение оператора» при различных возмущающих воздействиях. Так, в качестве примера на рисунках 2, 3, 4 и 5 представлены кривые колебаний всех независимых переменных модели: вертикального перемещения остова Z_o , угла поворота остова α и кресла оператора Z_c при скорости движения $V = 20$ км/ч по дороге с микропрофилем «Асфальт в изношенном состоянии».

Параметры модели трактора выбраны следующим образом [8, 9]:

$$l_1 = 1,37; l_2 = 0,91; l_c = 0,7 \text{ м}; m_o = 2890 \text{ кг}; m_c = 150 \text{ кг};$$

$$J_o = 3664 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; c_1 = 444000 \text{ Н / м}; k_1 = 2254 \text{ Н} \cdot \text{с / м};$$

$$c_2 = 610000 \text{ Н / м}; k_2 = 3986 \text{ Н} \cdot \text{с / м};$$

$$c_c = 10045 \text{ Н / м}; k_c = 3000 \text{ Н} \cdot \text{с / м}.$$

Изменения микропрофиля пути под передними ($q1$) и задними ($q2$) колесами в зависимости от времени представлены на рисунке 2.

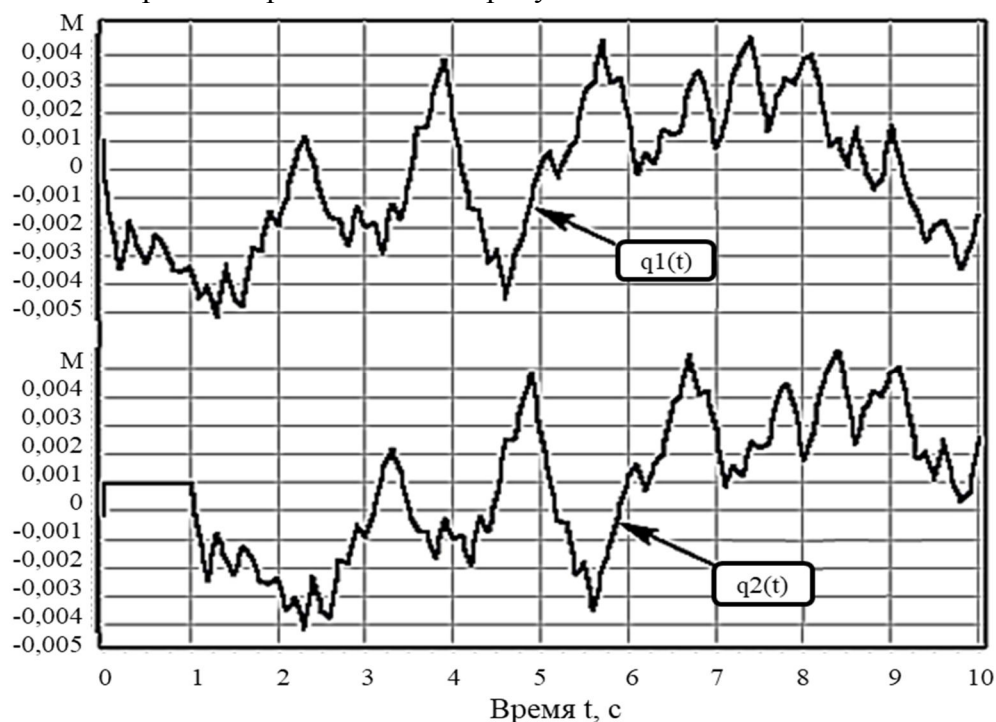


Рис. 2. Микропрофиль пути «Асфальт в изношенном состоянии» в зависимости от времени

Изменения угла поворота остова трактора с учётом заданного микропрофиля при движении МТА со скоростью 20 км/ч представлены на рисунке 3.

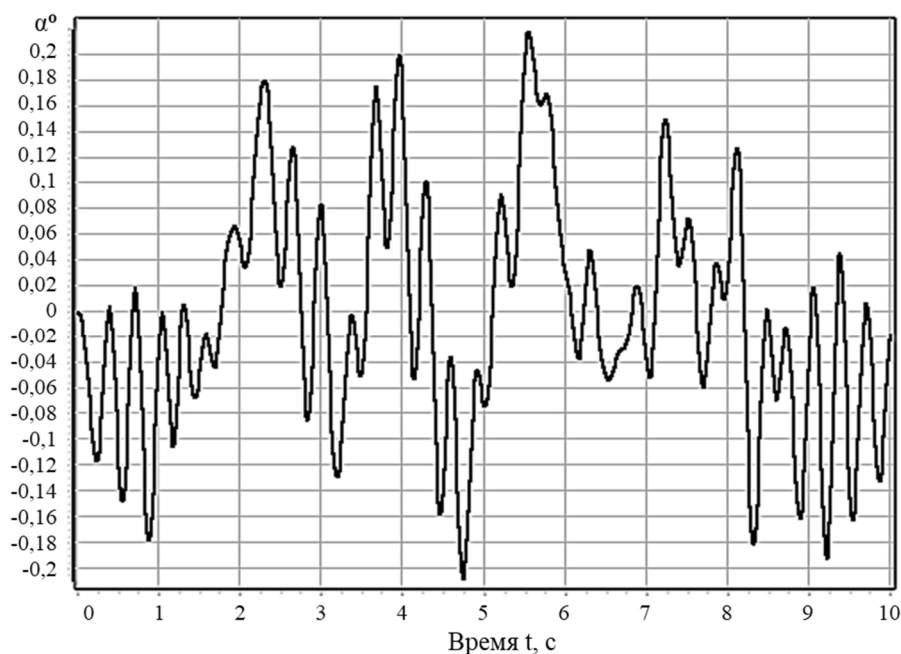


Рис. 3. Изменения угла поворота остова при движении МТА со скоростью 20 км/ч по микропрофилю «Асфальт в изношенном состоянии»

Вертикальные перемещения и ускорения остова при движении МТА со скоростью 20 км/ч по микропрофилю «Асфальт в изношенном состоянии» представлены на рисунке 4.

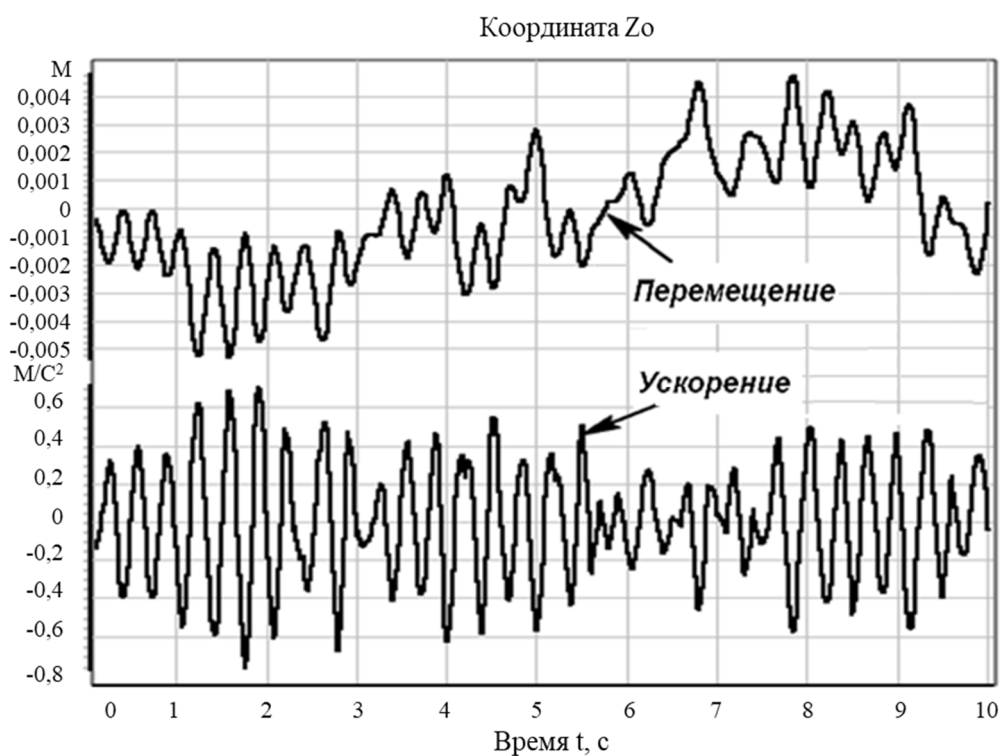


Рис. 4. Вертикальные перемещения и ускорения остова при движении МТА со скоростью 20 км/ч по микропрофилю «Асфальт в изношенном состоянии»

Вертикальные перемещения и ускорения кресла оператора МТА при движении со скоростью 20 км/ч по микропрофилю «Асфальт в изношенном состоянии» представлены на рисунке 5.

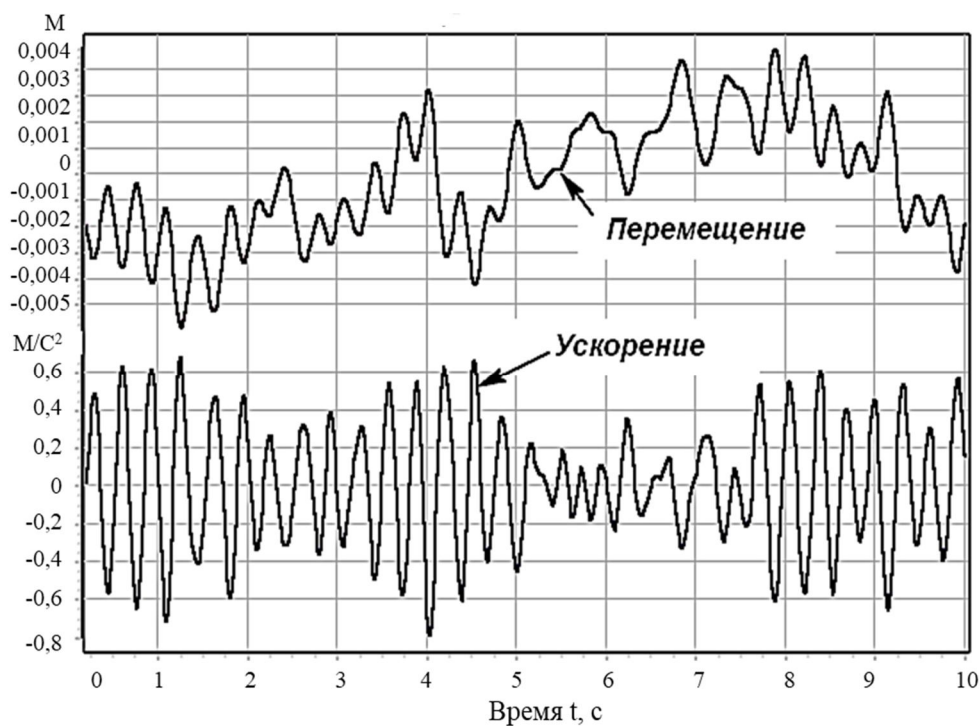


Рис. 5. Вертикальные перемещения и ускорения остова при движении МТА со скоростью 20 км/ч по микропрофилю «Асфальт в изношенном состоянии»

С помощью данной модели можно подобрать такие параметры демпфирующего устройства, которые обеспечат минимальное значение вредных вертикальных ускорений кресла оператора. Характерной особенностью программы SimInTech является встроенный аппарат частотного анализа любой расчётной кривой.

Так, на рисунке 6 показан частотный анализ кривой изменения вертикального ускорения кресла оператора при различной жёсткости подвески кресла и коэффициента демпфирования. На этом графике видно, что при значениях масс и коэффициентов демпфирующих устройств $C_c = 8000 \text{ Н/м}$, $k_c = 1000 \text{ Н·с/м}$ собственная (резонансная) частота кресла составляет 3,2 Гц, а ширина спектра его собственных колебаний находится в диапазоне от 1 до 4,5 Гц. При параметрах подвески $C_c = 4000 \text{ Н/м}$, $k_c = 680 \text{ Н·с/м}$ амплитуда вертикальных ускорений уменьшилась и спектральная кривая сместилась в сторону более низких частот.

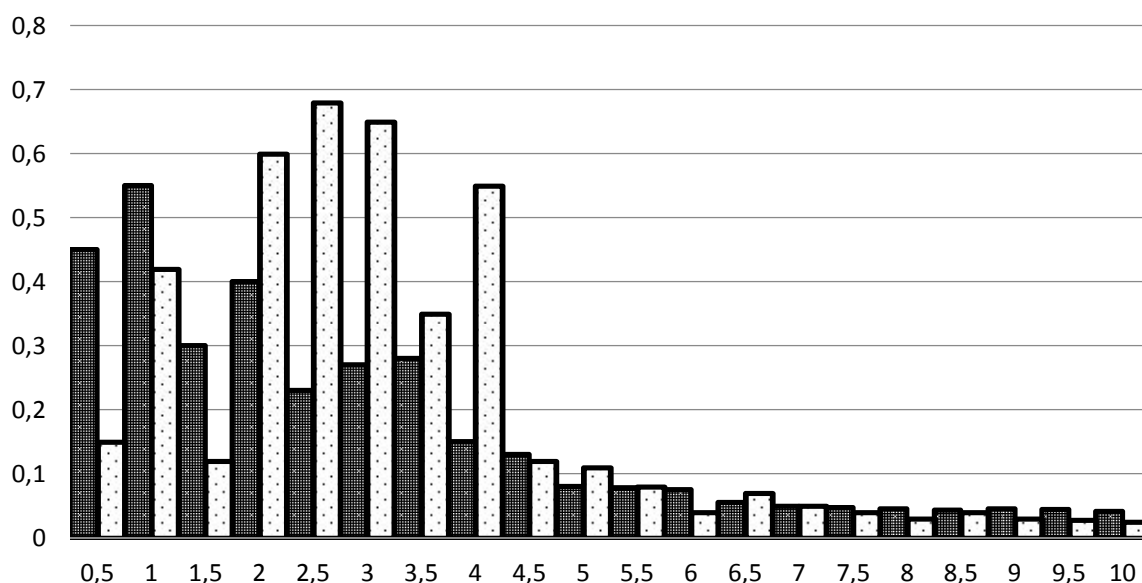


Рис. 6. Частотный анализ вертикального ускорения кресла оператора:
 ■ – $C_c = 8000 \text{ Н/м}$, $k_c = 1000 \text{ Н·с/м}$; □ – $C_c = 4000 \text{ Н/м}$, $k_c = 680 \text{ Н·с/м}$

Таким образом, построенная имитационная модель является универсальной и позволяет определять характер вертикальных ускорений при различных параметрах транспортного средства и видах возмущающих воздействий:

- случайного процесса микропрофиля пути;
- единичных препятствий;
- заданного гармонического изменения пути или тягового усилия.

Кроме того, открытая архитектура программного комплекса SimInTech позволяет добавлять в данную модель и исследовать устройства демпфирования кресла оператора различной физической природы (механические, пневматические, гидравлические) и их системы автоматического управления.

Библиографический список

1. Афоничев Д.Н. Моделирование микропрофиля пути с помощью программного комплекса SimInTech / Д.Н. Афоничев, А.В. Лощенко, С.Н. Пиляев // Актуальные направления научных исследований для эффективного развития АПК : матер. международной науч.-практ. конф. (Россия, г. Воронеж, 27 марта 2020 г.). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – С. 268–277.
2. Бровцин В.Н. Моделирование микропрофиля поверхности полей и дорог / В.Н. Бровцин // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2015. – № 86. – С. 59–68.

3. Вибронагруженность рабочих мест трактористов колесных сельскохозяйственных машин при воздействии низкочастотных случайных колебаний / Я.И. Заяц, В.А. Гидон, А.П. Орехов и др. // Влияние вибрации на организм человека и проблемы виброзащиты : сборник тезисов конференции ; отв. ред. К.Ф. Фролов. – Москва : Наука, 1974. – С. 460–465.
4. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / А.А. Хачатуров, В.Л. Афанасьев, В.С. Васильев и др. – Москва : Машиностроение, 1976. – 535 с.
5. Кратиров И.В. Колебания тракторов и сельскохозяйственных машин, возбуждаемые грунтозацепами колес / И.В. Кратиров, И.В. Сидоров, В.Г. Столинин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1974. – № 11. – С. 15–16.
6. Оценка вертикальных колебаний колесных тракторов / Б.И. Кальченко, Н.М. Кириенко, Е.Н. Резников, Н.А. Дорошенко // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. – № 10. – С. 17–19.
7. Поливаев О.И. Снижение транспортной вибрации операторов мобильных энергетических средств : монография / О.И. Поливаев. – Москва : РУСАЙНС, 2016. – 182 с.
8. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий : санитарные нормы : утв. и введ. в действие Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 31 октября 1996 г. № 40. – Москва : Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 10 с.
9. Силаев А.А. Спектральная теория поддрессирования транспортных машин / А.А. Силаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1972. – 192 с.
10. Троцкий В.А. Оптимальные процессы колебаний механических систем / В.А. Троцкий. – Ленинград : Машиностроение, 1976. – 248 с.
11. Фомина О.В. Имитационное моделирование динамических процессов в системе «оператор – сиденье – машина – среда» / О.В. Фомина // Известия Орловского государственного технического университета. Серия «Естественные науки». – 2004. – № 5–6. – С. 150–154.
12. Klee H. Simulation of Dynamic Systems with MATLAB® and Simulink® / H. Klee, R. Allen. – 3rd edition. – CRC Press : Taylor & Francis Group, 2018. – 852 p.
13. Chaparro L. Signals and Systems Using MATLAB / L. Chaparro, A. Akan. – 3rd edition. – UK : Academic Press (imprint of Elsevier), 2019. – 836 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Олег Иванович Поливаев – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Афоничев Дмитрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Пилаев Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: pilyaevs@mail.ru.

Лощенко Алексей Владиславович – ассистент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: loshenko.av@mail.ru.

Александр Юрьевич Черемисинов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой мелиорации, водоснабжения и геодезии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: melioal@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 11.11.2020

Дата принятия к печати 26.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Oleg I. Polivaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Dmitriy N. Afonichev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: pilyaevs@mail.ru.

Sergey N. Pilyaev, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: pilyaevs@mail.ru.

Alexey V. Loshchenko, Assistant, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: loshenko.av@mail.ru.

Alexander Yu. Cheremisinov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Land Reclamation, Water Supply and Geodesy, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: melioal@mail.ru.

Received November 11, 2020

Accepted after revision December 26, 2020

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОСВЕННО-ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА

**Владимир Павлович Шацкий
Вячеслав Анатольевич Гулевский**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Для охлаждения помещений сельскохозяйственного назначения всё чаще применяют охладители водоиспарительного принципа действия. Снижение температуры обрабатываемого ими воздуха происходит за счёт затрат энергии на испарение воды со стенок каналов охладителя. Охладители могут быть сконструированы с использованием как прямого, так косвенного принципа действия. Вторые в ряде случаев более удобны, так как охлаждают воздух без увеличения его относительной влажности. Рассматриваются вопросы повышения эффективности работы водоиспарительных охладителей косвенного принципа действия за счёт оптимального по холодопроизводительности выбора геометрических параметров испарительных насадок. Выводятся балансовые уравнения энергии, позволяющие определить эффективность работы указанных устройств. В связи с тем что в работе охладителей участвуют два потока воздуха («сухой» и «мокрый»), с помощью балансовых уравнений определяется наиболее рациональное соотношение этих потоков, называемое коэффициентом перераспределения. Этот коэффициент зависит от температурно-влажностных характеристик обрабатываемого воздуха. Далее ставится задача достижения необходимого перераспределения потоков воздуха без добавления в конструкцию дополнительного вентиляторного блока. Строится математическая модель аэродинамических сопротивлений воздуховодного тракта «сухих» и «мокрых» каналов, включающая в себя транспортные и местные сопротивления. Из условия равенства потерь давления в каналах, а также заданного значения перераспределения потоков формируется система уравнений, позволяющая определить необходимые соотношения сечений «сухих» и «мокрых» каналов для достижения максимальной холодопроизводительности. Данный подход позволяет подобрать наиболее рациональные геометрические параметры испарительных насадок косвенно-испарительных охладителей без значительного увеличения их стоимости и усложнения конструкции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водоиспарительное охлаждение, косвенный охладитель, тепловой баланс, холодопроизводительность, соотношение потоков.

CONCERNING WAYS FOR INCREASING EFFICIENCY OF INDIRECT EVAPORATIVE AIR COOLERS

**Vladimir P. Shatsky
Vyacheslav A. Gulevsky**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Water-evaporative coolers are increasingly used for air cooling in different agricultural buildings. The decrease in the temperature of the air treated is due to the energy consumption for the evaporation of water from the walls of the cooler channels. Coolers can be designed using both direct and indirect operating principles. The latter are in some cases more convenient, since they cool the air without increasing its relative humidity. The paper discusses the issues of improving the efficiency of water-evaporative coolers of indirect principle of operation due to the optimal cooling capacity of the choice of geometric parameters of evaporative nozzles. Energy balance equations are derived to determine the efficiency of these devices. Due to the fact that two air streams are involved in the operation of the coolers, i.e. «dry» and «wet», using balance equations the most rational ratio of these flows is determined, called coefficient of redistribution. This coefficient depends on the temperature and humidity characteristics of the treated air. The next task is to achieve the necessary redistribution of air flows without supplying the design with additional fan unit. For this purpose a mathematical model of the aerodynamic resistances of the air duct of «dry» and «wet» channels is developed, including transport and local resistances. From the condition of equality of pressure losses in the channels, as well as the given value of flow redistribution, a system of equations is formed that allows determining the necessary ratio of the cross sections of «dry» and «wet» channels to achieve maximum cooling capacity. This approach allows choosing the most rational geometric parameters of evaporative nozzles of indirect evaporative coolers without significantly increasing their cost and design complexity of manufacturing.

KEYWORDS: water-evaporative cooling, indirect cooler, heat balance, cooling capacity, flow ratio.

Введение

При охлаждении воздуха в птицеводческих и животноводческих помещениях наряду с обеспечением в них установленной температуры воздушной среды и соблюдением кратности обмена воздуха необходимо выдерживать установленные санитарными правилами и нормами значения относительной влажности. Для указанных помещений она должна составлять 60–75% [7, 10, 12]. Применяемые в последние десятилетия водоиспарительные охладители прямого принципа действия хорошо справляются с задачей снижения температуры обрабатываемого потока воздуха, достигая глубины охлаждения до 12–15°C. Однако при этом влажность такого воздуха близка к 100%, что вызывает значительный рост этого показателя внутри помещения. В этой связи наиболее перспективным представляется использование охладителей косвенного принципа действия [2, 8, 13]. Они позволяют не только охлаждать проходящий через них поток воздуха, но и регулировать значения относительной влажности внутри помещения.

Важным вопросом конструирования косвенных охладителей является соотношение распределения потоков воздуха, проходящего по «сухим» и «мокрым» каналам. В ряде работ отечественных [1, 3, 5, 9, 11] и иностранных [14, 15, 16, 17, 18] авторов показано, что от этого распределения зависит холодопроизводительность указанных охладителей. Определим наиболее рациональные соотношения и найдем конструктивные решения для их обеспечения.

Материалы и методы

Рассмотрим уравнение баланса энергии для охладителей косвенного принципа действия.

Для определения энергии, требуемой на то, чтобы испарить воду массой M в 1 м³ воздуха, воспользуемся следующей формулой:

$$E = R\varepsilon M, \quad (1)$$

где $R = (2500,6 - 2,372 \cdot t) \cdot 10^3$, Дж/кг;

t – температура жидкости, °C;

ε – коэффициент пористости поверхности испарения.

Известно, что M можно рассматривать как изменение плотности пара, определяемое формулой

$$M = \Delta w_{\text{п}} = (w_{\text{кон}} - w_{\text{нач}}) = \varphi_{\text{кон}} w_{\text{н}}(t_{\text{кон}}) - \varphi_{\text{нач}} w_{\text{н}}(t_{\text{нач}}), \quad (2)$$

где φ – относительная влажность охлаждаемого потока воздуха;

$w_{\text{н}}(t)$ – плотность насыщенного пара, кг/м³;

$w_{\text{н}}(t_{\text{нач}})$ и $w_{\text{н}}(t_{\text{кон}})$ – плотность насыщенного пара соответственно в начале и конце каналов охладительной установки.

Учитывая выражение (2), определить M можно по формуле (3), полученной на основе аппроксимации табличных данных [4]:

$$w_{\text{н}}(t) = (0,0004212 t^3 + 0,001831 t^2 + 0,4195 t + 4,727) \cdot 10^{-3}. \quad (3)$$

Испарение жидкости происходит за счёт энергии, поступающей из «сухого» и «мокрого» потоков воздуха, температуры которых обозначим соответственно как T и t :

$$C_{\text{с}} G_{\text{с}} \rho_{\text{с}} (T_{\text{нач}} - T_{\text{кон}}) \quad \text{и} \quad C_{\text{м}} G_{\text{м}} \rho_{\text{м}} (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}), \quad (4)$$

где C – теплоёмкость воздуха, Дж/(кг·град);

G – расход воздуха, м³/с;

ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Параметры воздуха в «сухих» каналах обозначим индексом «с», в «мокрых» – «м».

Таким образом, уравнение баланса энергии в косвенном охладителе имеет вид

$$C_{\text{с}} G_{\text{с}} \rho_{\text{с}} (T_{\text{нач}} - T_{\text{кон}}) + C_{\text{м}} G_{\text{м}} \rho_{\text{м}} (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}) = G_{\text{м}} \varepsilon R \cdot [\varphi_{\text{кон}} w_{\text{н}}(t_{\text{кон}}) - \varphi_{\text{нач}} w_{\text{н}}(t_{\text{нач}})]. \quad (5)$$

Принимая за k отношение воздушных потоков $-\frac{G_c}{G_M}$, преобразуем балансовое уравнение к следующему виду:

$$C_c k \rho_c (T_{\text{нач}} - T_{\text{кон}}) + C_M \rho (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}) = \varepsilon R \cdot [\phi_{\text{кон}} w_n(t_{\text{кон}}) - \phi_{\text{нач}} w_n(t_{\text{нач}})]. \quad (6)$$

Очевидно, что глубина охлаждения потока воздуха в сухом канале в значительной степени определяется отношением воздушных потоков.

Оптимальной конструкцией водоиспарительного охладителя косвенного принципа действия должно обеспечиваться равенство температур на выходе из «сухих» и «мокрых» каналов, а также полное насыщение вспомогательного «мокрого» потока паром:

$$T_{\text{кон}} = t_{\text{кон}}, \phi_{\text{кон}} = 1. \quad (7)$$

Учитывая, что температуры воздуха на входе в «сухие» и «мокрые» каналы равны, и принимая во внимание дифференциально малую разницу теплоёмкости воздушных потоков в этих каналах, приведём балансовое уравнение к виду, соответствующему наиболее рациональной конструкции косвенного охлаждения:

$$(k+1)C\rho(T_{\text{нач}} - T_{\text{кон}}) = \varepsilon R[w_n(t_{\text{кон}}) - \phi_{\text{нач}} w_n(t_{\text{нач}})]. \quad (8)$$

Для косвенного принципа водоиспарительного охлаждения справедлива следующая формула определения холодопроизводительности установки:

$$Q = C_c G_c \rho_c (t_{\text{нач, с}} - t_{\text{кон, с}}). \quad (9)$$

Из данных, приведённых на рисунке 1, видно, что с ростом значения k уменьшается глубина охлаждения. Вместе с этим можно предположить, что при увеличении расхода воздуха в пользу основных «сухих» каналов, несмотря на снижение глубины охлаждения, холодопроизводительность установки будет расти до некоторого момента. Достигнув его, она начнёт снижаться, так как при значительном перераспределении воздушного потока в «сухие» каналы глубина охлаждения, а следовательно, и холодопроизводительность будут стремиться к нулю. Данные рассуждения позволяют сделать вывод о существовании оптимальных соотношений воздушных потоков, обеспечивающих максимальную холодопроизводительность.



Рис 1. Эффективность охлаждения при различных отношениях потоков: $T_{\text{нач}} = 30^{\circ}\text{C}$, $\phi_{\text{нач}} = 40\%$

Общий воздушный поток складывается из

$$G_{\text{общ}} = G_c + G_m = G_c + G_c / k. \quad (10)$$

Следовательно,

$$G_c = \frac{k}{k+1} G_{\text{общ}}. \quad (11)$$

Принимая во внимание последнее соотношение, представим формулу для определения условной холодопроизводительности в следующем виде:

$$Q_{\text{усл}} = \frac{Q}{C_c G_{\text{общ}} \rho_c} = \frac{k}{k+1} (T_{\text{нач}} - T_{\text{кон}}). \quad (12)$$

Расчёты, проведённые на основании формул (8) и (12), позволяют сделать вывод о том, что оптимальные значения соотношений воздушных потоков в «сухих» и «мокрых» каналах должны определяться в зависимости от температурно-влажностных параметров входного воздуха. Наиболее рациональные значения k приведены в таблице 1.

Таблица 1. Отношение воздушных потоков при разных температурно-влажностных значениях входного воздуха

Значение коэффициента k	Температура входного воздуха, °C	Относительная влажность входного воздуха, %
1,95	25–30	60–70
2,05	30–35	45–60
2,2	35–40	30–45
2,4	40–45	20–30

На рисунке 2 представлены значения коэффициентов распределения воздушных потоков при различных температурно-влажностных параметрах воздуха. Отметим, что при одной и той же температуре большее значение коэффициента соответствует большему показателю влажности воздуха – соответственно 30, 40 и 50%. Линейную зависимость указанного коэффициента можно представить аппроксимацией графических данных

$$k = 0,0315 T_{\text{нач}} + 1,04.$$

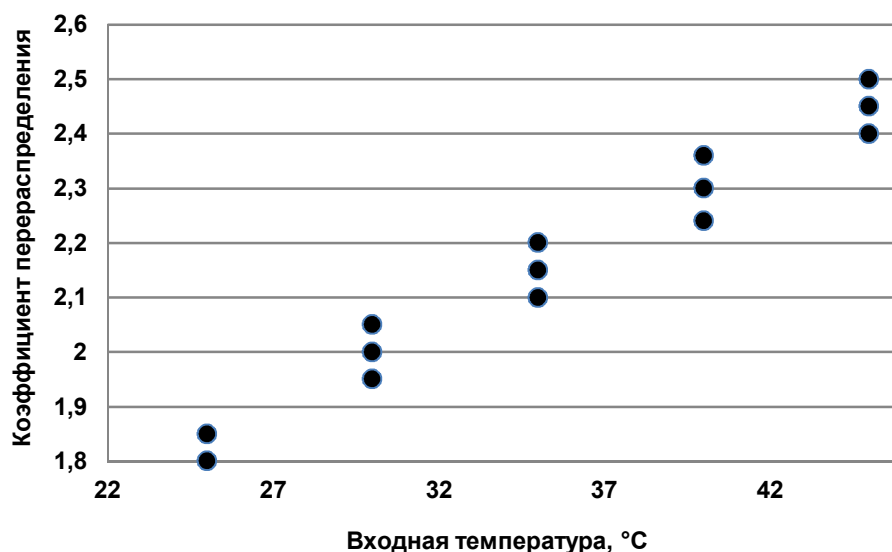


Рис. 2. Зависимость отношения потоков от температурно-влажностных параметров воздуха

Проведённые исследования показывают, что расходы воздуха по «сухим» и «мокрым» каналам должны быть различными. Это можно осуществить двумя вентиляторами различной мощности. Однако такой подход значительно увеличит стоимость охладительной установки. Предлагается при использовании одного вентилятора изменить геометрические параметры испарительной насадки охладителя, которые создадут требуемое перераспределение потоков [19, 20]. Так как длины «сухих» и «мокрых» каналов должны быть равными, определим, как подобрать сечения каналов и, как следствие, скорости потоков воздуха в них для решения данной задачи.

Рассмотрим аэродинамические сопротивления, которые встречает воздушный поток, проходящий через каналы охладителя. Во-первых, при входе в канал поток встречает ΔP_c – аэродинамическое сопротивление при резком сужении потока. Далее, двигаясь по каналу, воздушный поток преодолевает $\Delta P_{тр}$ – транспортное сопротивление. Достигая конца канала охладителя, воздушный поток выходит из него, преодолевая ΔP_c – аэродинамическое сопротивление при резком расширении потока.

Для прямоугольных каналов с постоянным значением поперечного сечения аэродинамическое сопротивление можно определить по следующей формуле [6]:

$$\Delta P_{тр} = \lambda_{тр} \cdot \frac{L \cdot \rho \cdot V^2}{2 \cdot d_э}, \quad (13)$$

где $\lambda_{тр}$ – коэффициент гидравлического трения, учитывающий форму поперечного сечения канала;

L – длина канала, м;

V – скорость движения воздуха, м/с;

$d_э = 2h$ – эквивалентный диаметр, м;

h – поперечное сечение канала, м.

Известно [6], что при ламинарном течении воздушного потока аэродинамические сопротивления возникают вследствие взаимного трения различных слоёв движущегося газа. Их численное значение определяется коэффициентом Рейнольдса ($Re < 3000$) с учётом геометрической формы поперечного сечения воздушного канала охладителя:

$$\lambda_{тр} = \delta \cdot 64 / Re, \quad (14)$$

где δ – коэффициент, зависящий от геометрии канала (в случае плоского канала $\delta = 1,5$);

$$Re = \frac{V d_э}{\nu},$$

где $\nu = 16 \cdot 10^{-6}$ м²/с – кинематическая вязкость воздуха.

С учётом плотности воздушного потока $\rho = 1,13$ кг/м³ формула (13) примет вид

$$\Delta P_{тр} = 217 \cdot \frac{L \cdot V}{h^2} \cdot 10^{-6}. \quad (15)$$

Для определения местных аэродинамических сопротивлений принято использовать следующую зависимость [6]:

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}, \quad (16)$$

где ξ – коэффициент местных сопротивлений.

На входе воздушного потока в канал при резком сужении указанная зависимость приобретает следующий вид:

$$\Delta P_{суж} = \xi_{суж} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}, \quad (17)$$

где $\xi_{суж}$ – коэффициент местных сопротивлений при внезапном сужении.

Потери при внезапном расширении потока определяются по формуле

$$\Delta P_{\text{рас}} = \xi_{\text{рас}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}, \quad (18)$$

где $\xi_{\text{рас}}$ – коэффициент местных сопротивлений при расширении.

Так как скорости в двух последних формулах относятся к более узкому участку, формулы потери давления при внезапном сужении и внезапном расширении можно объединить в одну формулу местной потери давления:

$$\Delta P_{\text{рс}} = \Delta P_{\text{суж}} + \Delta P_{\text{рас}} = (\xi_{\text{суж}} + \xi_{\text{рас}}) \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} = \xi_{\text{рс}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}, \quad (19)$$

где $\xi_{\text{рс}} = \xi_{\text{суж}} + \xi_{\text{рас}}$ назовём коэффициентом «р – с», значения которого приведены в таблице 2, здесь F_0/F_1 – степень сужения.

Так как при косвенном испарении «сухие» каналы сечения h_c и «мокрые» каналы сечения h_m , разделённые пластинами сечения $h_{\text{пл}}$, чередуются, то степень сужения «сухих» и «мокрых» каналов определяется по формулам

$$\frac{F_0^c}{F_1} = \frac{h_c}{h_c + h_m + 2h_{\text{пл}}} \quad \text{и} \quad \frac{F_0^m}{F_1} = \frac{h_m}{h_c + h_m + 2h_{\text{пл}}}. \quad (20)$$

Таблица 2. Коэффициенты местных сопротивлений для различных степеней сужения воздушных каналов

$\frac{F_0}{F_1}$	Число Рейнольдса, Re											
	$5 \cdot 10^2$			10^3			$2 \cdot 10^3$			$3 \cdot 10^3$		
	$\xi_{\text{суж}}$	$\xi_{\text{рас}}$	$\xi_{\text{рс}}$	$\xi_{\text{суж}}$	$\xi_{\text{рас}}$	$\xi_{\text{рс}}$	$\xi_{\text{суж}}$	$\xi_{\text{рас}}$	$\xi_{\text{рс}}$	$\xi_{\text{суж}}$	$\xi_{\text{рас}}$	$\xi_{\text{рс}}$
0,1	0,82	1,70	2,52	0,64	2,00	2,64	0,50	1,60	2,10	0,65	1,00	1,65
0,2	0,70	1,30	2,00	0,50	1,60	2,10	0,40	1,25	1,65	0,50	0,70	1,20
0,3	0,60	1,10	1,70	0,44	1,30	1,74	0,30	0,95	1,25	0,42	0,60	1,02
0,4	0,50	0,85	1,35	0,35	1,05	1,40	0,25	0,80	1,05	0,35	0,40	0,75
0,5	0,42	0,65	1,07	0,30	0,90	1,20	0,20	0,65	0,85	0,30	0,30	0,60
0,6	0,35	0,40	0,75	0,24	0,60	0,84	0,15	0,50	0,65	0,25	0,20	0,45

При использовании в формулах реальных значений сечения каналов и пластин, а также скоростей потоков воздуха, получаем, что критерий Рейнольдса находится в диапазоне (500; 3000), степень сужения – в диапазоне (0,2; 0,3). Эти диапазоны выделены в таблице 2. Значения коэффициентов «р – с» можно аппроксимировать, используя следующую формулу:

$$\xi_{\text{рс}} = (0.9435 \cdot 10^{-10} Re^3 - 0.5335 \cdot 10^{-6} Re^2 + 0.0007 Re + 0.694) \left(\frac{F_0}{F_1} \right)^{0.5}. \quad (21)$$

Подставляя значение $Re = \frac{V2h}{\nu}$, получаем

$$\xi_{\text{рс}} = (265893h^3V^3 - 10644h^2V^2 + 98.875hV + 0.694) \left(\frac{F_0}{F_1} \right)^{0.5}. \quad (22)$$

Представленные выше формулы позволяют определить общие потери давления в «сухих» каналах

$$\Delta P_c = 217 \cdot \frac{L \cdot V_c}{h_c^2} \cdot 10^{-6} + (265893h_c^3V_c^3 - 10644h_c^2V_c^2 + 98.875h_cV_c + 0.694) / \left(\frac{h_c}{h_c + h_m + 2h_{\text{пл}}} \right)^{0.5} \cdot \frac{\rho V_c^2}{2}. \quad (23)$$

В «мокрых» каналах к указанным сопротивлениям добавляется сопротивление при повороте потока на 90° при выходе из охладителя

$$\Delta P_{\text{пов}} = \xi_{\text{пов}} \cdot \frac{\rho \cdot V_M^2}{2}, \quad (24)$$

где $\xi_{\text{пов}}$ определяется по формуле $\xi_{\text{пов}} = 0.95 \sin^2 \frac{\pi}{4} + 2.05 \cos^2 \frac{\pi}{4} = 1$.

Таким образом, общие потери давления в «мокрых» каналах принимают вид

$$\Delta P_M = 217 \cdot \frac{L \cdot V_M}{h_M^2} \cdot 10^{-6} + (265893 h_M^3 V_M^3 - 10644 h_M^2 V_M^2 + 98.875 h_M V_M + 0.694) / \left(\frac{h_M}{h_c + h_M + 2h_{\text{пл}}} \right)^{0.5} \cdot \frac{\rho V_M^2}{2} + \frac{\rho V_M^2}{2}. \quad (25)$$

Эти потери давления можно приравнять, тогда

$$\Delta P_c = \Delta P_M. \quad (26)$$

Выведенное выше оптимальное по холодопроизводительности перераспределение потоков $k = \frac{G_c}{G_M} = \frac{V_c h_c}{V_M h_M}$ даёт возможность получения уравнения

$$V_c h_c = k V_M h_M. \quad (27)$$

На рисунке 3 представлен график зависимости значений сечения «мокрых» каналов от коэффициента перераспределения потоков.

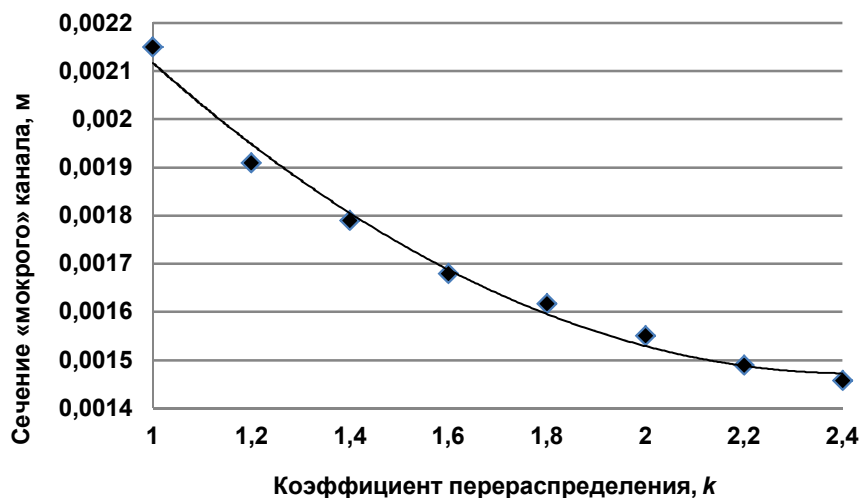


Рис. 3. Зависимость сечения «мокрого» канала от коэффициента распределения воздушных потоков

При заданных значениях сечения «сухих» каналов и скорости в них численное решение системы уравнений, представленной формулами (26) и (27), позволяет при фиксированной величине перераспределения потоков определить необходимое сечение «мокрых» каналов.

К примеру, при значении коэффициента перераспределения потоков $k = 2$, длине каналов $L = 0,4$ м, скорости $V_c = 4$ м/с, сечения «сухих» каналов $h_c = 0,0002$ м сечения «мокрых» каналов должны быть равными $h_M = 0,000155$ м.

Таким образом, приведённый выше подход позволяет подобрать наиболее рациональные геометрические параметры испарительных насадок косвенно-испарительных охладителей без значительного увеличения их стоимости и усложнения конструкции.

Библиографический список

1. Анисимов С.М. Влияние параметров наружного воздуха на эффективность работы перекрестно-точного теплообменника косвенно-испарительного типа / С.М. Анисимов, Д. Панделидис, В.И. Полушкин // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 4 (33). – С. 179–187.
2. Архипцев А.В. Эффективная система вентиляции / А.В. Архипцев, И.Ю. Игнаткин, М.Г. Курячий // Вестник НГИЭИ. – 2013. – № 8 (27). – С. 10–15.
3. Водоиспарительное и комбинированное охлаждение воздуха / С.А. Гаранов, А.А. Жаров, Д.А. Пантеев, А.Н. Соколик // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 1 (13). – С. 40.
4. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. – Москва : Наука, 1972. – 420 с.
5. Емельянов А.Л. Гибридная испарительно-компрессионная установка кондиционирования воздуха / А.Л. Емельянов, К.М. Горбатов, С.А. Гаранов // Вестник Международной академии холода. – 2013. – № 4. – С. 34–37.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – Москва : Машиностроение, 1992. – 672 с.
7. Игнаткин И.Ю. Универсальная установка обеспечения микроклимата / И.Ю. Игнаткин, В.В. Кирсанов // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 8 (63). – С. 110–116.
8. Игнаткин И.Ю. Математическая модель водоиспарительного охлаждения с орошаемыми поверхностями / И.Ю. Игнаткин // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 6 (61). – С. 23–30.
9. Исследование воздухоохладителя косвенно-испарительного типа с дисперсной насадкой / А.В. Бараков, В.Ю. Дубанин, Д.А. Прутских, А.М. Наумов // Промышленная энергетика. – 2010. – № 11. – С. 37–40.
10. Кузьмин М.С. Энергосбережение при интенсификации теплообмена в системах кондиционирования зданий / М.С. Кузьмин // Academia. Архитектура и строительство. – 2015. – № 2. – С. 120–124.
11. Майсоценко В.С. Тепломассообмен в регенеративных косвенно-испарительных воздухоохладителях / В.С. Майсоценко // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1987. – № 10. – С. 91–96.
12. Шацкий В.П. Моделирование процессов косвенно-испарительного охлаждения воздуха в МЭС / В.П. Шацкий, В.А. Гулевский // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2006. – № 13. – С. 142–149.
13. Шацкий В.П. Об эффективности применения водоиспарительных охладителей в птицеводческих помещениях / В.П. Шацкий, В.А. Гулевский, Ж.В. Высоцкая // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2004. – № 9. – С. 171–175.
14. Anisimov S. Numerical Study of the Maisotsenko Cycle Heat and Mass Exchanger / S. Anisimov, D. Pandelidis // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2014. – Vol. 75. – Pp. 75–96.
15. Chengqin R. An Analytical Model for the Heat and Mass Transfer Processes in Indirect Evaporative Cooling with Parallel/Counter Flow Configurations / R. Chengqin, Y. Hongxing // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2006. – Vol. 49, No. 3. – Pp. 617–627.
16. Fakhrabadi F. Optimal Design of a Regenerative Heat and Mass Exchanger for Indirect Evaporative Cooling / F. Fakhrabadi, F. Kowsary // Applied Thermal Engineering. – 2016. – Vol. 102. – Pp. 1384–1394.
17. Indirect Evaporative Cooling: Past, Present and Future Potentials / Z. Duan, C. Zhan, X. Zhang, M. Mustafa, X. Zhao, B. Alimohammadisagvand, A. Hasan // Renewable and Sustainable Energy. – 2012. – Vol. 16. – Pp. 6823–6850.
18. Kandlikar S.G. Heat Transfer and Fluid Flow in Minichannels and Micro-channels / S.G. Kandlikar, S. Garimella, D. Li, M.R. King. – Oxford : Elsevier Science, 2011. – 472 p.
19. Shatskiy V.P. Cooling of the sealed volumes using water evaporation coolers / V.P. Shatskiy, V.A. Gulevskij // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2017. – No. 4 (36). – Pp. 70–76.
20. Shatskiy V.P. Joint modelling of heat and mass transfer and aerodynamic processes in evaporative water coolers / V.P. Shatskiy, V.A. Gulevsky, A.S. Chesnokov // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. – 2012. – No. 3 (15). – С. 26–32.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Владимир Павлович Шацкий – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой математики и физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Вячеслав Анатольевич Гулевский – доктор технических наук, профессор кафедры математики и физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: gulevsky_va@inbox.ru.

Дата поступления в редакцию 14.11.2020

Дата принятия к печати 24.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS

Affiliations

Vladimir P. Shatskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Mathematics and Physics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Vyacheslav A. Gulevsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Mathematics and Physics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: gulevsky_va@inbox.ru.

Received November 14, 2020

Accepted after revision December 24, 2020

СОВРЕМЕННЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОТВАЛЬНОЙ ВСПАШКИ

**Владимир Васильевич Василенко
Сергей Владимирович Василенко
Наталья Митрофановна Дерканосова
Татьяна Николаевна Тертычная
Ким Рубенович Казаров**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Совершенствование технологии вспашки и конструкции плугов преследует две цели – улучшение качества работы и уменьшение затрат энергии. Виды отвальной вспашки различаются по углу оборота почвенных пластов от 135 до 180°. Наиболее качественная вспашка получается при угле оборота 180°, но этого удалось достичь только в последние десятилетия. Наиболее простым и надёжным способом оборота является перекачивание пласта в расширенную борозду. Для расширения борозды можно оснастить плуги специальными щитами. Такое техническое решение практически не требует дополнительных затрат энергии, а устраняет потребность в предплужниках и тем самым облегчает работу плуга. Другое направление модернизации плугов состоит в применении вибрации рабочих органов. Принудительная вибрация эффективна для уменьшения тягового сопротивления, но невыгодна с точки зрения энергетики. Более рациональной является спонтанная вибрация, которая тоже снижает сопротивление плуга на 14–15%. Предложен также способ разделения пласта на верхнюю и нижнюю части, в соответствии с которым верхняя часть оборачивается в борозду, а нижняя подвергается рыхлению и остаётся в борозде, что уменьшает затраты энергии, а также снижает негативное воздействие на экологию. Техническое решение состоит в удалении отвала от лемеха на зазор 50–80 мм. Значительную экономию тягового усилия трактора можно достичь заменой полевой доски на дополнительный лемех. Перспективным является совмещение глубокого рыхления и оборота верхнего слоя почвы. Гладкую вспашку с полным оборотом пластов можно выполнить поворотным плугом с симметричными рабочими корпусами, у которых в качестве полевой доски используются лемеха и отвалы в позиции, когда они не выполняют основную функцию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: полный оборот пластов, вибрация, сопротивление плуга, дополнительный лемех, разделение пласта.

MODERN WAYS OF DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND TECHNICAL FACILITIES FOR MOLDBOARD PLOWING

**Vladimir V. Vasilenko
Sergey V. Vasilenko
Natalia M. Derkanosova
Tatiana N. Tertychnaya
Kim R. Kazarov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Improving plowing technology and plow design is intended to enhance the quality of work and reduce energy costs. The types of moldboard plowing differ in the angle of rotation of the soil layers from 135 to 180°. The highest quality is obtained with a rotation angle of 180°, but this has been achieved only in recent decades. The simplest and most reliable way of turning is to roll the layer into a broadened furrow. For this purpose the plows can be equipped with special shields. Such technical solution does not practically require additional energy costs, and eliminates the need for application colters and thereby facilitates the work of the plow. Another direction of modernization of plows is the use of vibration of working bodies. Forced vibration is effective in reducing plowing resistance, but it is not profitable from the point of view of energetics. More rational is spontaneous vibration, which also reduces the resistance of the plow by 14–15%. A method for dividing furrow slice into upper and lower parts is also proposed, according to which the upper part is overturned in a furrow, and the lower part is ripping and remains in the furrow, which reduces energy costs, as well as negative impact on the environment. The technical solution is to remove the plow moldboard from the ploughshare for a gap of 50–80 mm. A substantial

saving in tractor traction can be achieved by replacing the landside plate with an additional ploughshare. The combination of deep ripping and turnover of the topsoil is promising. Flat plowing with a full turn of the layers can be performed with a turning plow with symmetrical working bodies, which instead of landside plate use ploughshares and plow earthboard in the position when they do not perform their main function.

KEYWORDS: full turnover of soil layers, vibration, plow resistance, additional ploughshare, layer dividing.

Введение

После зарождения земледелия вспашка почвы с оборотом пластов стала применяться далеко не сразу. Понадобилось около десяти тысяч лет, чтобы люди осознали, что обрабатываемый слой почвы надо ежегодно переворачивать, чего нельзя сделать ни примитивным копачом, ни мотыгой и даже сохой.оборот пластов стал применяться три с половиной тысячи лет назад с появлением римского плуга. Постепенно плуг стал основным орудием земледельца, он постоянно видоизменялся и совершенствовался. На современном этапе развития земледелия энергообеспеченность технологии возросла настолько, что вспашка вступила в противоречия с требованиями экологии. Одно дело – пахать лошадкой на глубину 1,5 вершка [8], а другое – поднимать, взрыхлять и переворачивать трактором пласты на глубину до 32 сантиметров, подвергая их смыву и выветриванию. На чашу весов поставлены преимущества и недостатки современной отвальной вспашки. Самым главным и единственным преимуществом плуга является то, что это почвообрабатывающее орудие способно оборачивать пласты, заделывая опавшие семена сорняков глубже 10–12 сантиметров, откуда их проростки не дотягиваются до дневной поверхности и погибают. Механизаторы считают плуг «санитаром полей» за то, что он без всяких гербицидов подавляет сорную растительность. Никакое другое орудие этого сделать не может, хотя все остальные задачи основной обработки почвы можно реализовать дисковыми, плоскорезными, чизельными или комбинированными рабочими органами, работа которых менее энергоёмка, чем работа отвального плуга.

В создавшейся ситуации с выбором способа основной обработки почвы есть два варианта компромиссных решений [11]. В почвенно-климатических условиях с недостаточным или рискованным увлажнением (до 500 мм осадков в год) предпочтение следует отдавать минимальной обработке, применяя многорядные дисковые орудия, плоскорезы и комбинированные агрегаты. В зонах с нормальным количеством осадков плугам нет конкуренции. Другое компромиссное решение – это минимальная обработка поля в течение трёх лет, а на четвёртый год, когда подходит очередь сахарной свёклы или другой пропашной культуры, следует применять глубокую отвальную вспашку. Таким образом, плуги не сдают своих позиций, они применяются примерно на половине мировых посевных площадей [11], а западные фирмы-производители плугов, такие как Lemken, Kverneland, Kuhn и другие, не сбавляют темпов своего производства. Развитие технологии воздействия на обрабатываемый слой почвы и конструкции рабочих органов происходит неравномерно друг от друга.

Разновидности способов отвальной вспашки и их технологические особенности

Наиболее древним способом вспашки является так называемый взмёт пластов, когда их угол оборота в большинстве случаев не превышает 135°, а с увеличением глубины обработки он становится ещё меньше. Если ширина захвата рабочего корпуса равна 0,35 м, то угол оборота можно увеличить до 145°, но для этого надо уменьшить глубину вспашки до 0,20 м. Предельной является глубина 0,27 м, при которой угол оборота составляет 130°, а пласт становится в критическое положение на одну точку опоры и готов вернуться в вертикальную позицию. При вспашке на глубину 0,25 м теоретическая высота гребней над впадинами равна 0,17 м. Графический анализ оборота пластов показывает, что при этом сорняки взойдут на 25% поверхности поля, то есть там, где глубина заделки их семян оказалась меньше 0,1 м. При вспашке с увеличенной

до 0,45 м шириной захвата рабочих корпусов критический угол оборота пластов остаётся таким же, 130° , но вспашка возможна до глубины 0,35 м. При обычной глубине вспашки 0,25 м высота гребней возрастает до 0,21 м, а сорняки взойдут на 15% поверхности поля. При взлёте пласта во впадинах остаётся незаделанная стерня [7], под гребнями образуются пустоты, почва теряет влагу интенсивным проветриванием.

Вспашка с предплужником называется культурной [13] за лучшее качество работы по сравнению со взлётом пластов. Польза предплужника состоит в том, что он перед оборотом пласта снимает с него примерно четверть его площади сечения как раз в том месте, которое после оборота будет опираться на предыдущий пласт и окажется наиболее близким к дневной поверхности. Эту часть пласта он сбрасывает на дно борозды. В результате угол оборота пласта будет увеличен, вся стерня и семена сорняков упрятаны глубоко, а гребнистость поля заметно уменьшится. Например, при вспашке с шириной пласта 0,45 м на глубину 0,25 м с предплужником, отрегулированным на глубину хода 0,12 м, угол оборота пластов достигает 155° , а высота гребней снижается до 0,18 м. Что касается сорняков, то все их семена оказываются зарытыми на недоступную для прорастания глубину [5, 7]. Несмотря на лучшее качество работы, механизаторы часто снимают предплужники, так как они на 15–20% увеличивают сопротивление плуга [11] и загромождают рабочие проходы для пластов почвы, увеличивая вероятность забивания плуга землёй и растительными остатками. Из-за этого недостатка вместо предплужников зачастую устанавливают углоснимы. Они выполняют ту же роль, но с худшим качеством.

Полный оборот пластов происходит при вспашке фронтальными плугами. Поскольку метод перекатывания пластов не может обеспечить оборот на 180° , в конструкциях фронтальных плугов применён метод вращения в собственной борозде [11]. Для этого рабочий орган усложнили. Нижний обрез отвала подняли повыше и добавили отдельный элемент, названный заплужником. Если отвал толкает пласт вправо по ходу плуга, то заплужник толкает его влево, причём в нижней части. В результате пласт вращается в борозде и переворачивается на полоборота. При этом способе вспашки появляется масса преимуществ. Предплужники ему не нужны, все рабочие корпуса расположены в поперечную линию, длина плуга стала непривычно короткой, поэтому плуг лёгок на подъём, вспаханная поверхность ровная, без гребней. Но способ оборота в своей борозде имеет низкую технологическую надёжность. Пласт проходит в зазор между отвалом и заплужником, и при увеличении глубины вспашки, превышающем расчётную для плуга, пласт не проходит, и плуг забивается. Он забивается и при работе на засорённом поле.

Оборот пласта в расширенную борозду

Оборот пластов методом перекатывания технологически очень надёжный, так как он происходит в свободном пространстве, и даже плотно стоящие сорняки ему практически не мешают. Мешают завершить оборот нависающие над бороздой угловые части предыдущих пластов (рис. 1, а). При обычной вспашке за каждым рабочим корпусом плуга остаётся открытая борозда с профилем ABCDE, в которую тут же опрокидывается очередной пласт. Но ему мешает угол D предыдущего пласта. Чтобы расчистить траекторию опрокидывания, надо отодвинуть мешающую часть пласта в сторону паханого поля. Для этого нами предложено устанавливать за каждым рабочим корпусом вертикальные щиты с наклоном к направлению движения агрегата. Эти щиты деформируют пласт и перемещают часть почвы во впадину между гребнями и в пустоту под пластом. Образуется прямоугольная широкая борозда ABCF (рис. 1, б), в которой разместится очередной пласт, вплотную к противоположной стенке. Весьма положительным фактом является то, что щиты совершают эту работу только при первом рабочем проходе плуга. В дальнейшем все борозды формируются широкими, и щитам остаётся только подгрести слегка осыпавшуюся почву.

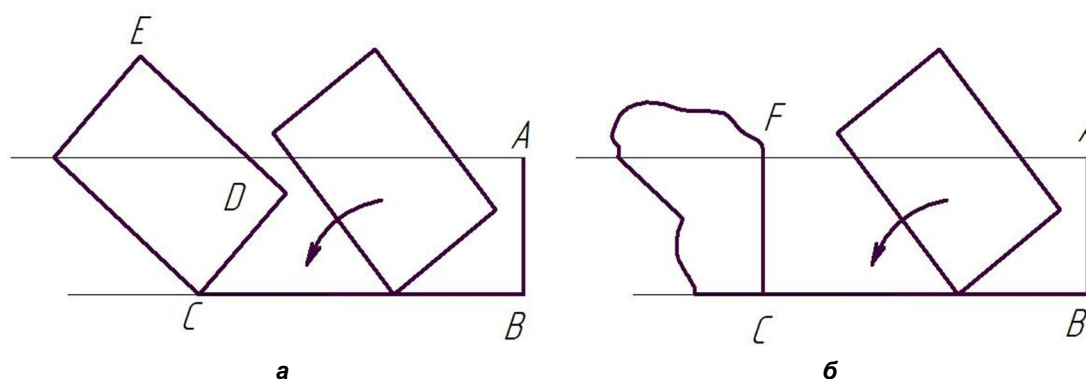


Рис. 1. Схема оборота пласта в обычную (а) и расширенную (б) борозды

Результаты собственных исследований показывают, что при установившемся режиме работы каждый щит создаёт дополнительную силу сопротивления плуга, которую можно вычислить по зависимости

$$P = 0,125a^2 \left(2,32l\psi + \frac{\rho v^2 \sin \gamma \cos \gamma}{f'} \right) \sqrt{1 + f^2} \cdot \cos \left(\arctg \frac{1}{f} - \gamma \right), \quad (1)$$

где a – глубина вспашки, м;

γ – угол наклона щита к направлению движения агрегата;

f – коэффициент внешнего трения почвы;

f' – коэффициент внутреннего трения почвы;

l – рабочая длина щита, м;

ρ – плотность почвы, кг/м³;

ψ – сила веса 1 м³ почвы, Н/м³;

v – скорость движения агрегата, м/с.

Теоретические расчёты и непосредственные измерения в полевых опытах показали, что сила тягового сопротивления одного щита равна 60–70 Н, и только при глубине вспашки 0,30 м она возрастает до 80–85 Н. Для трактора это очень небольшое усилие по сравнению с сопротивлением предплужника, которое доходит до одного килоньютонa. При оценке качества работы плуга, оснащённого щитами, было установлено, что 100% стерни и семена сорняков упрятаны на глубину более 0,1 м, пласты перевёрнуты на 175–178°, гребнистость поля практически исчезла, а также заметно уменьшилась глыбистость поверхности поля из-за действия щитов.

Вспашка с расширением борозды выполняется без предплужников, поэтому она менее энергоёмка [4] и более эффективна по агротехническим показателям, поэтому перспективными можно признать и технологию полевой операции, и техническое решение модернизации плуга.

Применение вибрации рабочих органов

Давно замечено и стало общеизвестным, что вибрация инструмента облегчат его внедрение в обрабатываемый материал. Важную роль при этом играют силы трения. Природа сил трения изучена не до конца, хотя получены формулы для точных расчётов, а также известно, что при движении сила трения меньше, чем в покое. У вибрирующего инструмента возникают микроперемещения материала или его частиц по рабочей поверхности, и коэффициент трения уменьшается. Но это только в простейшем представлении. Теоретически можно представить, что коэффициент трения не меняется, а возникают микроперелёты частиц вообще без сил трения, а практический эффект уменьшения силы трения тот же самый. Как бы то ни было, но вибрирующие почвообрабатывающие органы имеют меньшее тяговое сопротивление, чем пассивные. В лабораторных опытах нами установлено, что коэффициент трения почвы по стальной поверхности, равный 0,61, при вибрации с частотой 22–24 Гц и амплитудой 2–4 мм

уменьшается до 0,50, то есть на 18% [6]. Применение вибрации при обработке почвы оказывается эффективным, если правильно выбрано направление колебаний. Его выбор зависит от скорости вибрации [16, 24], которая вычисляется по зависимости [14]

$$V_{виб} = \omega \cdot A = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot A, \quad (2)$$

где $V_{виб}$ – скорость вибрации инструмента или рабочего органа, м/с;

ω – круговая частота кривошипа в механизме привода, c^{-1} ;

A – амплитуда колебаний, м;

f – частота колебаний, или число оборотов кривошипа в секунду, Гц.

Режим колебаний должен допускать мгновенные отрывы инструмента от почвы с последующим ударом. Тогда почва распадается на комочки, их взаимное перемещение облегчается, а это и есть обработка. Если направление колебаний совпадает с направлением движения, то скорость вибрации должна превышать скорость движения, иначе микроотрывов не будет [23]. Различают два типа вибрации – принудительную и спонтанную. Принудительная вибрация возникает от действия механизма привода и требует дополнительных затрат энергии. Обычно это высокочастотная вибрация и, как правило, с небольшой амплитудой. У неё высокая скорость, поэтому она эффективна с любым направлением колебаний. Её эффективность проявляется в уменьшении тягового сопротивления орудия. Но затраты энергии на её привод всегда превышают экономию от снижения тягового сопротивления [12], поэтому она невыгодна из экономических соображений.

Спонтанная вибрация рабочего органа возникает от переменного сопротивления почвы при условии пружинистых свойств его стойки. Этот вид вибрации имеет низкую частоту, не превышающую 10 Гц, и увеличенную амплитуду. Но всё равно, несмотря на амплитуду, скорость спонтанной вибрации меньше скорости движения агрегата, и направление колебаний нежелательно ориентировать по направлению движения плуга, как это предлагается в некоторых запатентованных технических решениях [15, 16, 17]. Известно, что на рабочий корпус плуга действует не только продольная, но и боковая сила. Она тоже пульсирующая и может вызвать колебания рабочего корпуса, закреплённого на пружинной стойке. Стойка может представлять собой пластину или пакет пластин, ориентированных по направлению движения плуга. Такая ориентация позволит им колебаться в поперечном направлении. Поперечные колебания более эффективны, чем продольные.

Нами разработаны и испытаны в полевых условиях вибрирующие стойки (рис. 2, а) на четырёх- и шестикорпусном навесных плугах, спроектированных для изготовления на воронежских предприятиях «Аква-Свар» и «ВСЗ-Холдинг». Вибрирующие рабочие корпуса плуга образуют в почве опережающие трещины, уменьшают коэффициент трения, стряхивают налипшую почву и сорняки, в результате уменьшаются и тяговое сопротивление, и затраты энергии.

В полевых опытах было зарегистрировано уменьшение тягового сопротивления шестирядного плуга на 14,5% по сравнению с сопротивлением плуга с пассивными корпусами. Четырёхкорпусный плуг в условиях длительной эксплуатации показал увеличение производительности на 18%. Простым и эффективным техническим решением является применение стойки в виде витой пластины [18]. Концы стойки повернуты на 90° относительно друг друга. Верхний конец ориентирован по направлению движения, а нижний – в поперечном направлении. При такой ориентации моменты сопротивления стойки в верхнем и нижнем сечениях соответствуют продольному и поперечному изгибающим моментам, и рабочий корпус колеблется в обоих направлениях, а также возможны крутильные колебания. Промежуточное положение между принудительной и спонтанной вибрацией занимают вертикальные толчки, которые наносит всему навесному плугу восьмигранное опорное колесо [19].

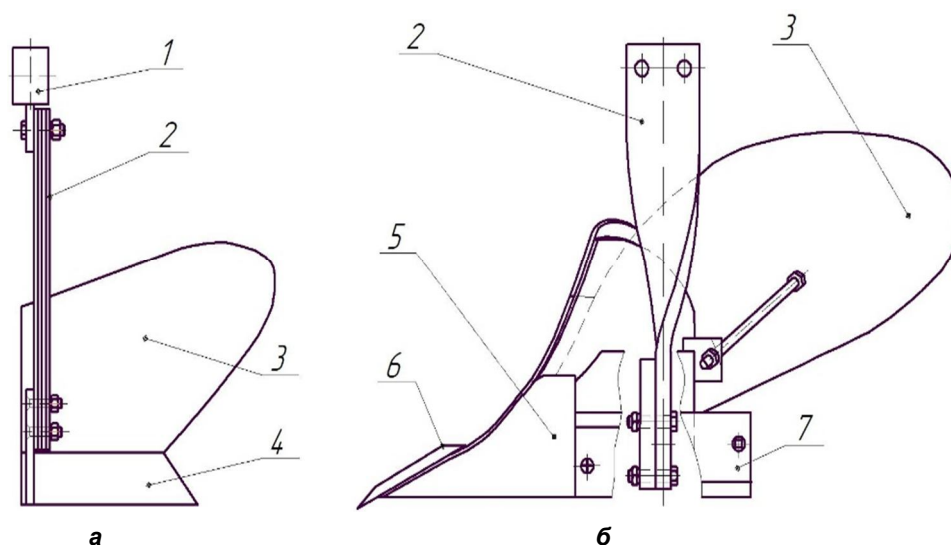


Рис. 2. Варианты пружинных стоек: пакет полос (а) и одна витая полоса (б):
1 – балка рамы плуга; 2 – стойка; 3 – отвал; 4 – лемех; 5 – башмак;
6 – долото; 7 – полевая доска

Частота вибрации зависит от размера восьмигранника и скорости движения агрегата, а амплитуда – только от его размера и деформации почвы под опорными поверхностями. Такое устройство возбуждает вибрацию с частотой 8–12 Гц и амплитудой 15–20 мм.

Оборот только верхней части пласта

В рабочем корпусе плуга полевая доска не является рабочим органом, так как не обрабатывает почву, а лишь является боковой опорой. Но она тоже сопротивляется движению плуга, провоцируя силу трения. Технологию вспашки значительно изменили учёные Саратовского ГАУ [1]. Боковую опору – полевую доску – заменили рабочим органом – левосторонним лемехом (рис. 3, а). Этот лемех только подрезает очередной пласт, но не передаёт его на отвал, а оставляет на месте. Его поднимет и перевернёт следующий рабочий корпус. Дополнительный лемех своим сопротивлением уравнивает боковые силы, и полевая доска в данном техническом решении становится ненужной, при этом энергозатраты снижаются.



Рис. 3. Плужный корпус с дополнительным лемехом (а) и с долотом (б)

Из-за отсутствия предплужников и укороченных отвалов стало возможным уменьшить продольную дистанцию между корпусами и общую длину плуга, а главную балку повернуть на угол 45° вместо прежних 27° . Другой особенностью технологии обработки почвы этим рабочим органом является разделение пласта по его толщине на верхнюю и нижнюю части. Нижняя часть проходит в специально оставленный зазор между лемехом и отвалом и остаётся на дне борозды. Верхнюю часть забирает отвал и оборачивает в борозду. По этому принципу работают плуги серии ПБС с шириной захвата рабочих корпусов до 0,6 м и глубиной вспашки до 0,35 м. Они показывают увеличенную на 20% производительность и такое же уменьшение удельного расхода топлива.

Аналогичная технология основной обработки почвы с разделением пласта на обрабатываемую часть и остающуюся в борозде реализована комбинированным рабочим органом, разработанным в отделе механизации ФГБНУ «Нижне-Волжский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» под руководством доктора технических наук И.Б. Борисенко (рис. 3, б). Комбинированный рабочий орган состоит из прямолинейной стойки, на которой закреплены чизельный рыхлитель и плужный отвал [2, 3]. Чизельная стойка с долотом и двумя горизонтальными лезвиями может работать на глубину до 0,45 м, разрыхляя «плужную подошву», а отвал может быть установлен на минимально необходимой высоте в зависимости от степени заделки стерни и семян сорняков. Эта технология основной обработки почвы совмещает глубокое чизелевание со вспашкой на щадящую экологию глубину, при этом одна операция равнозначна двум отдельным. В результате экономятся затраты времени и топлива, вследствие чего новая технология и конструкция рабочего органа являются перспективными.

Гладкая вспашка поворотным плугом

В большинстве случаев гладкая вспашка выполняется оборотными плугами. Но они металлоёмкие и тяжёлые на подъём. По этим показателям их превосходят поворотные плуги, так как левые и правые корпуса расположены на одной стойке. Расположение обеих рабочих поверхностей на одной стойке придаёт плугу возможность заменить полевые доски на опоры с гораздо большей площадью контакта со стенкой борозды [20, 21]. При этом стенка меньше деформируется, и опора скользит по ней с меньшей силой трения [10, 22]. Это ещё более облегчает плуг, так как опорой с увеличенной площадью является рабочая поверхность лемеха или отвала, которые в данный момент свободны от своей главной работы [9, 24]. На этом же рабочем органе можно установить щиты для полного оборота пластов (рис. 4). Таким образом, поворотный плуг превращается в орудие для гладкой вспашки с полным оборотом пластов и с уменьшенной металлоёмкостью.

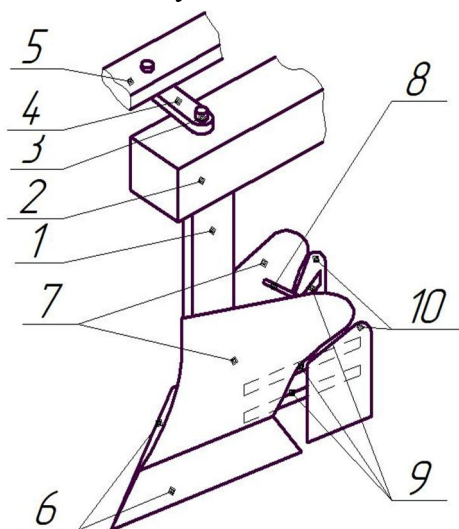


Рис. 4. Рабочий корпус поворотного плуга: 1 – поворотная стойка; 2 – балка рамы; 3 – ось поворота стойки; 4 – кривошип стойки; 5 – шатун; 6 – лемеха; 7 – отвалы; 8 – распорка; 9 – крепёжные уголки; 10 – щиты

Выводы

1. Приоритетными направлениями развития технологии основной обработки почвы методом отвальной вспашки являются вспашка с полным оборотом пахотного слоя, разделение пласта по толщине на верхнюю и нижнюю части, из которых одна оборачивается, а другая остаётся на дне борозды, и совмещение оборота верхнего слоя почвы с чизельной обработкой глубинных слоёв.

2. Перспективными направлениями модернизации плугов являются использование приспособлений для расширения борозды перед укладкой пласта, применение спонтанной вибрации рабочих корпусов, применение дополнительного лемеха, расстановка лемеха и отвала с зазором 50–80 мм, комбинирование чизельных рабочих органов с отвалами и придание функции широкой боковой опоры лемехам, отвалам и щитам на поворотных плугах.

Библиографический список

1. Бойков В.М. Новые способы и технические средства основной обработки почвы / В.М. Бойков. – Саратов : Изд-во Саратовского государственного университета, 1998. – 53 с.
2. Борисенко И.Б. Комплексное орудие для основной обработки почвы / И.Б. Борисенко, В.И. Пындак, В.Ф. Лобойко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 1. – С. 9–10.
3. Борисенко И.Б. Ресурсосберегающий «анти-нулевой» чизельный орган «РАНЧО» – универсальный помощник аграриям / И.Б. Борисенко // Научно-агрономический журнал. – 2010. – № 2 (87). – С. 48–50.
4. Василенко В.В. Затраты мощности на расширение борозды при вспашке / В.В. Василенко, С.В. Василенко, А.Н. Хахулин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сб. науч. тр. по материалам международной заочной науч.-практ. конф. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет, 2014. – Т. 2, № 3–4 (8–4). – С. 402–406.
5. Василенко В.В. Технологические особенности плугов серии «Богатырь» / В.В. Василенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 5. – С. 7.
6. Влияние вибрации на угол трения почвы по рабочему органу / В.В. Василенко, Д.Н. Афоничев, С.В. Василенко, Д.В. Стуров // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 3 (11). – С. 123–126.
7. Вспашка почвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://k-a-t.ru/sxt/2-pochva2vspashka/index.shtml> (дата обращения: 20.09.2020).
8. Горячкин В.П. Собрание сочинений : в 3 т. / В.П. Горячкин. – 2-е изд. – Москва, 1968. – Т. 2. – 455 с.
9. Действие сил на рабочие органы поворотного плуга с переменной шириной захвата и его тяговое сопротивление / А.Н. Зазуля, А.В. Балашов, В.П. Белогорский и др. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1. – С. 56–62.
10. Исследование показателей работы поворотного плуга для гладкой вспашки почвы / А.Н. Зазуля, Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов, В.П. Белогорский // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 1. – С. 23–24.
11. Лобачевский Я.П. Современное состояние и тенденции развития почвообрабатывающих машин / Я.П. Лобачевский, Л.М. Колчина. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 116 с.
12. Мяло В.В. Энергосберегающие технологии при обработке почвы / В.В. Мяло, В.В. Мазуров // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3 (23). – С. 242–244.
13. Обработка почвы в Центрально-Черноземном регионе : учеб. пособие / С.И. Коржов, Т.А. Трофимова, В.А. Маслов и др. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет, 2010. – 200 с.
14. Общие сведения о вибрации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mydocx.ru/11-59104.html> (дата обращения: 20.09.2020).
15. Пат. 385543 СССР, МПК A01B 11/00, A01B 11/00, A01B 15/00 (2000.01). Корпус плуга / А.Г. Дегтярёв ; заявитель и патентообладатель Московский институт инженеров сельскохозяйственного производства им. В.П. Горячкина. – № 1441317/30-15 ; заявл. 25.05.1970 ; опубл. 14.06.1973, Бюл. № 26. – 3 с.
16. Пат. 2276491 Российская Федерация, МПК A01B 35/06, A01B 35/24, A01B 61/04 (2006.01). Культиватор / А.Б. Кудзаев, В.А. Хадаев, А.Э. Цгоев ; заявитель и патентообладатель Горский государственный аграрный университет. – № 2003120295/12 ; заявл. 02.07.2003 ; опубл. 20.05.2006, Бюл. № 14. – 3 с.
17. Пат. 2280343 Российская Федерация, МПК A01B 35/06, A01B 35/24, A01B 61/04 (2006.01). Секция культиватора / А.Б. Кудзаев, В.А. Хадаев, А.Э. Цгоев ; заявитель и патентообладатель Горский государственный аграрный университет. – № 2005104526/12 ; заявл. 18.02.2005 ; опубл. 27.07.2006, Бюл. № 21. – 4 с.

18. Пат. 2435342 Российская Федерация, МПК А01В 15/00 (2006.01). Корпус плуга / Н.Ф. Скурятин, Д.С. Баглай, В.В. Капустин ; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Белгородская государственная сельскохозяйственная академия». – № 2010123607/13 ; заявл. 09.06.2010 ; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34. – 4 с.
19. Пат. 2478270 Российская Федерация, МПК А01В 11/00, А01В 3/36 (2006.01). Навесной вибрирующий плуг / В.В. Василенко, С.В. Василенко, А.А. Мухин ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ. – № 2011141674/13 ; заявл. 13.10.2011 ; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10. – 6 с.
20. Пат. 2490844 Российская Федерация, МПК А01В 15/00 А01В 3/28 (2006.01). Плужный корпус / Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов, В.П. Белогорский, С.В. Марнов ; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. – № 2012125297/13 ; заявл. 18.06.2012 ; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24. – 7 с.
21. Пат. 2506732 Российская Федерация, МПК А01В 3/30 (2006.01). Плуг поворотный с переменной шириной захвата / Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов, В.П. Белогорский, С.В. Марнов ; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. – № 2012138513/13 ; заявл. 07.09.2012 ; опубл. 20.02.2014, Бюл. № 5. – 8 с.
22. Повышение эффективности вспашки поворотным плугом / А.Н. Зазуля, Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов, С.В. Марнов // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 1. – С. 4–6.
23. Федоренко И.Я. Теория взаимодействия вибрационных рабочих органов с почвой / И.Я. Федоренко // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 3. – С. 15–19.
24. Эффективность использования поворотных плугов для гладкой вспашки почвы / А.Н. Зазуля, А.В. Балашов, В.П. Белогорский и др. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1. – С. 48–52.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Владимир Васильевич Василенко – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru.

Сергей Владимирович Василенко – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: tuli-fruli@mail.ru.

Наталья Митрофановна Дерканосова – доктор технических наук, профессор, врио проректора по учебной работе, зав. кафедрой товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kommerce05@list.ru.

Татьяна Николаевна Тертычная – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: tertychnaya777@yandex.ru.

Ким Рубенович Казаров – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 12.11.2020

Дата принятия к печати 22.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Vladimir V. Vasilenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru

Sergey V. Vasilenko, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: tuli-fruli@mail.ru.

Natalia M. Derkanosova, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Acting Vice Rector for Academic Affairs, Head of the Dept. of Merchandizing and Expert Examination of Goods, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: kommerce05@list.ru.

Tatiana N. Tertychnaya, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Storage and Processing of Agricultural Products Technologies, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: tertychnaya777@yandex.ru.

Kim R. Kazarov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Received November 12, 2020

Accepted after revision December 22, 2020

РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОЗОННОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Иван Васильевич Баскаков
Владимир Иванович Оробинский
Владимир Васильевич Василенко
Алексей Михайлович Гиевский
Алексей Викторович Чернышов

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Современные технологии возделывания зерновых культур основаны на применении большого количества химических препаратов, которые загрязняют почву, воду, воздух. Внедрение процесса озонирования позволит либо полностью отказаться от предпосевной обработки семян с использованием пестицидов, либо сократить их использование. Эффективность озонозооной смеси при дезинфекции не уступает, а по многим показателям даже превосходит химическое протравливание. Однако при предпосевной озонной обработке семян сложно поддерживать заданные режимы работы озонатора, поэтому в реальных условиях чаще прибегают к варьированию времени операции в зависимости от возможностей конкретной озонаторной установки. Учитывая вышеизложенное, были определены наиболее рациональные режимы предпосевной озонной обработки семян в зависимости от культуры и средней концентрации озона в озонозооной смеси. В экспериментальных исследованиях расход агента составлял 0,6 м³/ч. При этом концентрация озона в озонозооной смеси варьировала в диапазоне 0,76–5,06 мг/м³. Образцы отбирали каждые 30 мин. на протяжении 2 часов. Установлено, что при предпосевной озонной обработке семян озимой пшеницы, ярового ячменя, овса и кукурузы с концентрацией озона в озонозооной смеси 4,21, 2,57, 1,45 и 1,87 мг/м³ время озонирования должно находиться в диапазоне соответственно 23–41, 32–52, 40–60 и 17–45 мин. Если озонатор не способен поддерживать заданный режим, то следует ориентироваться на дозу озонной обработки, которая для озимой пшеницы варьирует от 96 до 234 мин·мг/м³, для ярового ячменя – от 84 до 116 мин·мг/м³, для овса – от 45 до 86 мин·мг/м³, для кукурузы – от 32 до 75 мин·мг/м³. При этом необходимо будет рассчитать время озонирования в зависимости от фактической концентрации озона в озонозооной смеси. Средняя продолжительность предпосевной озонной обработки семян зерновых культур составляет 38 мин.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: семена, озонирование, озонная предпосевная обработка, зерновые культуры, режимы озонной обработки, лабораторная всхожесть семян.

RATIONAL OPERATION MODES FOR OZONE PRESOWING TREATMENT OF GRAIN CROP SEEDS

Ivan V. Baskakov
Vladimir I. Orobinsky
Vladimir V. Vasilenko
Aleksey M. Gievsky
Aleksey V. Chernyshov

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Modern technologies of cultivation of grain crops are based on the use of a large number of chemicals that pollute the soil, water, and air. The introduction of the ozonation process will allow either to completely abandon the presowing treatment of seeds using pesticides, or to reduce their use. The effectiveness of the ozone-air mixture in disinfection is not inferior, and in many respects even exceeds chemical presowing seed disinfection. However, during presowing ozone treatment of seeds, it is difficult to maintain the specified operating modes of the ozonator, so in real conditions it is recommended to vary the operation time depending on the capabilities of a particular ozonator device. Taking the above mentioned into consideration, the most rational modes of presowing ozone seed treatment were determined depending on the culture and the average concentration of ozone in the ozone-air mixture. In experimental studies, the flow rate of the agent was 0.6 m³ per hour. At the same time, the concentration of ozone in the ozone-air mixture varied in the range of 0.76–5.06 mg/m³. Samples were taken every 30 minutes for 2 hours. It is established that during presowing ozone treatment of seeds of winter wheat, spring barley, oat and corn with an ozone concentration in the ozone-air mixture of 4.21, 2.57, 1.45 and 1.87 mg/m³,

the ozonation time should be in the range of 23–41, 32–52, 40–60 and 17–45 minutes, respectively. If the ozonator is not suitable to maintain the specified mode, then the dose of ozone treatment should be chosen in following ranges: for winter wheat, spring barley, oat and corn the doses should vary from 96 to 234 min·mg/m³, from 84 to 116 min·mg/m³, from 45 to 86 min·mg/m³, from 32 to 75 min·mg/m³, respectively. In this case, it will be necessary to calculate the ozonation time depending on the actual concentration of ozone in the ozone-air mixture. The average duration of presowing ozone treatment of seeds of grain crops is 38 minutes.

KEYWORDS: seeds, ozonation, ozone presowing treatment, grain crops, ozone treatment modes, laboratory seed germination.

В последние несколько десятилетий в России наметилась устойчивая тенденция увеличения урожайности сельскохозяйственных культур. Повышению валового сбора зерна способствовало внедрение зарубежных технологий, которые в большинстве своём основаны на применении большого количества минеральных удобрений и ядохимикатов. Наряду с этим использование гербицидов, инсектицидов, фунгицидов и других химических препаратов, необходимых для возделывания сельскохозяйственных культур, приводит к загрязнению почвы опасными для природы веществами, так как химические средства защиты накапливаются в растениях, попадают в водоёмы, лесополосы, воздух и т. д. В результате значительно ухудшается экологическая ситуация не только на полях, но и вокруг них. Следовательно, повышение урожайности сельскохозяйственных культур посредством использования химических препаратов одновременно приводит к отравлению флоры и фауны. Поэтому необходимо внедрять экологически безопасные приёмы ведения сельского хозяйства, которые по эффективности не уступали бы пестицидам, но при этом не оказывали вредного воздействия на природу.

На данный момент альтернативной замены минеральным удобрениям и химическим средствам защиты нет. Однако уменьшить поступление химических препаратов в почву можно за счёт сокращения количества применяемых пестицидов, особенно при предпосевной обработке семян. В настоящее время наибольшее распространение получило поверхностное протравливание посевного материала. Данный способ имеет много недостатков, к которым можно отнести следующие:

- при перемещении протравленного посевного материала часть химического препарата осыпается с семян;
- для перемещения посевного материала на протравливание требуются дополнительные транспортные операции, что приводит к удорожанию семян и их повреждению;
- в качестве транспортирующих рабочих органов протравливателей наиболее часто используются шнеки и скребковые транспортёры, которые сильно травмируют зерновку;
- используемые препараты могут вызывать химические ожоги на семенах, особенно в микроповреждениях;
- зачастую химическое протравливание снижает посевные качества семян;
- применяемые препараты относятся к опасным, вредным классам веществ, которые загрязняют почву, воду, воздух, что ухудшает экологическую ситуацию;
- стоимость препаратов, используемых для протравливания, будучи достаточно высокой, постоянно возрастает в связи с инфляцией.

Одним из наиболее перспективных и экологически безопасных методов предпосевной обработки семян является процесс озонирования [1, 4, 9, 13, 18, 23]. По эффективности озонная дезинфекция не уступает химическому протравливанию, а иногда даже её превосходит [5, 7, 12, 20, 22]. При этом отмечается повышение урожайности различных сельскохозяйственных культур [6, 10, 16, 19]. Озон обладает рядом специфических свойств, которые позволяют использовать его в различных сельскохозяйственных операциях [3, 11, 15, 17, 21, 23, 24]. Это расширяет вариативность применения озонатора

в хозяйстве, что способствует снижению себестоимости озонной обработки. Кроме того, озонирование можно провести непосредственно в зернохранилище [2, 14], что позволит исключить ряд транспортных операций из технологии подготовки посевного материала.

Многим учёным удалось установить, что высокие концентрации озона в озонозовоздушной смеси угнетающе воздействуют на посевной материал, в то время как низкоконтцентрированная предпосевная озонная обработка стимулирует ростовые процессы в семенах, повышая такие показатели, как энергия прорастания и всхожесть. Однако режимы работы озонатора несколько разнятся. Поскольку при предпосевной обработке озонаторная установка чаще всего не позволяет варьировать концентрацию озона, то исследования, направленные на уточнение времени операции, являются актуальными, так как разнообразие вариантов очень велико и в каждом конкретном случае требуется уточнение параметров. В связи с этим были определены наиболее рациональные режимы предпосевной озонной обработки семян в зависимости от культуры и средней концентрации озона в озонозовоздушной смеси.

При предпосевной обработке семян зерновых культур концентрация озона в озонозовоздушной смеси варьировала в диапазоне 0,76–5,06 мг/м³. При этом расход агента составлял 0,6 м³/ч. При проведении исследований в стеклянную ёмкость, имеющую подводящий и отводящий озонозовоздушную смесь каналы, помещали четыре партии посевного материала. Пятый образец находился вне сосуда и поэтому не подвергался озонированию, т. е. он служил контролем. В соответствии с ГОСТ 12038-84 каждая партия посевного материала состояла из 400 зёрен, кроме кукурузы, где для определения лабораторной всхожести достаточно 200 семян [8]. Вентиляцию сосуда озонозовоздушной смесью проводили в течение 2 часов. По истечении каждых 30 минут эксперимента ёмкость открывали на незначительный период времени (около 30 с) и извлекали из неё одну партию семян. Оставшийся посевной материал подвергался дальнейшему воздействию озонозовоздушной смеси. После часа исследований доставали вторую партию семян, через 1,5 часа – третью, после 2 часов – четвёртую. Концентрацию озона определяли через каждые 5 минут в выходном канале посредством использования газоанализатора «Сигма-03» с соответствующим электрохимическим датчиком «Сигма-03.ДЭ». Этим же приборным обеспечением по второму каналу контролировали уровень ПДК газа в рабочей зоне оператора.

При предпосевной обработке семян озимой пшеницы концентрация озона в озонозовоздушной смеси варьировала от 1,62 до 5,06 мг/м³ (табл. 1). За первые полчаса данный показатель в среднем составил 4,28 мг/м³, за час – 4,15 мг/м³, за полтора часа – 4,4 мг/м³, за два часа – 4,21 мг/м³.

Таблица 1. Изменение концентрации озона в озонозовоздушной смеси при предпосевном озонировании семян озимой пшеницы

Время опыта, мин	Концентрация озона в озонозовоздушной смеси по периодам опыта, мг/м ³						В среднем за опыт
	5	10	15	20	25	30	
0–30	3,70	4,12	4,60	4,56	4,16	4,56	4,28
31–60	4,26	4,34	4,16	4,84	4,92	4,62	4,15
61–90	4,70	4,92	5,00	4,85	5,06	4,90	4,4
91–120	4,02	3,94	3,42	3,34	3,54	3,46	4,21

Предпосевное озонирование семян озимой пшеницы способствовало изменению их лабораторной всхожести (табл. 2, рис. 1). При этом доза озонной обработки определена как произведение времени обработки на среднюю концентрацию газа внутри заданного периода опыта.

Таблица 2. Лабораторная всхожесть семян озимой пшеницы при предпосевной озонной обработке

Время обработки, мин	Средняя концентрация озона, мг/м³	Доза озонной обработки, мин · мг/м³	Лабораторная всхожесть семян, %
0	0	0	72,8
30	4,28	128,4	77,0
60	4,15	249,0	76,8
90	4,40	396,0	69,3
120	4,21	505,2	68,0

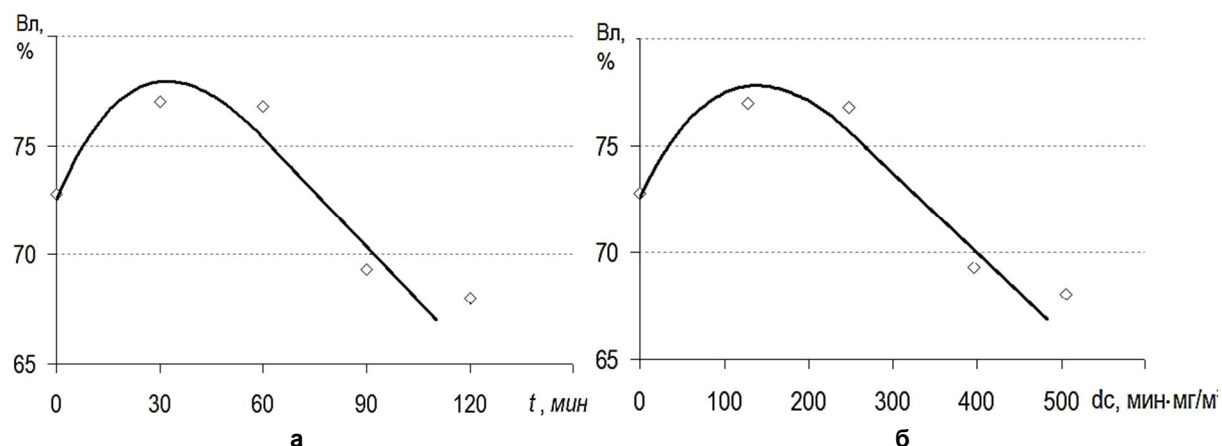


Рис. 1. Зависимость лабораторной всхожести семян (Вл) озимой пшеницы при предпосевном озонировании при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 4,21 мг/м³: а – от времени (t) обработки; б – от дозы озонной обработки (dс)

Статистическая обработка результатов исследований при предпосевном озонировании семян озимой пшеницы при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 4,21 мг/м³ показала, что лабораторная всхожесть подчиняется полиномиальной зависимости третьей степени от времени и дозы озонной обработки:

$$B_{л.оз.пш.} = 0,00003 \cdot t^3 - 0,0073 \cdot t^2 + 0,3698 \cdot t + 72,566, \quad R^2 = 0,9443, \quad (1)$$

$$B_{л.оз.пш.} = 0,0000001 \cdot d_c^3 - 0,0002 \cdot d_c^2 + 0,0573 \cdot d_c + 72,771, \quad R^2 = 0,9776, \quad (2)$$

где $B_{л.культуры}$ – лабораторная всхожесть семян заданной культуры, %;

t – время озонной обработки, мин;

d_c – доза озонной обработки, мин · мг/м³;

R^2 – величина достоверности аппроксимации.

Анализ данных, представленных в таблице 2 и на рисунке 1 (зависимости 1, 2), показывает, что оптимальное время при предпосевной озонной обработке семян озимой пшеницы при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 4,21 мг/м³ составляет 31 мин. При этом в диапазоне от 23 до 41 мин расчётная лабораторная всхожесть семян при озонировании укладывается в погрешность $\pm 1\%$. Оптимальная доза озонной обработки составляет 163 мин · мг/м³. Изменение данного параметра в диапазоне от 96 до 234 мин · мг/м³ даёт одно и то же расчётное значение лабораторной всхожести семян при округлении до целого числа. Следовательно, при озонной обработке семян озимой пшеницы с концентрацией озона в озоновоздушной смеси 4,21 мг/м³ время озонирования должно составлять 23–41 мин. Если озонатор не способен поддерживать заданный

режим, то следует ориентироваться на дозу озонной обработки в диапазоне от 96 до 234 мин · мг/м³. При этом необходимо будет рассчитать время озонирования в зависимости от фактической концентрации озона в озонозооной смеси по следующей формуле:

$$t = \frac{d_c}{c_{\text{факт}}}, \quad (3)$$

где $c_{\text{факт}}$ – средняя фактическая концентрация озона в озонозооной смеси, которую может поддерживать конкретная озонаторная установка, мг/м³.

При предпосевном озонировании семян ярового ячменя концентрация озона в озонозооной смеси изменялась от 0,76 до 3,34 мг/м³ (табл. 3). За первые полчаса данный показатель в среднем составил 2,79 мг/м³, за час – 2,84 мг/м³, за полтора часа – 2,6 мг/м³, за два часа – 2,57 мг/м³.

Таблица 3. Изменение концентрации озона в озонозооной смеси при предпосевном озонировании семян ярового ячменя

Время опыта, мин	Концентрация озона в озонозооной смеси по периодам опыта, мг/м ³						В среднем за опыт
	5	10	15	20	25	30	
0–30	2,20	2,54	2,74	2,84	2,94	3,34	2,78
31–60	3,20	3,04	2,92	2,76	2,60	-	2,84
61–90	0,76	2,24	1,90	2,42	2,46	2,50	2,6
91–120	2,22	2,62	2,32	2,74	2,46	2,68	2,57

Результаты предпосевной озонной обработки семян ярового ячменя представлены в таблице 4 и на рисунке 2.

Таблица 4. Лабораторная всхожесть семян ярового ячменя при предпосевной озонной обработке

Время обработки, мин	Средняя концентрация озона, мг/м ³	Доза озонной обработки, мин · мг/м ³	Лабораторная всхожесть семян, %
0	0	0	80,25
30	2,79	83,7	94,75
60	2,84	170,4	98,00
90	2,60	234,0	84,75
120	2,57	308,4	77,50

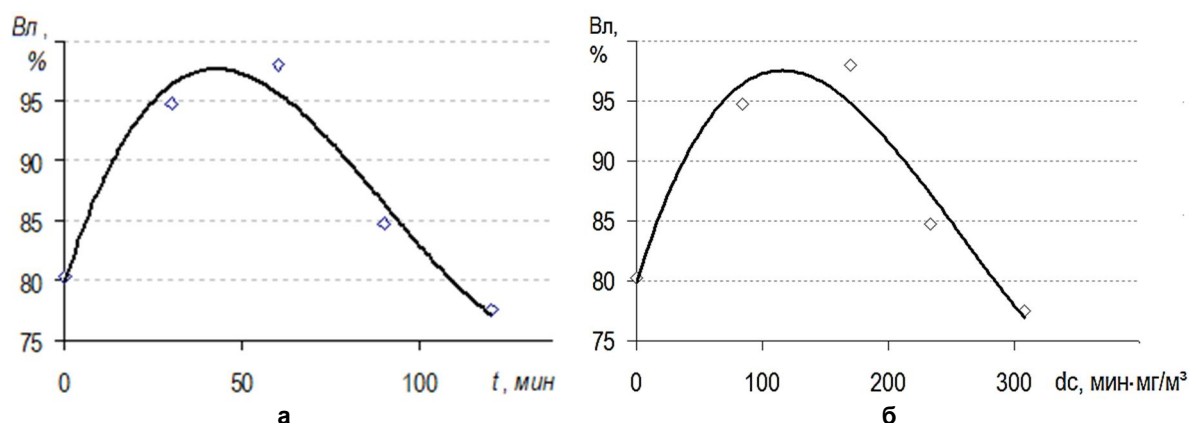


Рис. 2. Зависимость лабораторной всхожести семян (Вл) ярового ячменя при предпосевном озонировании при средней концентрации озона в озонозооной смеси 2,57 мг/м³: а – от времени (t) обработки; б – от дозы озонной обработки (dc)

Статистическая обработка результатов исследований при предпосевном озонировании семян ярового ячменя при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 2,57 мг/м³ показала, что лабораторная всхожесть подчиняется полиномиальной зависимости третьей степени от времени и дозы озонной обработки:

$$B_{\text{л}}^{\text{яp.яч}} = 0,00005 \cdot t^3 - 0,0143 \cdot t^2 + 0,9318 \cdot t + 79,854, \quad R^2 = 0,9658, \quad (4)$$

$$B_{\text{л}}^{\text{яp.яч}} = 0,000003 \cdot d_c^3 - 0,0022 \cdot d_c^2 + 0,3485 \cdot d_c + 80,003, \quad R^2 = 0,803. \quad (5)$$

Анализ данных, приведённых в таблице 4 и на рисунке 2 (зависимости 4, 5), показывает, что оптимальное время при предпосевной озонной обработке семян ярового ячменя при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 2,57 мг/м³ составляет 42 мин. При этом в диапазоне от 32 до 52 мин расчётная лабораторная всхожесть семян при озонировании укладывается в погрешность $\pm 1\%$. Оптимальная доза озонной обработки составляет 99 мин · мг/м³. При этом изменение данного параметра в диапазоне от 84 до 116 мин · мг/м³ даёт одно и то же расчётное значение лабораторной всхожести семян при округлении до целого числа. Следовательно, при озонной обработке семян ярового ячменя с концентрацией озона в озоновоздушной смеси 2,57 мг/м³ время озонирования должно составлять 32–52 мин. Если озонатор не способен поддерживать заданный режим, то следует ориентироваться на дозу озонной обработки в диапазоне от 84 до 116 мин · мг/м³. При этом необходимо будет рассчитать время озонирования в зависимости от фактической концентрации озона в озоновоздушной смеси по зависимости 3.

При предпосевном озонировании семян овса концентрация озона в озоновоздушной смеси варьировала от 1,16 до 1,7 мг/м³ (табл. 5). За первые два получасовых периода данный показатель в среднем составил 1,56 мг/м³, а за следующие два – 1,45 мг/м³.

Таблица 5. Изменение концентрации озона в озоновоздушной смеси при предпосевном озонировании семян овса

Время опыта, мин	Концентрация озона в озоновоздушной смеси по периодам опыта, мг/м ³						В среднем за опыт
	5	10	15	20	25	30	
0–30	1,70	1,52	1,56	1,56	1,44	1,6	1,56
31–60	1,46	1,54	1,54	1,62	1,62	1,6	1,56
61–90	1,36	1,24	1,20	1,16	1,24	1,2	1,45
91–120	1,26	1,44	1,62	1,30	1,44	1,5	1,45

Результаты предпосевной озонной обработки семян овса представлены в таблице 6 и на рисунке 3.

Таблица 6. Лабораторная всхожесть семян овса при предпосевном озонировании

Время обработки, мин	Средняя концентрация озона, мг/м ³	Доза озонной обработки, мин · мг/м ³	Лабораторная всхожесть семян, %
0	0	0	72,5
30	1,56	46,8	78,8
60	1,56	93,6	82,0
90	1,45	130,5	75,3
120	1,45	174	67,3

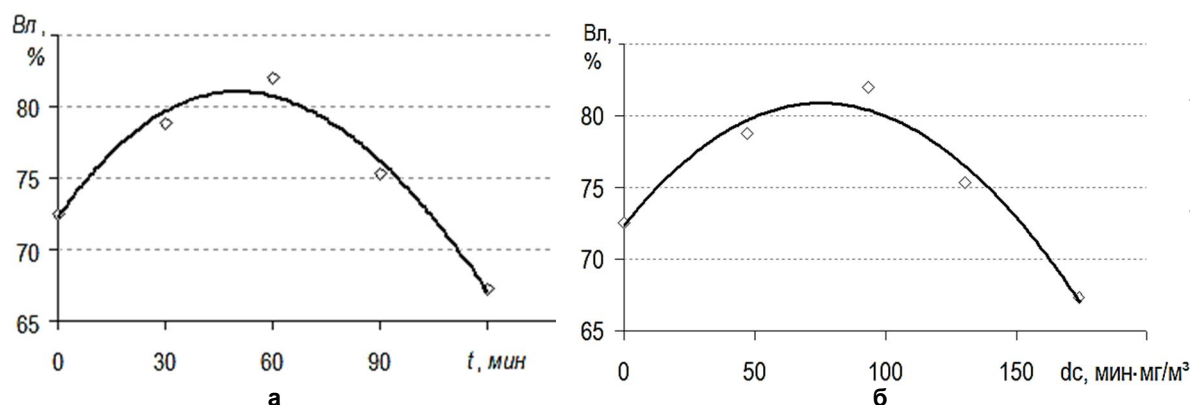


Рис. 3. Зависимость лабораторной всхожести семян (Вл) овса при предпосевном озонировании при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 1,45 мг/м³: а – от времени (t) обработки; б – от дозы озонной обработки (dc)

Статистическая обработка результатов исследований при предпосевном озонировании семян овса при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 1,45 мг/м³ показала, что лабораторная всхожесть подчиняется полиномиальной зависимости третьей степени от времени и дозы озонной обработки:

$$B_{л}^{овес} = 0,000006 \cdot t^3 - 0,0041 \cdot t^2 + 0,3633 \cdot t + 72,28, \quad R^2 = 0,9737, \quad (6)$$

$$B_{л}^{овес} = 0,000004 \cdot d_c^3 - 0,0024 \cdot d_c^2 + 0,2605 \cdot d_c + 72,304, \quad R^2 = 0,8947. \quad (7)$$

Анализ данных таблицы 6 и рисунка 3 (зависимости 6, 7) показывает, что оптимальное время при предпосевной озонной обработке семян овса при средней концентрации озона в озоновоздушной смеси 1,45 мг/м³ составляет 50 мин. При этом в диапазоне от 40 до 60 мин расчётная лабораторная всхожесть семян при озонировании укладывается в погрешность $\pm 1\%$. Оптимальная доза озонной обработки составляет 65 мин · мг/м³. При этом изменение данного параметра в диапазоне от 45 до 86 мин · мг/м³ даёт одно и то же расчётное значение лабораторной всхожести семян при округлении до целого числа. Следовательно, при озонной обработке семян овса с концентрацией озона в озоновоздушной смеси 1,45 мг/м³ время озонирования должно составлять 40–60 мин. Если озонатор не способен поддерживать заданный режим, то следует ориентироваться на дозу озонной обработки в диапазоне от 45 до 86 мин · мг/м³. При этом необходимо будет рассчитать время озонирования в зависимости от фактической концентрации озона в озоновоздушной смеси по зависимости 3.

При предпосевной обработке семян кукурузы концентрация озона в озоновоздушной смеси варьировала от 1,62 до 2,1 мг/м³ (табл. 7). За первые полчаса данный показатель в среднем составил 1,88 мг/м³, за час и полтора часа – 1,85 мг/м³, за два часа – 1,87 мг/м³.

Таблица 7. Изменение концентрации озона в озоновоздушной смеси при предпосевном озонировании семян кукурузы

Время опыта, мин	Концентрация озона в озоновоздушной смеси по периодам опыта, мг/м³						В среднем за опыт
	5	10	15	20	25	30	
0–30	1,84	1,90	1,92	2,00	1,80	1,82	1,88
31–60	1,70	2,00	1,86	1,82	1,82	1,70	1,85
61–90	1,62	1,84	1,80	1,92	1,90	2,00	1,85
91–120	2,00	1,82	2,10	2,04	1,94	1,80	1,87

Результаты предпосевной озонной обработки семян кукурузы представлены в таблице 8 и на рисунке 4.

Таблица 8. Лабораторная всхожесть семян кукурузы при предпосевной озонной обработке

Время обработки, мин	Средняя концентрация озона, мг/м ³	Доза озонной обработки, мин · мг/м ³	Лабораторная всхожесть семян, %
0	0	0	97,5
30	1,88	56,4	99,0
60	1,85	111,0	97,5
90	1,85	166,5	96,8
120	1,87	224,4	95,8

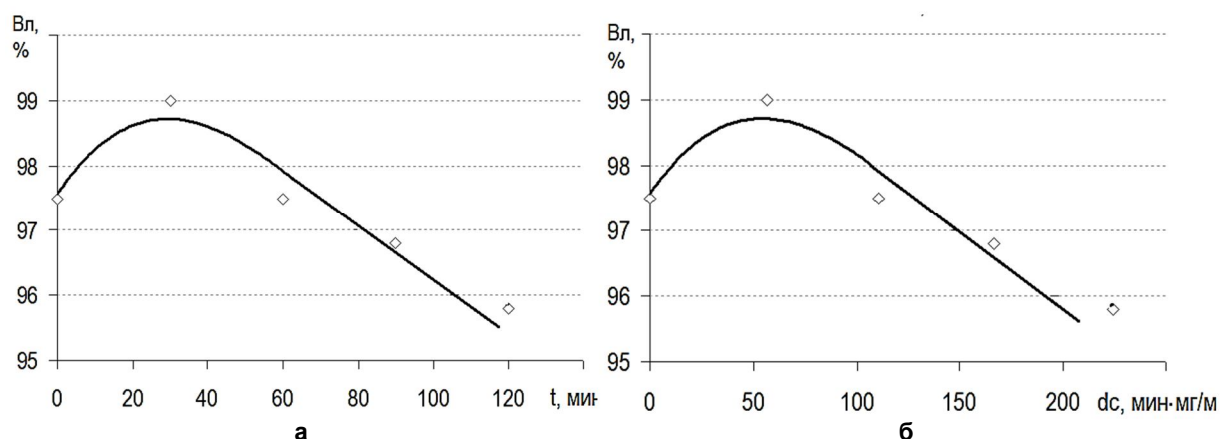


Рис. 4. Зависимость лабораторной всхожести семян (Вл) кукурузы при предпосевном озонировании при средней концентрации озона в озонозовоздушной смеси 1,87 мг/м³: а – от времени (t) обработки; б – от дозы озонной обработки (dc)

Статистическая обработка результатов исследований при предпосевном озонировании семян кукурузы при средней концентрации озона в озонозовоздушной смеси 1,87 мг/м³ показала, что лабораторная всхожесть подчиняется полиномиальной зависимости третьей степени от времени и дозы озонной обработки

$$B_{л}^{к\text{у\text{ж}}..} = 0,000008 \cdot t^3 - 0,0018 \cdot t^2 + 0,0858 \cdot t + 97,57, \quad R^2 = 0,9373, \quad (8)$$

$$B_{л}^{к\text{у\text{ж}}} = 0,000001 \cdot d_c^3 - 0,0005 \cdot d_c^2 + 0,0442 \cdot d_c + 97,578, \quad R^2 = 0,929. \quad (9)$$

Анализ данных таблицы 8 и рисунка 4 (зависимости 8, 9) показывает, что оптимальное время при предпосевном озонировании семян кукурузы при средней концентрации озона в озонозовоздушной смеси 1,87 мг/м³ составляет 30 мин. При этом в диапазоне от 17 до 45 мин расчётная лабораторная всхожесть семян при заданных условиях укладывается в погрешность $\pm 1\%$. Оптимальная доза озонной обработки составляет 52 мин · мг/м³. При этом изменение данного параметра в диапазоне от 32 до 75 мин · мг/м³ даёт одно и тоже расчётное значение лабораторной всхожести семян при округлении до целого числа. Следовательно, при озонной обработке семян кукурузы с концентрацией озона в озонозовоздушной смеси 1,87 мг/м³ время озонирования должно составлять 17–45 мин. Если озонатор не способен поддерживать заданный режим, то следует ориентироваться на дозу озонной обработки в диапазоне от 32 до 75 мин · мг/м³. При этом необходимо будет рассчитать время озонирования в зависимости от фактической концентрации озона в озонозовоздушной смеси по зависимости 3.

Выводы

Таким образом, при предпосевном озонировании семян озимой пшеницы, ярового ячменя, овса и кукурузы со средней концентрацией озона в озонозвоздушной смеси 4,2, 2,6, 1,45 и 1,88 мг/м³ время операции должно находиться в диапазоне соответственно 23–41, 32–52, 40–60 и 17–45 мин. Если озонатор не способен поддерживать заданный режим, то следует ориентироваться на дозу озонной обработки, которая для озимой пшеницы варьирует от 110 до 200 мин·мг/м³, для ярового ячменя – от 84 до 114 мин·мг/м³, для овса – от 40 до 60 мин·мг/м³, для кукурузы – от 32 до 74 мин·мг/м³. При этом необходимо будет рассчитать время озонирования в зависимости от фактической концентрации озона в озонозвоздушной смеси.

Средняя оптимальная продолжительность предпосевной озонной обработки семян зерновых культур составляет 38 мин. Оно укладывается в рациональный период времени озонирования любой из исследуемых культур при концентрации озона в озонозвоздушной смеси до 5 мг/м³.

Средняя оптимальная доза озонной обработки семян зерновых культур составила 95 мин·мг/м³.

Библиографический список

1. Авдеева В.Н. Предпосевная обработка семян озимой пшеницы озоном / В.Н. Авдеева, Г.П. Стародубцева, С.И. Любая // Главный агроном. – 2009. – № 5. – С. 22–24.
2. Баскаков И.В. Совершенствование технологии послуборочной обработки и хранения зернового материала : дис. ... д-ра с.-х. наук : 05.20.01 / И.В. Баскаков. – Воронеж, 2019. – 339 с.
3. Богданов А.В. Обоснование установки озонирования семян для определения рациональных режимов их обработки и повышения безопасности обслуживающего персонала / А.В. Богданов, В.В. Евченко, С.Ю. Попова // АПК России. – 2019. – Т. 26, № 4. – С. 500–504.
4. Васильчук Н.С. Влияние предпосевной обработки семян системными протравителями и озоном на начальные ростовые процессы и продуктивность озимой пшеницы / Н.С. Васильчук, В.А. Эпштейн // Агро XXI. – 2007. – № 4–6. – С. 49–50.
5. Вербицкая С.В. Предпосевная обработка семян фасоли озоном и магнитным полем : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / С.В. Вербицкая. – Волгоград, 2001. – 167 с.
6. Влияние предпосевного озонирования семян на урожайность сельскохозяйственных культур / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов, А.П. Тарасенко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 4 (63). – С. 13–20.
7. Горский И.В. Обработка семян пшеницы озонированным воздухом : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / И.В. Горский. – Москва, 2004. – 202 с.
8. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. ОКСТУ 9709. – Введ. 1986–07–01. – Москва : Стандартинформ, 2011. – С. 36–64.
9. Долговых О.Г. Экологически безопасная предпосевная обработка семян пшеницы / О.Г. Долговых, В.Н. Огнев // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4–1 (31). – С. 7.
10. Дубцова А.А. Влияние озонирования семян на рост и развитие растений льна обыкновенного (*Linum usitatissimum* L.) / А.А. Дубцова, А.В. Чурмасов // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2015. – № 2 (162). – С. 93–98.
11. Нормов Д.А. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / Д.А. Нормов. – Краснодар, 2009. – 307 с.
12. Огнев В.Н. Применение экологически безопасных способов предпосевной обработки семян для защиты ярового ячменя против корневых гнилей / В.Н. Огнев, Л.В. Корепанова // Научный потенциал – аграрному производству : матер. Всероссийской науч.-практ. конф. (Россия, г. Ижевск, 26–29 февраля 2008 г.). – Ижевск : ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2008. – Т. 1. – С. 172–176.
13. Оськин С.В. Предпосевная обработка семян озоном / С.В. Оськин, Д.А. Нормов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. – № 11. – С. 7.
14. Пат. 2659904 Российская Федерация, МПК А01С 1/00, А01F 25/14 (2006.01). Хранилище семян / Р.Л. Чишко, А.П. Тарасенко, И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов ; патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2017111422 ; заявл. 04.04.2017 ; опубл. 05.07.2018, Бюл. № 19. – 7 с.
15. Пат. 2709712 Российская Федерация, МПК А01F 25/08 (2006.01). Способ сушки зернового материала / И.В. Баскаков, В.И. Оробинский, А.М. Гиевский, В.А. Гулевский, А.В. Чернышов, О.В. Чернова ; патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2019118552 ; заявл. 14.06.2019 ; опубл. 19.12.2019, Бюл. № 35. – 10 с.
16. Сигачёва М.А. Влияние предпосевного озонирования семян на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в Кузнецкой лесостепи : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / М.А. Сигачёва. – Красноярск, 2015. – 152 с.

17. Таран Г.В. Результаты испытаний озонной технологии предпосевной обработки семян / Г.В. Таран, В.И. Голота, В.Г. Диндородо и др. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kge.msu.ru/ozone/archives/1rus_conf_pr/Presentations/Taran.pdf (дата обращения: 25.03.2020).
18. Тышкевич Е.В. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы озонозоонозным агентом / Е.В. Тышкевич, С.А. Шабин, Н.Л. Виноградова // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. – 2015. – № 4 (44). – С. 210–214.
19. Чулков Б.А. Урожайность картофеля, лежкость при хранении и качество картофелепродуктов в зависимости от режимов обработки клубней озонозоонозной смесью : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.09 / Б.А. Чулков. – Москва, 2008. – 147 с.
20. Шестерин И.В. Влияние озона и протравителей на посевные качества и оздоровление яровой пшеницы : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.05; 06.01.11 / И.В. Шестерин. – Саратов, 2004. – 148 с.
21. Шхалахов Р.С. Параметры электроозонатора барьерного типа заданной стабильности для предпосевной обработки семян сахарной свеклы : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.02 / Р.С. Шхалахов. – Краснодар, 2006. – 153 с.
22. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado / A.F. Rozado, L.R.A. Faroni, W.M.I. Urruchi, R.N.C. Guedes, J.L. Paes // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. – 2008. – Vol. 12. – Pp. 282–285. DOI: 10.1590/s1415-43662008000300009.
23. Influence of ozone on germination and germinating energy of winter wheat seeds / V. Avdeeva, E. Zorina, J. Bezgina, O. Kolosova // Engineering for Rural Development: Proceedings 17th International Scientific Conference (Latvia, Jelgava, May 23–25, 2018). – Jelgava, 2018. – Pp. 543–546.
24. Medvedeva L.M. Safe treatment technology for seeds of grain crops / L.M. Medvedeva, O.M. Doronina, V.A. Makhmutkin // Socio-economic and environmental problems of agricultural sector of the Russian economy : International Scientific and Practical Conference (Russia, Chelyabinsk, November 21–23, 2018). – Belgrade : Research Development Center-FBEE, 2018. – Pp. 317–323.
25. Studies of the ozonation process when drying grain / I.V. Baskakov, V.I. Orobinsky, V.A. Gulevsky, A.M. Gievsky, A.V. Chernyshov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming (Russia, Voronezh, October 17–18, 2019). – IOP Publishing Ltd, 2020. – Vol. 422. – No. 012009. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012009.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Иван Васильевич Баскаков – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: vasich2@yandex.ru.

Владимир Иванович Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, декан агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Владимир Васильевич Василенко – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru.

Алексей Михайлович Гиевский – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: aleksej.gievskij@mail.ru.

Алексей Викторович Чернышов – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: lexa-c@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 31.10.2020

Дата принятия к печати 15.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Ivan V. Baskakov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: vasich2@yandex.ru.

Vladimir I. Orobinsky, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Dean of the Faculty of Rural Engineering, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: main@agroeng.vsau.ru.

Vladimir V. Vasilenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru.

Aleksey M. Gievsky, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: aleksej.gievskij@mail.ru.

Aleksey V. Chernyshov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: lexa-c@yandex.ru.

Received October 31, 2020

Accepted after revision December 15, 2020

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАСХОДА ТОПЛИВА ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ НА ПЕРЕВОЗКАХ РУЛОНОВ СЕНА

Алексей Иванович Ряднов¹
Иван Владимирович Алмазов²
Алексей Валерьевич Федоров³

¹Волгоградский государственный аграрный университет

²ИП Алмазова П.К., Кумылженский район, Волгоградская область

³Волгоградский государственный технический университет

В хозяйствах Нижнего Поволжья наибольшее распространение получила заготовка сена в рулонах. В настоящее время тракторы и автомобили, используемые в сельскохозяйственном производстве, оборудованы энергонасыщенными двигателями, работающими на бензине, дизельном топливе или биотопливе, цена на которые с каждым годом растёт, поэтому для сельскохозяйственных предприятий актуален вопрос его экономии. В связи с этим целью проведённых исследований являлось определение расхода топлива транспортных средств МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5, ГАЗ-3302 «Газель», ГАЗ-САЗ-3507/35071, КАМАЗ 45144 при транспортировке рулонов сена, сформированных рулонными пресс-подборщиками ПР-Ф-110 и ППР-120, на внутриусадебных (до 3 км), внутрихозяйственных (от 3 до 20 км) и внехозяйственных (более 20 км) перевозках. Расход топлива замерялся после каждого рейса с помощью поршневого расходомера, изготовленного по патенту РФ № 2639732. Полученные экспериментальные данные показывают, что с увеличением расстояния перевозки средний расход топлива всеми исследуемыми энергетическими средствами снижается. В большей степени это связано с качеством дорог и скоростью движения. Перевозка рулонов на малые расстояния от поля к месту хранения по территории хозяйства осуществлялась по полям и грунтовым дорогам. Внутрихозяйственные перевозки осуществлялись не только по грунтовым дорогам, но и по дорогам с твёрдым покрытием. Установлено, что качество дорожного полотна оказывает существенное влияние на расход топлива энергетического средства. Наиболее выгодными на внутриусадебных перевозках являются машинно-тракторный агрегат МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5; на внутрихозяйственных – ГАЗ-3302 «Газель»; на внехозяйственных – КАМАЗ 45144 с прицепом. Для большинства грузовых автомобилей при скоростях движения 50–70 км/ч расход топлива минимальный. Транспортные средства с большей грузоподъёмностью следует использовать на перевозках рулонов сена с большей массой.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортное средство, вид перевозок, расход топлива, расходомер, рулон спрессованного сена.

THE RESULTS OF STUDIES OF FUEL CONSUMPTION OF VEHICLES FOR HAY BALE TRANSPORTATION

Aleksey I. Ryadnov¹
Ivan V. Almazov²
Aleksey V. Fedorov³

¹Volgograd State Agrarian University

²Almazov P.K. IP, Kumylzhensky District, Volgograd Oblast

³Volgograd State Technical University

In the farms of Lower Volga region, the most widespread harvesting of hay is in bales. Currently, tractors and cars used in agricultural production are equipped with energy-saturated engines running on gasoline, diesel fuel or biofuels, the price of which is growing every year, so the issue of fuel saving is relevant for agricultural enterprises. In this regard, the purpose of the research was to determine the fuel consumption of vehicles MTZ-82.1 + 2PTS-4,5, GAZ-3302 «Gazelle», GAZ-SAZ-3507/35071, KAMAZ 45144 when transporting hay bales formed by rotobalers PR-F-110 and PRP-120, on small farm household (up to 3 km), inter-farm (from 3 to 20 km) and exterior farm (more than 20 km) transportation. Fuel consumption was measured after each round using a piston-type flowmeter manufactured according to Russian patent No. 2639732. The experimental data obtained show that with increasing transportation distance, the average fuel consumption of all the studied energy means decreases. To a greater extent, this is due to the quality of roads and the speed of traffic. Transportation of hay bales for short distances from the field to the place of storage on the territory of the farm was carried out on fields and dirt roads. Inter-farm transportation was carried out not only on dirt roads, but also on hard-surfaced roads. It is established that the quality of the road has a significant impact on the fuel consumption of the energy vehicle. The most profitable for small farm household transportation is the machine-tractor unit MTZ-82.1 + 2PTS-4,5; for inter-farm transportation is GAZ-3302

«Gazelle» ; for exterior farm transportation is KAMAZ 45144 with a trailer. For most trucks, at speeds of 50–70 km/h, fuel consumption is minimal. Vehicles with a higher load capacity should be used for transportation of hay bales of higher weight.

KEYWORDS: vehicle, type of transport, fuel consumption, flowmeter, baled hay.

Введение
Первостепенной задачей агропромышленного комплекса Российской Федерации в настоящее время является развитие животноводства. Чтобы решить данную задачу, необходимо увеличивать поголовье и продуктивность крупного рогатого скота, а для этого следует развивать кормовую базу хозяйств, основой которой являются силос и комбикорма. Но при этом в рацион крупного рогатого скота необходимо включать грубый корм – основной источник клетчатки. Наиболее распространенным грубым кормом в хозяйствах Нижнего Поволжья является сено и солома ячменя. Их доля в объеме корма крупного рогатого скота в стойловый период достигает 80%. Особая роль отводится селу в рационе телят и сухостойных высокопродуктивных коров в зимне-весенний период.

При заготовке сена необходимо применять, в первую очередь, прогрессивную технологию, обеспечивающую максимальную эффективность использования машин в данных условиях. Кроме того, выбранная технология должна максимально обеспечивать сохранность питательных веществ, большая доля которых содержится в листьях и соцветиях растений. При этом, как следует из работы [7], в растениях после их сушки в естественных условиях остаётся каротина не более 10%.

Сено заготавливают в рассыпном или прессованном виде. Производство рассыпного сена низко механизировано, поэтому трудозатратно. В последние годы широкое распространение получил способ заготовки сена с прессованием его из валков. Прессованное сено легче транспортировать, его удобнее раздавать животным, оно занимает в 2,5–3 раза меньший объем. Более того, качество прессованного сена выше, чем рассыпного: при рассыпном методе до половины сухого вещества может быть утрачено, а при прессовании потери сокращаются до 30%. Немаловажным является факт, что затраты труда при заготовке прессованного сена снижаются в 2,2 раза по сравнению с рассыпным [4]. Вот почему в хозяйствах Нижнего Поволжья наибольшее распространение получила заготовка сена в рулонах.

Технология заготовки сена, спрессованного в рулоны, включает в себя совокупность операций по скашиванию, сушке, прессованию, транспортировке и хранению рулонов. Каждая операция имеет большое значение и свои временные промежутки, но при этом следует отметить, что наиболее затратными являются операции по транспортировке рулонов сена.

Транспортные средства, используемые для перевозки рулонов сена к месту их хранения или реализации, должны быть высокоэффективными [1, 5]. Их рекомендуется выбирать по комплексному критерию эффективности [3], включающему ряд важнейших показателей, в том числе и расход топлива [10], который необходимо учитывать с высокой точностью [2, 5, 8].

В настоящее время тракторы и автомобили, используемые в сельскохозяйственном производстве, оборудованы энергонасыщенными двигателями, работающими на бензине, дизельном топливе или биотопливе, цена на которые с каждым годом растёт, поэтому для сельскохозяйственных предприятий актуален вопрос его экономии. В связи с этим целью проведенных исследований являлось определение расхода топлива транспортных средств при транспортировке рулонов сена.

Материалы и методы

Процесс перевозки рулонов сена, сформированных пресс-подборщиками, исследовали в течение 3 уборочных сезонов в ИП Алмазова П.К. Кумылженского района Волгоградской области. При этом использовался метод хронометража продолжительности движения транспортных средства МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5, ГАЗ-3302 «Газель», ГАЗ-САЗ-3507/35071 и КАМАЗ 45144 по полю и по грунтовым дорогам и дорогам с

твёрдым покрытием на внутриусадебных (до 3 км), внутрихозяйственных (от 3 до 20 км) и внехозяйственных (более 20 км) перевозках.

На внутриусадебных перевозках применялись МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5, ГАЗ-3302 «Газель» и ГАЗ-САЗ-3507/35071, на внутрихозяйственных – ГАЗ-3302 «Газель» и ГАЗ-САЗ-3507/35071, на внехозяйственных – ГАЗ-3302 «Газель» и КАМАЗ 45144. Рулоны, транспортируемые указанными транспортными средствами, формировались двумя марками рулонных пресс-подборщиков ПР-Ф-110 и ПРП-120. Учитывалось также количество загруженных в транспортное средство рулонов сена, расстояние перевозки, продолжительность разгрузки транспортного средства и другие показатели.

Расход топлива фиксировался после каждого рейса транспортного средства.

Полученные данные хронометража обрабатывали с помощью компьютерной программы Microsoft Excel 2010 из пакета Microsoft Office 2010.

Анализ информации о расстоянии транспортировки и количестве перевезённых рулонов сена определённой массы каждым транспортным средством всего и за один рейс, а также о суммарном расходе топлива позволил определить расход топлива на один перевезённый рулон и установить зависимость среднего расхода топлива транспортными средствами от расстояния перевозки рулонов сена.

Для измерения расхода топлива можно использовать расходомеры самых различных конструкций:

- прямоточный [13];
- лазерный [16];
- ультразвуковой [17];
- калориметрический [14];
- магнитный [15] и другие.

В настоящих исследованиях использовался поршневой расходомер (рис. 1), разработанный по патенту РФ № 2639732 и прошедший испытания на точность измерения расхода топлива [11]. В дизельном двигателе расходомер устанавливался между фильтром грубой очистки топлива и топливоподкачивающим насосом.

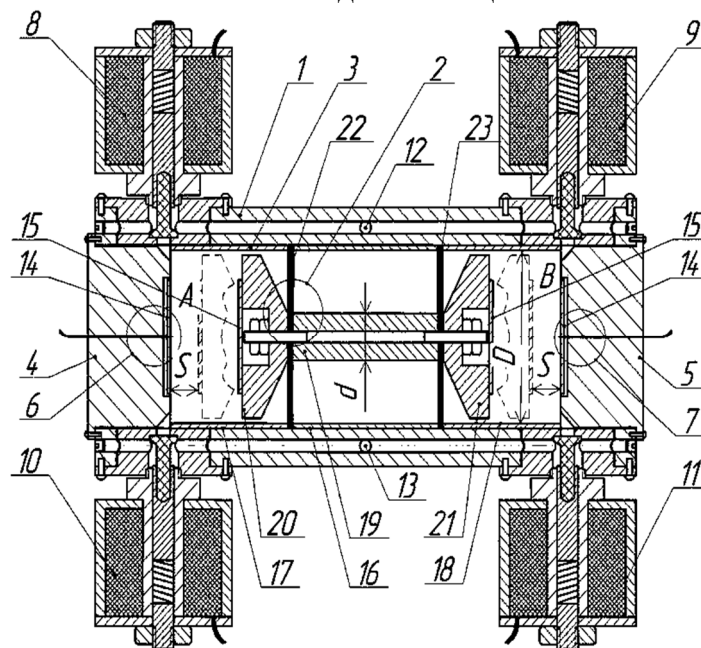


Рис. 1. Схема расходомера топлива: 1 – корпус; 2 – поршень; 3 – измерительный цилиндр; 4 и 5 – крышки; 6 и 7 – ёмкостные датчики; 8, 9, 10 и 11 – электромагнитные клапаны; 12 – подводящий штуцер; 13 – отводящий штуцер; 14 и 15 – металлические обкладки конденсатора; 16 – центральный элемент измерительного цилиндра; 17 и 18 – крайние элементы измерительного цилиндра; 19 – центральный элемент поршня; 20 и 21 – крайние элементы поршня; 22 и 23 – мембраны

Результаты и их обсуждение

Для расчёта расхода топлива транспортными средствами на один перевезённый рулон и один километр пробега определяли суммарный расход топлива, а также количество перевезённых рулонов сена, сформированных пресс-подборщиками ПР-Ф-110 и ППР-120 (табл. 1).

Таблица 1. Расход топлива транспортными средствами, суммарное расстояние перевозки рулонов сена и количество перевезённых рулонов

Показатель	Транспортное средство						
	МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5	ГАЗ-3302 «Газель»	ГАЗ-САЗ-3507/35071			КАМАЗ 45144 с прицепом	
	Расстояние перевозки рулонов, км						
	до 3	до 3	от 3 до 20	до 3	более 20	от 3 до 20	более 20
Расход топлива, л	42	191	421	154	802	253	2949
l_r , км	168	1162	2772	761	5811	1280	9765
Количество рулонов, шт.	1361	3991	1406	2934	1072	704	5124
Расход топлива на один рулон, л/шт.	0,031	0,048	0,299	0,052	0,748	0,359	0,576

Данные, представленные в таблице 1, показывают следующее:

- трактор МТЗ-82.1 использовался только на внутриусадебных перевозках, а автомобиль КАМАЗ 45144 – на внехозяйственных;
- наиболее используемым транспортным средством является автомобиль ГАЗ-3302 «Газель», этим автомобилем перевезено 6469 рулонов (39%);
- большую долю (50%) рулонов сена из 16 592 шт., сформированных двумя марками пресс-подборщиков ПР-Ф-110 и ППР-120, перевозили на расстояние до 3 км, а 41,6% рулонов сена транспортировали на расстояние более 20 км;
- транспортными средствами на один перевозимый рулон по расходу топлива наиболее выгодными являются: на внутриусадебных перевозках – машинно-тракторный агрегат МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5; на внутривозвратных – ГАЗ-3302 «Газель»; на внехозяйственных перевозках – КАМАЗ 45144 с прицепом.

Исследования свидетельствуют также о том, что номинальную грузоподъёмность рассматриваемых транспортных средств используют в разной степени. Этот факт нами оценивался коэффициентом использования грузоподъёмности, который рассчитывали по формуле

$$\gamma = \frac{M_p}{q_n},$$

где M_p – суммарная масса рулонов сена, транспортируемых за один рейс, кг;

q_n – номинальная грузоподъёмность транспортного средства, кг.

Таблица 2. Значения коэффициента использования грузоподъёмности транспортного средства

Марка транспортного средства	Номинальная грузоподъём- ность, кг	Расстояние перевозки, км					
		до 3		от 3 до 20		от 20 до 100 и более	
		Марка пресс-подборщика					
		ПР-Ф-110	ППР-120	ПР-Ф-110	ППР-120	ПР-Ф-110	ППР-120
МТЗ-82.1 + 2ПТС-4,5	4 500	0,46	0,70	-	-	-	-
ГАЗ-3302 «Газель»	1 500	0,91	0,94	0,87	0,86	0,84	0,79
ГАЗ-САЗ-3507/35071	3 930	0,37	0,66	0,30	0,56	-	-
КАМАЗ 45144 с прицепом	14 000 + 7 000	-	-	-	-	0,27	0,43

Результаты расчётов, представленные в таблице 2, показали, что номинальная грузоподъёмность максимально используется автомобилем ГАЗ-3302 «Газель», а минимально – автомобилем КАМАЗ 45144.

Экспериментальными исследованиями определялась масса одного рулона сена, сформированного пресс-подборщиками ПР-Ф-110 и ППР-120. Так, среднестатистическая масса одного рулона, сформированного пресс-подборщиком ПР-Ф-110 и ППР-120 «Pelikan», составляла соответственно 147 и 248 кг со средним квадратическим отклонением $\sigma_{m1} = 13$ кг и $\sigma_{m2} = 11$ кг. На основании этих данных и результатов, представленных в таблице 2, можно заключить, что транспортные средства с большей грузоподъёмностью следует использовать на перевозке рулонов сена с большей массой.

По экспериментальным данным построены графики изменения среднего расхода топлива Q_{cp} (л/100 км) автомобилями КАМАЗ 45144, ГАЗ-СА3-3507/35071 и ГАЗ-3302 «Газель», а также трактором МТЗ-82.1 в зависимости от среднего расстояния L_{cp} (км/ч) перевозки рулонов сена (рис. 2).

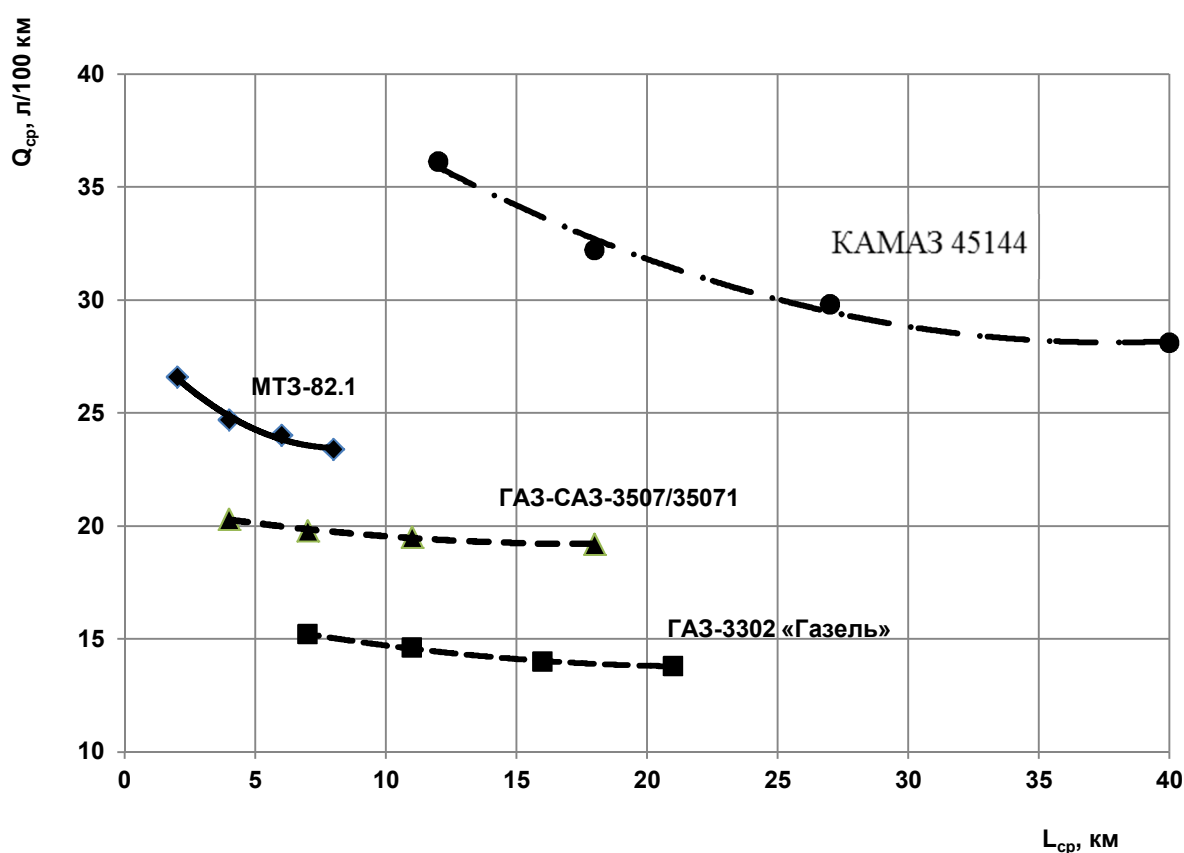


Рис. 2. Графики изменения среднего расхода топлива энергетическими средствами в зависимости от среднего расстояния перевозки рулонов сена

Построенные графики позволили определить математические зависимости $Q_{cp} = f(L_{cp})$ для следующих транспортных средств: КАМАЗ 45144 (1), ГАЗ-СА3-3507/35071 (2), ГАЗ-3302 «Газель» (3) и МТЗ-82.1 (4) с высокой достоверностью их аппроксимации R^2 :

$$Q_{cp} = 0,0117L_{cp}^2 - 0,8814L_{cp} + 44,77, \quad R^2 = 0,989; \quad (1)$$

$$Q_{cp} = 0,0057L_{cp}^2 - 0,2016L_{cp} + 20,99, \quad R^2 = 0,9917; \quad (2)$$

$$Q_{cp} = 0,006L_{cp}^2 - 0,2692L_{cp} + 16,804, \quad R^2 = 0,9982; \quad (3)$$

$$Q_{cp} = 0,0813L_{cp}^2 - 1,3275L_{cp} + 28,875, \quad R^2 = 0,9895. \quad (4)$$

Полученные результаты показывают, что с увеличением расстояния перевозки рулонов сена средний расход топлива всеми исследуемыми энергетическими средствами снижается. В большей степени это связано с качеством дорог и скоростью движения. Перевозка рулонов на малые расстояния от поля к месту хранения по территории хозяйства осуществлялась, как правило, по полям и грунтовым дорогам. Внутрихозяйственные перевозки осуществлялись не только по грунтовым дорогам, но и по дорогам с твёрдым покрытием. Качество дорожного полотна оказывает существенное влияние на расход топлива энергетического средства [6, 12]. Кроме того, для большинства грузовых автомобилей при скоростях движения 50–70 км/ч расход топлива минимальный [12].

Выводы

Установлено, что по расходу топлива на один перевозимый рулон наиболее выгодными транспортными средствами являются:

- на внутриусадебных перевозках – машинно-тракторный агрегат МТЗ-82.1+ 2ПТС-4,5;
- на внутрихозяйственных перевозках – ГАЗ-3302 «Газель»;
- на внехозяйственных перевозках – КАМАЗ 45144 с прицепом.

Транспортные средства с большей грузоподъёмностью следует использовать на перевозках рулонов сена с большей массой.

С увеличением расстояния перевозки рулонов сена средний расход топлива всеми исследуемыми энергетическими средствами снижается.

Библиографический список

1. Автоматическое управление режимами работы машинно-тракторных агрегатов / А.П. Савельев, С.В. Глотов, С.Б. Тимонин, В.С. Глотов // Сельский механизатор. – 2015. – № 12. – С. 34–37.
2. Артамонов П.И. Преобразователь перемещений поршня расходомера жидкости в унифицированный сигнал с емкостным датчиком, использующим принцип временной избыточности / П.И. Артамонов, Ф.У. Маликова, П.Т. Харитонов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2013. – № 1. – С. 21–24.
3. Бышов Н.В. Методика комплексной оценки эффективности использования транспорта в сельскохозяйственном производстве / Н.В. Бышов, А.И. Ряднов // Вестник Рязанского государственного агро-технологического университета им. П.А. Костычева. – 2019. – № 1 (41). – С. 104–108.
4. Иванов Ю.А. Современные технологии заготовки, хранения и раздачи кормов на животноводческих фермах и комплексах / Ю.А. Иванов, В.К. Скоркин, Л.М. Цой // Техника и оборудование для села. – 2008. – № 11. – С. 8–13.
5. Калачин С.В. Алгоритм управления режимами работы машинно-тракторного агрегата / С.В. Калачин // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – № 3. – С. 45–50.

6. Лукачевский Н.И. Особенности влияния качества дорог на расход топлива и стоимость перевозки грузов / Н.И. Лукачевский, А.И. Борисов // Московский экономический журнал. – 2018. – № 5–3. – С. 373–377.
7. Особов В.И. Современные технологии и комплексы машин для заготовки кормов / В.И. Особов // Техника и оборудование для села. – 2005. – № 4. – С. 20–21.
8. Палицын А.В. Применение поршневого расходомера для контроля эксплуатационных параметров машинно-тракторных агрегатов / А.В. Палицын // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 9. – С. 49–51.
9. Пат. 2639732 Российская Федерация, МПК G01F 3/00 (2006.01). Расходомер / А.И. Ряднов ; патентообладатель ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. – № 2017100285 ; заявл. 09.01.2017 ; опубл. 22.12.2017, Бюл. № 36. – 5 с.
10. Ряднов А.И. Выбор транспортного средства для перевозки рулонов сена по затратам на топливо-смазочные материалы / А.И. Ряднов, О.А. Федорова, И.В. Алмазов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 1 (53). – С. 364–371.
11. Ряднов А.И. Совершенствование конструкции поршневого расходомера топлива / А.И. Ряднов, О.А. Федорова, А.В. Федоров // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 4 (56). – С. 255–262.
12. Филиппов В.В. О зависимости расхода топлива и влиянии на него скорости движения автомобиля и дорожных условий / В.В. Филиппов, Н.В. Смирнова, Д.Н. Леонтьев // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – 2014. – № 67. – С. 7–12.
13. Automation of direct measurement and control of volumetric flow / W. Wójcik, K. Gromaszek, B. Akhmetov, P. Kharitonov, F. Malikova, T. Kartbayev // Przegląd Elektrotechniczny. – 2015. – Vol. 91, No. 11. – Pp. 296–299.
14. Calorimetric flow meter of motor fuel with inlet temperature regulation / I. Korobiichuk, M. Kachniarz, O. Bezvesilna, M. Nowicki A. Ilchenko, R. Szewczyk // International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT). Spain, Barcelona, 5–7 April, 2017. – Pp. 975–979. DOI: 10.1109/CoDIT.2017.8102725
15. Coble J. Calorimetric Analysis to Infer Primary Circuit Flow in Integral and Pool-Type Reactors / J. Coble, R. Tarver, J.W. Hines // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2017. – Vol. 64 (2). – Pp. 837–843. DOI: 10.1109/TNS.2017.2650963.
16. Measurements on Injection Rate by LDA Flow Rate Meter / K. Edure, S. Kikuchi, T. Koyama, H. Kawashima, T. Ishima // JSAE/SAE 2015 International Powertrains, Fuels & Lubricants Meeting. Technical Papers. – USA, 2015. DOI: 10.4271/2015-01-2005.
17. Zhang X.-Z. The Ultrasonic Mass Flow Measurement Method of Light Fuel Based on the Artificial Neural Network Model / X.-Z. Zhang, F.-Q. Meng, S.-K. Song // Jiliang Xuebao/Acta Metrologica Sinica. – 2017. – Vol. 38 (2). – Pp. 205–208.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Алексей Иванович Ряднов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры эксплуатации и технического сервиса машин в АПК ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», Россия, г. Волгоград, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru.

Иван Владимирович Алмазов – кандидат технических наук, главный инженер ИП Алмазова П.К. Кумылженского района Волгоградской области, Россия, Волгоградская область, Кумылженский район, e-mail: ialmazov707@gmail.com.

Алексей Валерьевич Федоров – обучающийся, факультет автоматизированных систем, транспорта и вооружений ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Россия, г. Волгоград, e-mail: alex_fedorow_97@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 13.11.2020

Дата принятия к печати 17.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Aleksey I. Ryadnov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Operation and Technical Service of Machines in Agro-Industrial Complex, Volgograd State Agrarian University, Russia, Volgograd, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru.

Ivan V. Almazov, Candidate of Engineering Sciences, Chief Engineer, Almazov P.K. IP, Kumylzhensky District, Volgograd Oblast, Russia, Volgograd Oblast, Kumylzhensky District, e-mail: ialmazov707@gmail.com.

Aleksey V. Fedorov, Student, the Faculty of Automated Systems, Transport and Weapons, Volgograd State Technical University, Russia, Volgograd, e-mail: alex_fedorow_97@mail.ru.

Received November 13, 2020

Accepted after revision December 17, 2020

О ПРИЧИНАХ ОТКАЗА МНОГОСТРУЙНЫХ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ

Владимир Дмитриевич Бурдыкин¹
Виктор Валентинович Шередекин¹
Валерий Васильевич Остриков²
Сергей Николаевич Сазонов²

¹Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

²Всероссийский научно-исследовательский институт использования
техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве

При эксплуатации дизелей отмечается значительное количество отказов, связанных с выходом из строя элементов системы питания, в том числе многоструйных распылителей форсунок из-за закоксовывания распыливающих отверстий. Рассматривается несколько причин, приводящих к коксовым отложениям в полости распылителя. Одной из них является подтекание топлива в результате износа запорной конусной поверхности распылителя. Значительный износ связан с ударными нагрузками на запорную поверхность в результате многократных воздействий иглы и корпуса распылителя в процессе работы форсунки. Второй рассматриваемой причиной является проникновение рабочих газов в полость распылителя в конечной фазе в процессе впрыскивания. Для оценки влияния конструктивных и регулировочных параметров форсунки на величину закоксовывания проведены ускоренные испытания дизеля 4Ч12/14, которые показали, что при снижении давления с началом впрыскивания ниже 15 МПа показатель закоксовывания распылителя возрастает и достигает максимального значения 24% при давлении начала впрыскивания 10 МПа. При таком давлении отмечается дополнительный объём иглы после посадки её на седло, что может быть связано с колебательными процессами в пружине форсунки. Для устранения колебательных процессов рекомендуется увеличить жёсткость пружины до 400–500 Н/мм. С целью снижения износа запорных поверхностей предлагается конструкция распылителя, у которого отсутствует коническая запорная поверхность. Ударные нагрузки воспринимают детали распылителя, находящиеся в полости низкого давления топлива. Износ соприкасающихся поверхностей не влияет на утечки топлива из полости распылителя в цилиндр дизеля, что исключает подтекание топлива и, как следствие, закоксовывание распылителя, а также повышает экономичность дизеля.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизель, форсунка, распылитель, давление начала впрыскивания, износ, закоксовывание.

CONCERNING CAUSES OF FAILURE OF MULTIJET SPRAYERS

Vladimir D. Burdykin¹
Viktor V. Sheredekin¹
Valeriy V. Ostrikov²
Sergey N. Sazonov²

¹Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

²All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture

A significant number of failures in diesels are associated with the failure of power system elements, multi-hole injector spray nozzles, in particular because of injector holes gumming-up. Several causes leading to gumming of injection cavity are considered. One of them is fuel leakage as a result of wear of the shut-off cone surface of the injector. Significant wear is associated with shock loads on the locking surface as a result of repeated needle impacts during the operation of the nozzle. The second reason under consideration is the penetration of working gases into the cavity of an injector in the final phase during the injection process. To assess the impact of the design and adjustment parameters of the nozzle on the amount of gumming, accelerated tests of the 4Ч12/14 diesel engine were carried out, which showed that when the injection pressure decreases below 15 MPa, the injector gumming index begins to increase, reaching its maximum value of 24% at the injection pressure of 10 MPa. At this pressure, an additional volume of the needle is noted after it is placed on the seat, which may be due to oscillating processes

in the nozzle spring. To eliminate vibration processes, it is recommended to increase the spring stiffness up to 400–500 N/mm. In order to reduce the wear of the locking surfaces, the design of the injector is proposed, which does not have a conical locking surface. Shock loads are perceived by the parts of the injector located in the low-pressure fuel cavity. Wear of the contact surfaces does not affect fuel leaks from the injector cavity to the diesel cylinder, which eliminates fuel leakage and, as a result, eliminates gumming of the injector and increases the efficiency of the diesel engine.

KEYWORDS: diesel, nozzle, injector, injection start pressure, wear, gumming.

Опыт эксплуатации тракторных дизелей показывает, что одной из причин выхода из строя форсунок является закоксовывание многоструйных распылителей. Причём этот отказ чаще всего происходит в начальный период работы новых форсунок, сопровождающийся значительным снижением давления начала впрыскивания топлива (P_f) из-за приработки контактных поверхностей деталей или несвоевременного проведения технического обслуживания. Износ запорных поверхностей приводит к снижению герметичности, подтеканию топлива и образованию коксовых отложений в распыливающих отверстиях [3, 4]. Это снижает пропускную способность форсунки и, как следствие, уменьшает динамические и экономические показатели дизеля [5]. Причинам образования коксовых отложений посвящено значительное число научных работ [3, 4, 10, 11].

Анализ вопроса об износе запорных поверхностей при исследованиях работоспособности распылителей позволяет выделить в основном две его причины [7, 2, 9]. Первая – это абразивный износ, и вторая – износ, связанный с ударными нагрузками в процессе взаимодействия иглы и корпуса распылителя [8, 9]. Уровень давления топлива при впрыскивании топлива в цилиндр дизеля, гидромеханические нагружения и физикомеханические свойства материалов также оказывают влияние на характер износа конических запорных поверхностей распылителей [2, 14].

Чтобы выявить зависимость закоксовывания многоструйных распылителей от давления начала подъёма иглы, были проведены исследования унифицированных форсунок ФД-22 (11.1112010-02) дизелей Д-65Н (4Ч 11/13) и форсунки 111.1112010-02 дизеля СМД-14Н (4Ч 12/14) [10].

На рисунке 1, а приведены результаты сравнительных стендовых испытаний дизеля 4Ч 12/14. Анализ показывает, что значительное закоксовывание распылителей наблюдается при снижении давления начала впрыскивания топлива ниже 15 МПа, коэффициент закоксовывания достигает максимального значения 24% при $P_f = 10$ МПа. Эти данные подтверждаются результатами эксплуатационных испытаний, во время которых значительное снижение P_f приводило к существенному закоксовыванию распылителей [4, 5, 12].

Для определения влияния давления начала впрыскивания топлива на параметры процесса топливоподачи и объяснения зависимости закоксовывания распылителей от P_f проведено осциллографирование процесса топливоподачи на дизеле 4Ч 12/14 с топливным насосом ЛСТН49010Б (В7.80.16.001) и форсункой 111-1112010-02 (ход иглы распылителя – 0,25 мм). Осциллографирование осуществлялось на двух режимах: при частоте вращения коленчатого вала $n = 30 \text{ с}^{-1}$ и мощности $N_e = 59 \text{ кВт}$, а также при $n = 23,3 \text{ с}^{-1}$ и $N_e = 51,5 \text{ кВт}$. При этом на ленте осциллограммы фиксировали положение ВМТ, давление газов в цилиндре и топлива в полости форсунки дизеля, усилия на нижнем и верхнем опорных витках пружины, ход иглы.

Многие исследователи считают, что одной из основных причин закоксовывания многоструйных распылителей является проникновение газов из цилиндра в полость распылителя в конечной фазе процесса впрыскивания топлива. При этом, как указывают авторы, необходимо, чтобы давление газа в цилиндре превышало давление топлива в полости распылителя в момент посадки иглы на седло [6, 10, 11].

На рисунках 1, б и 1, в видно, что действительно такой перепад имеется во всем диапазоне давлений начала впрыскивания топлива. Однако закоксовывание распылителей практически отсутствует в широком диапазоне давлений от 15 до 22,5 МПа (рис. 1, а). При дальнейшем снижении давления начала впрыскивания перепад давлений увеличивается незначительно, а закоксовывание резко возрастает, достигая максимального значения при $P_{\phi} = 10$ МПа. Такой характер закоксовывания распылителей при снижении P_{ϕ} нельзя полностью объяснить только перепадом давлений топлива и цилиндрических газов.

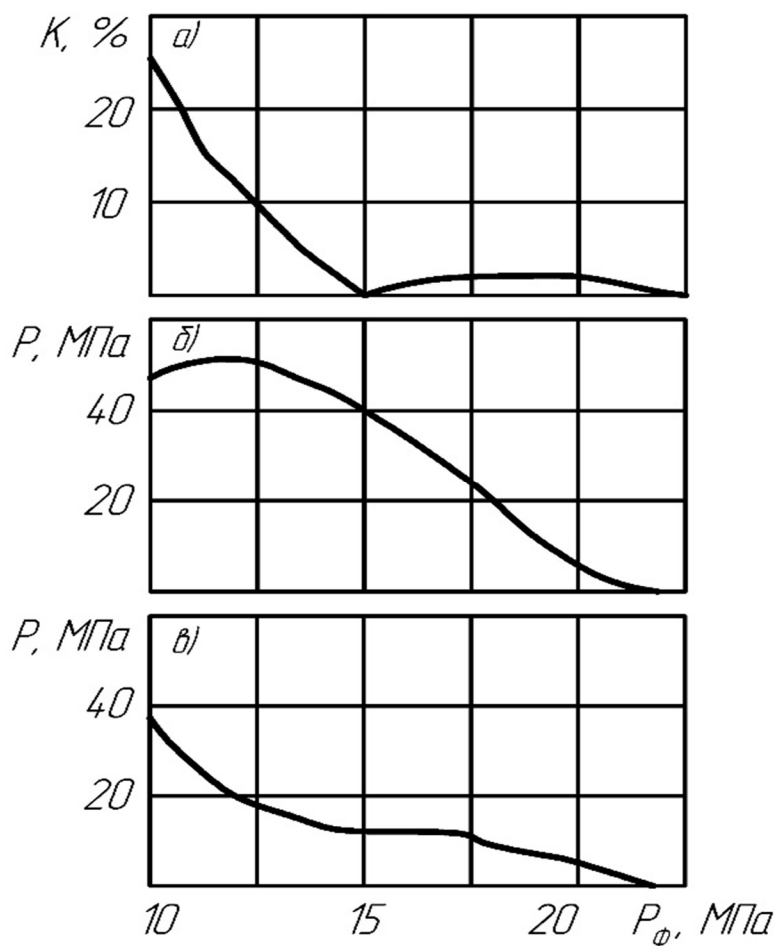


Рис. 1. Зависимости закоксовывания распылителей (а) и перепада давления топлива и газа в цилиндре (б – при $n = 50 \text{ с}^{-1}$, $N_e = 59 \text{ кВт}$; в – при $n = 23,3 \text{ с}^{-1}$, $N_e = 51,5 \text{ кВт}$) от давления начала впрыскивания топлива

При обработке осциллограмм было отмечено, что в случае снижения давления начала впрыскивания до 12,5 МПа и ниже при $n = 30 \text{ с}^{-1}$ наблюдается подскок иглы, т. е. сразу же после посадки игла дополнительно поднимается на высоту до 0,038 мм; продолжительность этого подъёма иглы соответствовала $3,1^\circ$ угла поворота коленчатого вала. Подскок иглы происходит из-за её удара о корпус распылителя и вследствие того, что усилие пружины, действующее на иглу, непостоянно. Давление топлива в полости форсунки и газов в цилиндре также изменяется.

Следует отметить, что в этот момент давление топлива увеличивается до 5 МПа, а давление газов достигает максимального значения 8 МПа, что вызывает подскок иглы. Таким образом, подскок иглы создаёт дополнительную возможность для проникновения газов из цилиндра в полость распылителя, вследствие чего резко увеличивается

закоксовывание распылителей при $P_{\phi} = 12,5$ МПа. При снижении давления начала впрыскивания до 10 МПа величина перепада давлений остаётся практически постоянной, а закоксовывание распылителей достигает максимального значения.

Анализ осциллограмм, полученных при данном P_{ϕ} , показал, что в этом случае, кроме подскока иглы, наблюдается её дополнительный подъём через 0,0014–0,002 с после основного периода впрыскивания. Подъём иглы достигает 0,15 мм и длится 0,0016 с (14° поворота коленчатого вала дизеля).

В качестве характерного примера на рисунке 2 представлена осциллограмма процесса топливоподачи при $P_{\phi} = 10$ МПа, частоте вращения коленчатого вала $23,3 \text{ с}^{-1}$ и крутящем моменте 351,2 Нм. Повторному подъёму иглы при низких давлениях начала впрыскивания способствуют колебания давления топлива в трубопроводе высокого давления и переменное усилие на опорных витках пружины [1, 12].

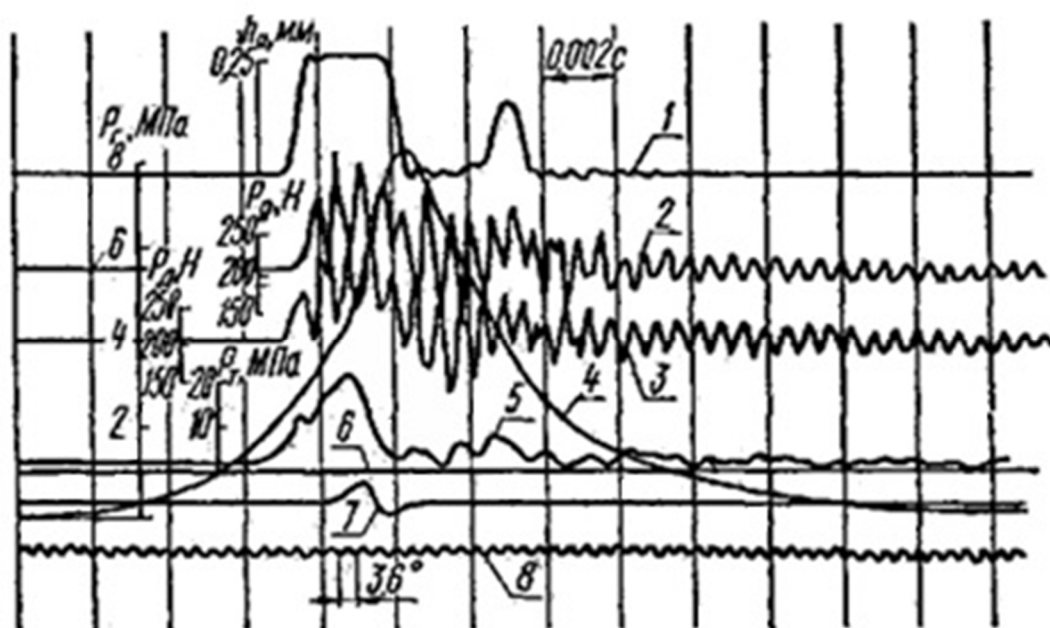


Рис. 2. Осциллограмма процесса топливоподачи при $P_{\phi} = 10$ МПа, $n = 23,3 \text{ с}^{-1}$:
1 – ход иглы; 2, 3 – динамические усилия (P_d) на верхнем и нижнем витках пружины;
4, 5 – давление газа в цилиндре (P_g) и топлива (P_t) в полости форсунки;
6 – нулевая линия; 7 – отметка ВМТ; 8 – отметка поворота коленчатого вала

Статическое усилие, создаваемое пружиной при давлении начала подъёма иглы, равном 10 МПа, составляет 208 Н. В процессе впрыскивания и после посадки иглы возникают колебания усилий на опорных витках пружины с размахом 60–70 Н. Поэтому усилие, воспринимаемое иглой, снижается до 130–140 Н, а одновременное колебание давления топлива приводит к её повторному подъёму.

Повторный подъём иглы при малых давлениях впрыскивания топлива является одной из возможных причин проникновения газов из цилиндра в полость распылителя и, как следствие, значительного закоксовывания распылителей, достигающего максимума при $P_{\phi} = 10$ МПа.

Одним из способов устранения дополнительного подъёма иглы может служить увеличение жесткости пружины для сокращения продолжительности колебаний усилий на опорных витках пружины. Осциллографирование процесса топливоподачи с пружи-

ной жёсткостью 400–500 кН/мм показало, что в этом случае происходит увеличение собственной частоты колебаний пружины и подвижных деталей при снижении амплитуды и сокращении продолжительности колебаний усилий до 0,022 с. Таким образом, при данной жёсткости пружины усилие, передаваемое пружиной, стабилизируется к моменту прихода волны давления топлива, что исключает повторный подъём иглы и снижает возможность проникновения газов из цилиндра в полость распылителя.

Стендовые испытания дизеля подтвердили эффективность применения пружины с увеличенной жёсткостью. В этом случае закоксовывание распылителей отсутствовало при $P_{\phi} = 12,5\text{--}22,5$ МПа, а при $P_{\phi} = 10$ МПа оно уменьшилось в 2 раза по сравнению с серийным вариантом пружины и не превысило 12%.

С целью снижения закоксовывания распылителей и повышения надёжности предлагаются различные технологические и конструктивные решения [3, 6, 8].

Одним из них является применение распылителя с иглой, выполняющей роль золотникового клапана [13]. На рисунке 3 представлена конструкция данного распылителя.

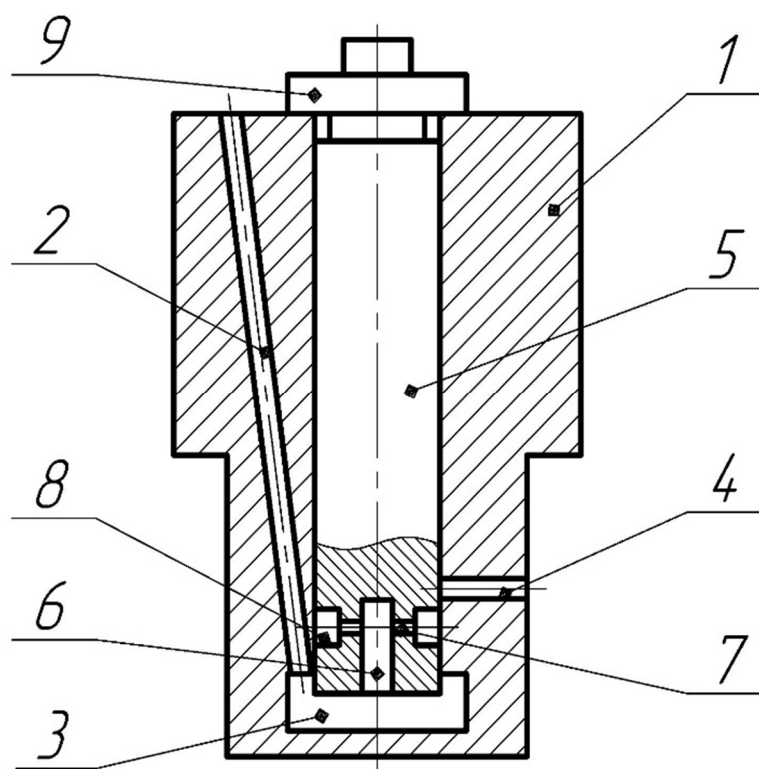


Рис. 3. Распылитель форсунки: 1 – корпус; 2 – топливоподводящий канал; 3 – подклапанная полость; 4 – распыливающее отверстие; 5 – золотниковый запорный клапан; 6 – осевой канал; 7 – радиальное отверстие; 8 – кольцевая проточка; 9 – ограничитель хода

В предложенной конструкции распылителя в процессе впрыскивания топливо воздействует на постоянную площадь золотникового запорного клапана, что обеспечивает постоянное давление топлива в момент начала подъёма и в момент посадки иглы на седло, в отличие от распылителей с дифференциальной площадкой. Такая конструкция распылителя позволяет получить более мелкое распыливание топлива в конечной фазе процесса впрыскивания, что положительно сказывается на экономичности дизеля и исключает проникновение газов в полость распылителя. После прекращения подачи топлива и перемещения запорного клапана вниз верхняя часть клапана воздействует на

корпус распылителя и останавливается. При этом площадь контактирующих поверхностей значительно больше, чем у конусной формы серийных распылителей. Это приводит к снижению ударных нагрузок и уменьшению износа поверхностей. Следует отметить, что износ контактирующих поверхностей не оказывает влияние на гидроплотность и герметичность распылителя, так как они находятся в полости низкого давления.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. При определении предельно допустимого снижения давления начала впрыскивания топлива, и, следовательно, периодичности технического обслуживания в условиях эксплуатации следует принимать во внимание не только общепринятые показатели (изменение производительности топливного насоса, изменение экономичности и др.), но и возможность значительного закоксовывания распылителей.

2. При снижении давления начала впрыскивания наблюдается существенное закоксовывание распылителей.

3. Подскок и дополнительный подъем иглы после основного впрыскивания топлива создают возможность проникновения газов из цилиндра в полость распылителя.

4. Эффективным средством устранения подскока и дополнительного подъема иглы является увеличение жесткости пружины до 400–500 кН/мм.

5. С целью снижения износа запорных поверхностей распылителя предлагается распылитель золотникового типа с отсутствием запорной конической поверхности.

Библиографический список

1. Агеев Б.С. О расчете действительных усилий в пружинах форсунок дизелей / Б.С. Агеев, В.В. Чурсин // Энергомашиностроение. – 1977. – № 5. – С. 11–14.
2. Анализ видов нагружения и причин снижения ресурса уплотняющего прецизионного сопряжения распылителя топливной форсунки дизеля / В.Е. Лазарев, Г.В. Ломакин, Е.А. Лазарев и др. // Вестник Южно-уральского государственного аграрного университета. Серия: Машиностроение. – 2012. – № 33 (292). – С. 54–59.
3. Василевский В.П. Повышение срока службы форсунок автотракторных дизелей путем уменьшения интенсивности их закоксовывания : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 / В.П. Василевский. – Москва, 1986. – 17 с.
4. Володин А.И. Причины образования кокса в сопловых отверстиях распылителей форсунок дизелей / А.И. Володин, Л.Ю. Михайлова, Ю.П. Макушев // Омский научный вестник. – 2013. – № 1 (117). – С. 59–63.

5. Вохмин Д.М. Обоснование влияния коэффициента закоксованности распылителей на периодичность технического обслуживания форсунок дизельных двигателей / Д.М. Вохмин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 3. – С. 113–116.
6. Гурин Т.Ю. Повышение долговечности форсунок автотракторных дизелей модернизацией распылителей : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.20.03 / Т.Ю. Гурин. – Новосибирск, 2010. – 18 с.
7. Керученко Л.С. Факторы, определяющие износ запорного сопряжения распылителя форсунки дизельного двигателя / Л.С. Керученко, И.В. Веретено, Р.В. Даманский // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2 (22). – С. 222–227.
8. Марков В.А. Совершенствование конструкции распылителя форсунки дизеля / В.А. Марков, С.Н. Девянин, А.А. Ефанов // Грузовик. – 2010. – № 7. – С. 2–9.
9. Перекрестков А.П. Износ конусного уплотнения форсунки дизельного двигателя как результат усталостного процесса изнашивания / А.П. Перекрестков, М.А. Саидов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2008. – № 5. – С. 135–138.
10. Прокопов Н.В. Влияние конструктивных и регулировочных параметров форсунки ФД-22 на закоксовывание сопл распылителя / Н.В. Прокопов, В.Д. Бурдыкин, Н.И. Самусь // Двигателестроение. – 1980. – № 2. – С. 41–43.
11. Прокопов Н.В. О причинах закоксовывания многосопловых распылителей / Н.В. Прокопов, А.И. Моисеев // Записки Воронежского сельскохозяйственного института. – Воронеж : ВСХИ, 1971. – Т. 48, вып. 2. – С. 53–58.
12. Трусов В.И. Форсунки автотракторных дизелей / В.И. Трусов, В.П. Дмитренко, Г.Д. Масляный. – Москва : Машиностроение, 1977. – 167 с.
13. Пат. 2239089 Российская Федерация, МПК F02M 61/16, F02M 61/04 (2000/01). Распылитель форсунки для дизеля / М.Н. Кухарев, В.Д. Бурдыкин, А.В. Грибанов, А.В. Белоглазов ; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. – № 2003105078/06 ; заявл. 20.02.2003 ; опубл. 27.10.2004, Бюл. № 30. – 4 с.
14. Diesel – Speichereinspritzsystem Common Rail. Technische Unterrichtung / Bosch. [Chefred.: Horst Bauer]. – Stuttgart. – Ausgabe 98/99. – 1998. – 49 s.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Владимир Дмитриевич Бурдыкин – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: burdykin50@mail.ru.

Виктор Валентинович Шередекин – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: viktor_scher@mail.ru.

Валерий Васильевич Остриков – доктор технических наук, зав. лабораторией использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Сергей Николаевич Сазонов – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории эксплуатационных требований к сельскохозяйственной технике ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: snsazon@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 12.11.2020

Дата принятия к печати 27.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Vladimir D. Burdykin, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: burdykin50@mail.ru.

Viktor V. Sheredekin, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: viktor_scher@mail.ru.

Valeriy V. Ostrikov, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Laboratory for the Use of Lubricants and Spent Oil Products, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Russia, Tambov, e-mail: viitinlab8@bk.ru.

Sergey N. Sazonov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Scientific Researcher, Laboratory of Operational Requirements for Agricultural Machinery, All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Russia, Tambov, e-mail: snsazon@mail.ru.

Received November 12, 2020

Accepted after revision December 27, 2020

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Сергей Николаевич Пиляев
Дмитрий Николаевич Афоничев

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Известные методики определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя основаны на ряде допущений и направлены на установление указанных параметров, обеспечивающих требуемую форму механической характеристики в заданном диапазоне частоты вращения ротора. Результаты реализации динамической модели асинхронного электродвигателя 4A112M2U3, для которого известны параметры Г-образной схемы замещения, с помощью системы визуального моделирования Simulink показывают, что значение скольжения и электромагнитного момента при номинальной нагрузке практически соответствуют каталожным данным. В то же время значение максимального момента, полученное с помощью динамической модели, несколько меньше каталожного. Также установлено, что при номинальной нагрузке значение тока соответствует каталожному. Таким образом, параметры схемы замещения асинхронной машины можно считать адекватными. Расчёты параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя 4A112M2U3, выполненные по трём известным методикам, приведённым в работах В.Б. Терехина, С.Г. Герман-Галкина и Ю.А. Мощинского, показали, что вычислить наиболее близкие к каталожным значения позволяет методика Ю.А. Мощинского. При этом следует отметить наличие заметных отклонений значений зависимостей вращающего момента от скольжения ротора (при скольжении ротора, близком к критическому), взятых из каталогов и вычисленных по параметрам схемы замещения. Разработана методика обоснования параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя, основанная на минимизации функции квадратов отклонений каталожных значений номинального момента, максимального момента и критического скольжения от их вычисленных значений для текущих значений параметров. Такая методика позволяет найти параметры, очень близкие к каталожным, и практическое совпадение зависимостей вращающего момента от скольжения ротора, установленных по каталожным и вычисленным параметрам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электропривод, асинхронный электродвигатель, параметры схемы замещения, динамическая модель, скольжение ротора, вращающий момент.

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR REPLACEMENT CIRCUIT

Sergey N. Pilyaev
Dmitriy N. Afonichev

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Known methods for determining parameters of the asynchronous electric motor replacement circuit are based on a number of assumptions and are aimed at establishing these parameters that provide the required form of mechanical characteristics in a given range of rotor speed. The results of the implementation of the dynamic model of the 4A112M2U3 asynchronous electric motor, for which the parameters of the L-shaped substitution scheme are given, using the Simulink visual modeling system show that the value of the slip and the electromagnetic moment at the rated load practically correspond to the catalog data. At the same time, the maximum torque value obtained using the dynamic model is slightly less than the catalog value. It is also established that at the rated load, the current value corresponds to the catalog value. Thus, the parameters of the asynchronous machine substitution scheme can be considered as adequate. Calculations of the parameters of the replacement circuit of the 4A112M2U3 asynchronous electric motor, performed according to three well-known methods described in the works of V.B. Terekhin, S.G. German-Galkin and Yu.A. Moshinskiy, showed that the method of Yu.A. Moshinsky allows calculating the values closest to the catalog ones. At the same time, it should be noted that there are noticeable deviations in the values of the dependencies of the torque on the motor slip (when the motor slip is close to critical), taken from the catalogs and calculated from the parameters of the substitution scheme. A method for substantiating the parameters of the asynchronous motor replacement circuit is developed, based on minimizing the function of squared deviations of the catalog values of the nominal torque,

maximum torque and critical slip from their calculated values for the current parameter values. This method allows calculating parameters that are very close to the catalog ones, and obtaining practical coincidence of the dependencies of the torque on the motor slip set according to the catalog and calculated parameters.

KEYWORDS: electric drive, asynchronous electric motor, substitution circuit parameters, dynamic model, motor slip, torque.

Введение

В настоящее время с развитием систем силовой электроники главенствующим типом электропривода большинства технологических установок в сельском хозяйстве и на перерабатывающих производствах стал частотно управляемый асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором [8, 13, 14, 16]. При этом основным инструментом проектирования частотно управляемых электроприводов на базе асинхронных электродвигателей является построение динамических моделей самого двигателя и системы управления [3, 9, 14, 16]. Для этих целей обычно используются такие системы мультифизического визуального моделирования (симуляции), как Matlab/Simulink, SimInTech, Amesim и т. д. [2, 9, 11]. Во всех этих системах реализована стандартная динамическая модель асинхронного двигателя в виде идеализированного двухфазного электродвигателя, приведённого к ортогональным осям, вращающимся с частотой питающей сети [6, 7, 10, 16]. Данная модель основывается на использовании схемы замещения асинхронного электродвигателя (Г-образной или Т-образной) [6, 7, 10, 16].

Параметрами схемы замещения являются: активные сопротивления обмоток статора и ротора R_1 , R_2 , индуктивности обмоток статора и ротора L_1 , L_2 и взаимная индуктивность обмоток статора и ротора L_m , определяющие значения индуктивных сопротивлений X_1 , X_2 , X_m .

Точное определение параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя практически невозможно по нескольким причинам:

- для определения индуктивностей рассеяния и взаимной индуктивности нужно проводить расчёт магнитной цепи машины, а для этого необходимо знание всех размеров её зубцовой зоны;
- индуктивности реальной машины зависят от величины магнитного потока в воздушном зазоре машины и степени насыщения магнитной цепи;
- магнитный поток асинхронного двигателя определяется током обмоток статора и ротора, а следовательно, зависит от нагрузки на валу;
- активное сопротивление ротора зависит от скорости его вращения из-за эффекта вытеснения тока в стержнях короткозамкнутой обмотки ротора.

Таким образом, в связи с нелинейностью реальной асинхронной машины её идеализированная динамическая модель не может адекватно отображать все режимы работы. Параметры, соответствующие пусковому режиму, не позволяют адекватно описать номинальный режим работы, и наоборот. Поскольку наиболее часто целью построения динамических моделей является исследование работы двигателя в номинальном режиме, то параметры его схемы замещения выбираются таким образом, чтобы модель обеспечивала наиболее полную адекватность характеристикам электродвигателя в этом режиме. Следовательно, возникает проблема выбора параметров схемы замещения так, чтобы её характеристики соответствовали характеристикам моделируемого асинхронного двигателя в номинальном режиме.

Основным источником информации о реальных асинхронных машинах являются только каталоги различных производителей, в которых приводятся только номинальные данные: номинальная мощность двигателя P_n ; номинальное линейное напряжение U_n ;

номинальная частота питающей сети f_n ; число пар полюсов статора p ; синхронная частота вращения магнитного поля статора n_0 ; номинальное скольжение ротора s_n ; критическое скольжение s_k ; коэффициент мощности в номинальном режиме работы $\cos \varphi_n$; коэффициент полезного действия в номинальном режиме η_n ; кратность пускового тока k_i ; кратность пускового момента k_p ; кратность максимального момента k_m . Только для двигателей серии 4А [1] дополнительно известны параметры упрощённой Г-образной схемы замещения. Для остальных современных асинхронных электродвигателей подобные данные недоступны. Поэтому при построении динамической модели асинхронного электропривода всегда возникает задача определения адекватных параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя исходя только из его номинальных характеристик. Степень адекватности этих параметров определяется совпадением в модели статических значений зависимости электромагнитного момента двигателя от скольжения ротора $M(s)$ в области $0 < s \leq s_k$ со значениями данной зависимости, построенной по каталожным параметрам. То есть полученные при исследовании динамической модели значения электромагнитного момента при номинальной частоте вращения, максимальный момент и критическое скольжение должны быть близкими к каталожным значениям.

Методы и средства исследований

Однозначного решения задачи определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя через каталожные данные не существует, поскольку невозможно найти пять неизвестных переменных, имея только две точки механической характеристики, связывающие их. Поэтому все известные методики определения этих параметров носят субъективный характер, основаны на ряде допущений [7, 9, 10, 11, 14] и направлены на определение указанных параметров, обеспечивающих требуемую форму механической характеристики в заданном диапазоне частоты вращения ротора. Все эти методики можно разделить на две группы: использующие дополнительные точки механической характеристики путём учёта частичной нагрузки двигателя [10, 14] и не использующие точки частичной нагрузки [7, 9, 11].

Рассмотрим степень эффективности применения этих методик на конкретном примере асинхронного электродвигателя марки 4А112М2У3 со следующими каталожными данными: $P_n = 7,5$ кВт; $U_n = 380$ В; $f_n = 50$ Гц; $p = 1$; $n_0 = 3000$ об/мин.; $s_n = 0,026$; $s_k = 0,108$; $\cos \varphi_n = 0,88$; $\eta_n = 0,875$; $k_i = 7,5$; $k_p = 2$; $k_m = 2,2$. Согласно [1] для этого двигателя параметры Г-образной схемы замещения имеют следующие значения: $R_1 = 0,766$ Ом; $X_1 = 0,966$ Ом; $R_2 = 0,466$ Ом; $X_2 = 2,33$ Ом; $X_m = 61,64$ Ом.

Пользуясь каталожными данными, можно по известным выражениям [14] определить номинальный момент двигателя $M_n = 24,51$ Н·м, номинальный ток $I_n = 14,758$ А, максимальный электромагнитный момент $M_m = k_m M_n = 2,2 \cdot 24,51 = 53,92$ Н·м и пусковой момент двигателя $M_p = k_p M_n = 2 \cdot 24,51 = 49,02$ Н·м. Согласно этим данным номинальная частота вращения ротора составляет 2922 об/мин., а максимальный момент соответствует частоте вращения ротора 2676 об/мин. На рисунке 1 представлена механическая характеристика двигателя 4А112М2У3.

Информация, приведённая на рисунке 1, показывает, что механическая характеристика соответствует каталожным данным (не считая пускового момента) в диапазоне скольжений $0 < s \leq s_k$.

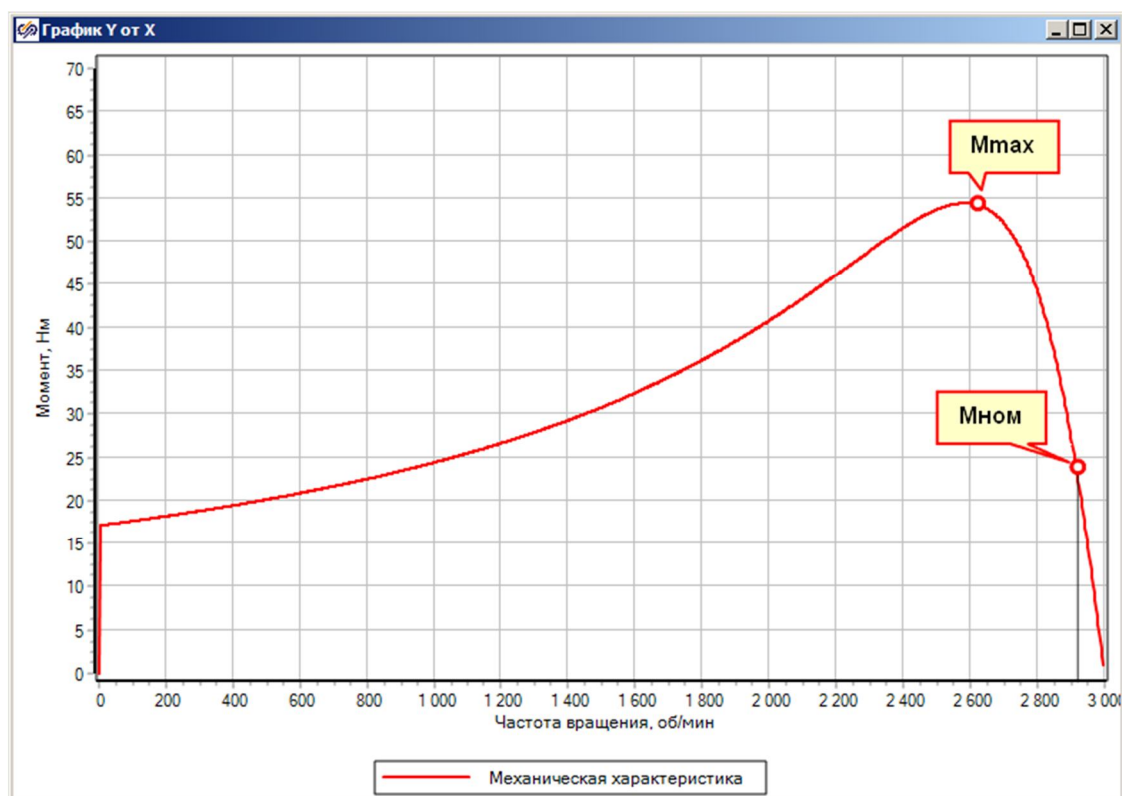


Рис. 1. Механическая характеристика двигателя 4A112M2У3, полученная на основе Г-образной схемы замещения

Далее построим динамическую модель асинхронного электродвигателя с помощью системы визуального моделирования Simulink [7, 11] (рис. 2).

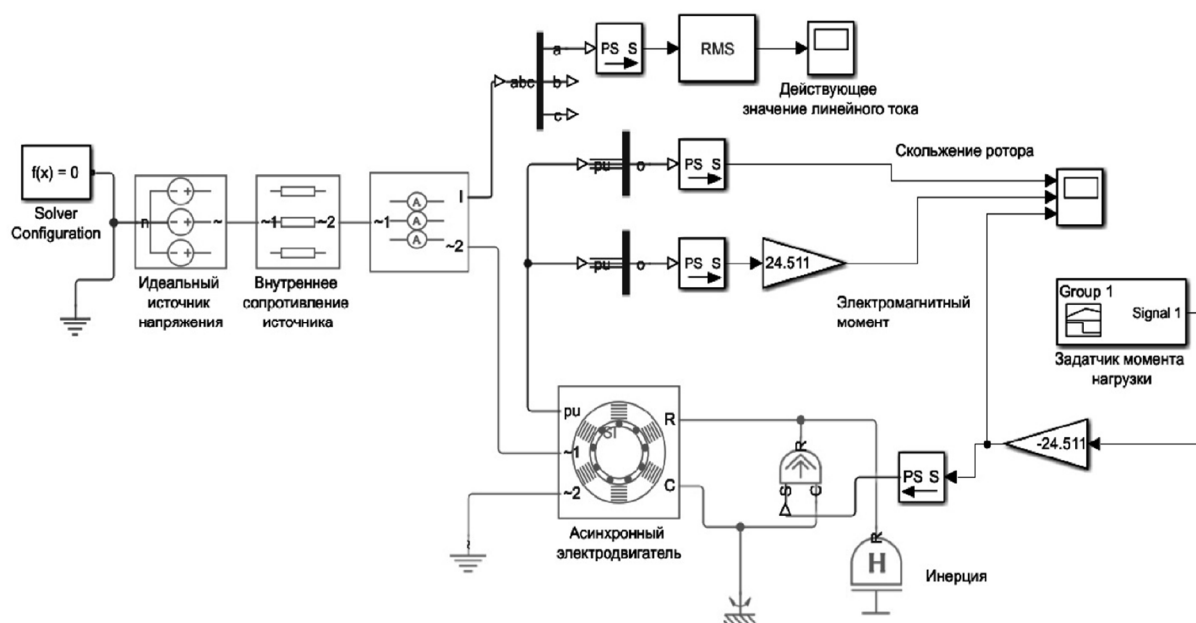


Рис. 2. Динамическая модель асинхронного электродвигателя

На рисунке 3 представлена диаграмма изменения электромагнитного момента и скольжения ротора двигателя при изменении нагрузки от нулевого значения до максимально возможного при сохранении его устойчивой работы. На кривых рисунка 3

нетрудно заметить, что значения скольжения и электромагнитного момента при номинальной нагрузке практически соответствуют каталожным данным. В то же время значение максимального момента, полученное с помощью динамической модели, несколько меньше каталожного. Таким образом, параметры схемы замещения асинхронной машины R_1 , X_1 , R_2 , X_2 , X_m можно считать адекватными. Также установлено, что при номинальной нагрузке значение тока соответствует каталожному. Это можно считать ещё одним признаком адекватности динамической модели реальному электродвигателю.

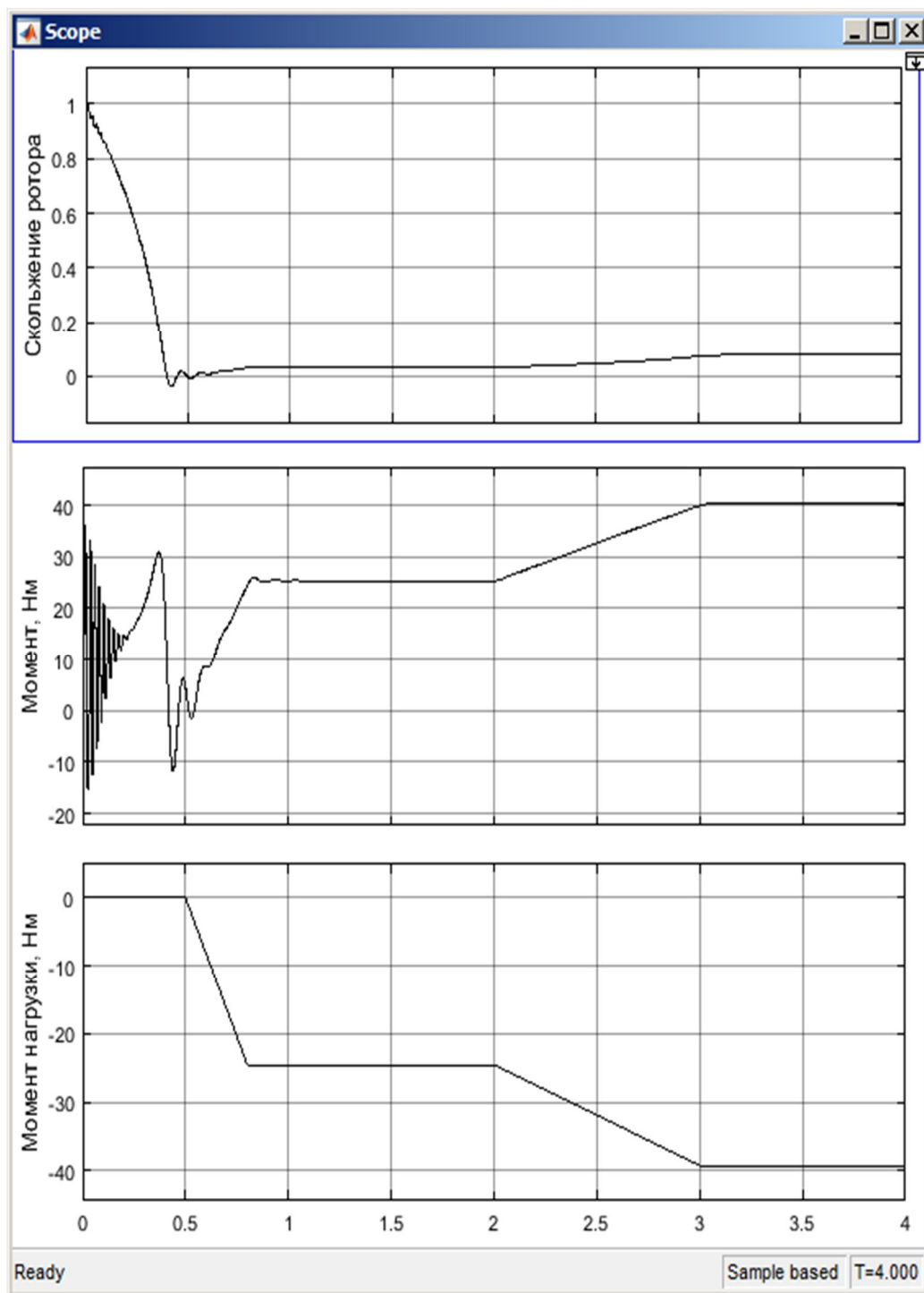


Рис. 3. Скольжение ротора и электромагнитный момент двигателя при различной нагрузке

В случае, когда параметры схемы замещения неизвестны, можно попытаться их определить, используя разные методики. Рассмотрим три наиболее известные: первая приведена в работе В.Б. Терехина [11], вторая – в работе С.Г. Герман-Галкина [7], третья – в работе Ю.А. Мощинского [10].

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 приведены результаты расчёта параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя 4A112M2Y3 по трём методикам, а на рисунке 4 – зависимости вращающего момента от скольжения ротора, построенные по параметрам из таблицы 1. В таблице 2 представлены основные значения зависимостей, показанных на рисунке 4. На них видно, что наиболее близкой к каталожной кривой является зависимость, построенная по параметрам, полученным по третьей методике, приведённой в работе Ю.А. Мощинского [10].

Таблица 1. Результаты расчёта параметров схемы замещения (Ом)

Источник	R_1	X_1	R_2	X_2	X_m
Каталожные параметры	0,766	0,958	0,466	2,330	61,575
Первая методика	0,396	0,894	0,472	0,894	55,760
Вторая методика	1,147	0,489	0,311	0,489	31,070
Третья методика	0,628	1,500	0,390	2,057	128,190

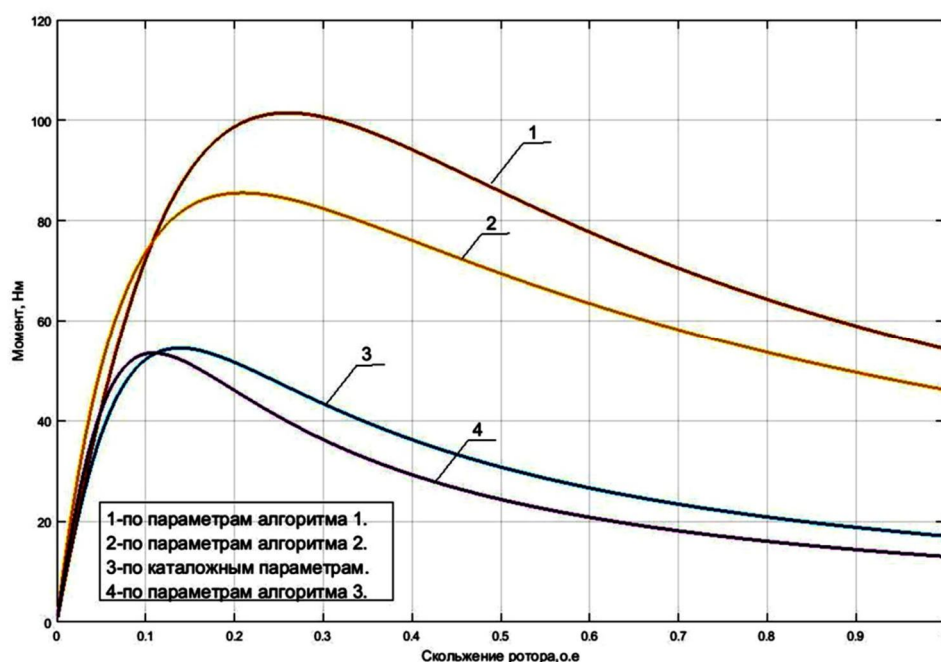


Рис. 4. Зависимости вращающего момента от скольжения ротора, построенные по параметрам, представленным в таблице 1

Таблица 2. Значения номинального и максимального моментов и скольжения ротора

Источник	Номинальный момент M_n , Н·м	Номинальное скольжение s_n	Максимальный момент M_m , Н·м	Критическое скольжение s_k
Каталожные значения	24,511	0,026	53,9	0,108
По каталожным данным схемы замещения	24,5	0,029	54,46	0,139
Первая методика	24,5	0,028	101,5	0,26
Вторая методика	24,5	0,0195	85,52	0,209
Третья методика	24,5	0,024	52,8	0,092

Учитывая, что все рекомендуемые методики определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя основаны на ряде допущений и носят субъективный характер, то для получения более адекватных каталожным данным зависимостей вращающего момента от скольжения ротора предлагаем следующую методику определения этих параметров.

Вначале по каталожным данным по третьей методике [10] в качестве начального приближения определяются параметры схемы замещения асинхронного электродвигателя.

Далее, используя каталожные значения номинального момента M_n , номинального скольжения s_n , максимального момента M_m и критического скольжения s_m , подбираем значения активных R_1 , R_2 и индуктивных X_1 , X_2 , X_m сопротивлений путём минимизации следующей целевой функции:

$$F = \alpha_1 [M_n - M(s_n)]^2 + \alpha_2 (M_m - M_k)^2 + \alpha_3 (s_m - s_k)^2, \quad (1)$$

где α_1 , α_2 , α_3 – весовые коэффициенты;

$M(s_n)$ – вычисленное значение момента при номинальном скольжении s_n для текущих значений параметров, Н·м;

M_k – вычисленное значение максимального момента для текущих значений параметров, Н·м;

s_k – вычисленное значение критического скольжения для текущих значений параметров.

$$M(s_n) = \frac{3pU_n^2 R_2}{2\pi f s_n \left[\left(R_1 + \frac{cR_2}{s_n} \right)^2 + (X_1 + cX_2)^2 \right]}; \quad (2)$$

$$M_k = \frac{3pU_n^2}{4\pi f c \left(R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + cX_2)^2} \right)}; \quad (3)$$

$$s_k = \frac{cR_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + cX_2)^2}}; \quad (4)$$

$$c = \left| 1 + \frac{Z_1}{Z_m} \right|, \quad (5)$$

где f – частота питающего напряжения, Гц;

Z_1 и Z_m – полные сопротивления обмотки статора и ветви намагничивания Т-образной схемы замещения, Ом.

Минимизация целевой функции (1) с помощью программы fminunc пакета программ MATLAB позволила получить параметры схемы замещения асинхронной машины, очень близкие к каталожным. Результаты оптимизации приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты поиска оптимальных параметров

Источник	R_1	X_1	R_2	X_2	X_m
Каталожные параметры	0,766	0,958	0,466	2,33	61,575
Третья методика	0,628	1,500	0,390	2,057	128,190
Оптимальные параметры	0,754	1,010	0,440	2,270	62,372

На рисунке 5 приведены зависимости вращающего момента от скольжения ротора, полученные по каталожным параметрам и по оптимальным параметрам из таблицы 3.

Зависимость вращающего момента от скольжения ротора, рассчитанная по оптимизированным данным, практически совпадает с каталожной.

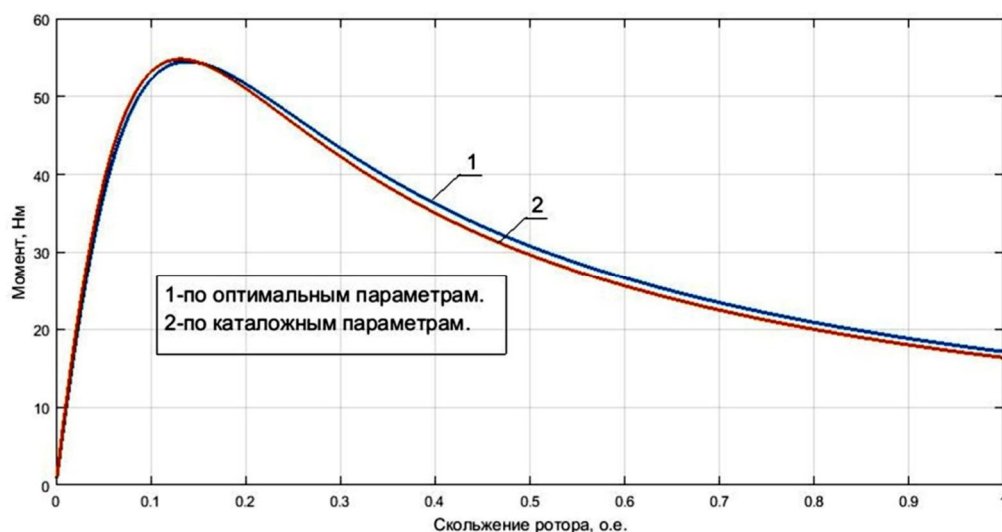


Рис. 5. Зависимости вращающего момента от скольжения ротора, полученные по каталожным данным и по оптимальным параметрам из таблицы 3

Результаты исследования динамической модели двигателя с оптимальными параметрами приведены на рисунке 6.

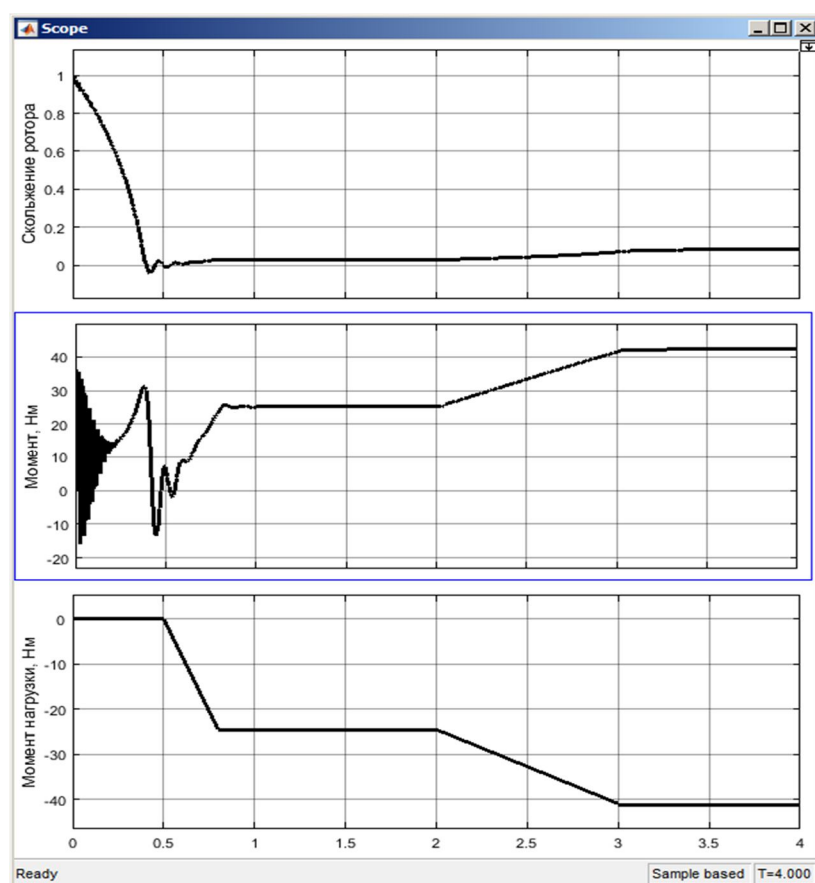


Рис. 6. Результаты исследования динамической модели двигателя с оптимальными параметрами

Предложенная методика, позволяющая получить адекватные параметры схемы замещения асинхронного электродвигателя, может быть использована при разработке

энергосберегающих частотно управляемых асинхронных электроприводов [4, 5, 15], совершенствовании конструкций асинхронных электродвигателей [6, 12].

Выводы

1. При построении динамической модели асинхронного электропривода возникает задача вычисления параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя, исходя только из его номинальных характеристик, степень адекватности которых определяется совпадением в модели статических значений зависимости электромагнитного момента двигателя от скольжения ротора со значениями этой зависимости, построенной по каталожным параметрам.

2. Расчёты параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя 4A112M2Y3, выполненные по трём известным методикам, приведённым в работах В.Б. Терехина [11], С.Г. Герман-Галкина [7] и Ю.А. Мощинского [10], показали, что получить наиболее близкие к каталожным значения позволяет методика Ю.А. Мощинского. При этом следует отметить наличие заметных отклонений значений зависимостей вращающего момента от скольжения ротора (при скольжении ротора, близком к критическому), определённых по каталожным и вычисленным параметрам.

3. Предложенная авторами методика обоснования параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя, основанная на минимизации функции квадратов отклонений каталожных значений номинального момента, максимального момента и критического скольжения от их вычисленных значений для текущих значений параметров, позволяет найти значения, очень близкие к каталожным, при практическом совпадении зависимостей вращающего момента от скольжения ротора, установленных по каталожным и вычисленным параметрам, что даёт основание рекомендовать данную методику для использования.

Библиографический список

1. Асинхронные двигатели серии 4А : справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Со-
боленская. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 503 с.
2. Афоничев Д.Н. Информационные системы в электроэнергетике : учеб. пособие / Д.Н. Афони-
чев, С.Н. Пилияев. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – 234 с.
3. Афоничев Д.Н. Математическая модель управляемого асинхронного электродвигателя / Д.Н.
Афоничев, С.Н. Пилияев, М.А. Степин // Повышение эффективности использования мобильных энергетиче-
ских средств в различных режимах движения : матер. международной науч.-практ. конф., посвященной
115-й годовщине со дня рождения профессора Харитончика Е.М. (Россия, г. Воронеж, 6 апреля 2017 г.). –
Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – Ч. 2. – С. 10–15.
4. Афоничев Д.Н. Повышение энергоэффективности систем сельскохозяйственного электроснаб-
жения средствами электропривода / Д.Н. Афоничев, С.Н. Пилияев, Н.Э. Шубин // Актуальные направления
научных исследований для эффективного развития АПК : матер. международной науч.-практ. конф. (Рос-
сия, г. Воронеж, 27 марта 2020 г.). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – Ч. 2. – С. 209–214.
5. Васильев Б.Ю. Электропривод. Энергетика электропривода : учебник / Б.Ю. Васильев. – Москва :
СОЛОН-Пресс, 2015. – 268 с.
6. Вольдек А.И. Электрические машины. Машины переменного тока : учебник для вузов / А.И. Воль-
дек, В.В. Попов. – Санкт-Петербург : Питер, 2010. – 350 с.
7. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК : учеб. пособие
для вузов / С.Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург : КОРОНА Век, 2008. – 368 с.
8. Епифанов А.П. Электропривод : учеб. пособие / А.П. Епифанов, Л.М. Малайчук, А.Г. Гушинский. –
Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 392 с.
9. Калачев Ю.Н. SimInTech: моделирование в электроприводе : инструкция по пониманию / Ю.Н.
Калачев. – Москва : ДМК-Пресс, 2019. – 95 с.
10. Мощинский Ю.А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по катало-
жным данным / Ю.А. Мощинский, В.Я. Беспалов, А.А. Кирякин // Электричество. – 1998. – № 4. – С. 38–42.
11. Терёхин В.Б. Компьютерное моделирование систем электропривода в Simulink : учеб. пособие
для СПО / В.Б. Терёхин, Ю.Н. Дементьев. – Москва : Изд-во Юрайт, 2018. – 306 с.
12. Филонов С.А. Поиск рациональных конструкций и моделирование асинхронных двигателей с
массивным зубчатым ротором : монография / С.А. Филонов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ,
2019. – 120 с.
13. Фролов Ю.М. Регулируемый асинхронный электропривод : учеб. пособие / Ю.М. Фролов, В.П.
Шелякин. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 464 с.
14. Электропривод типовых производственных механизмов : учеб. пособие для академического ба-
калавриата / Ю.Н. Дементьев, В.М. Завьялов, Н.В. Кояин, Л.С. Удуд. – Москва : Изд-во Юрайт, 2019. – 403 с.
15. Эрк А.Ф. Методы энергосбережения и повышения энергоэффективности сельскохозяйственного
производства / А.Ф. Эрк, В.Н. Судаченко // Технологии и технические средства механизированного произ-
водства продукции растениеводства и животноводства. – 2015. – № 87. – С. 233–239.
16. Lyshevski S.E. Electromechanical systems and devices / S.E. Lyshevski. – 1st edition. – US: CRC
Press, Taylor & Francis Group, 2008. – 584 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Сергей Николаевич Пилияев – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и авто-
матики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»,
Россия, г. Воронеж, e-mail: pilyaevs@mail.ru.

Дмитрий Николаевич Афоничев – доктор технических наук, зав. кафедрой электротехники и авто-
матики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия,
г. Воронеж, e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 18.11.2020

Дата принятия к печати 24.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Sergey N. Pilyaev, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and
Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail:
pilyaevs@mail.ru.

Dmitriy N. Afonichev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Electrical Engi-
neering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia,
Voronezh, e-mail: dmafonichev@yandex.ru.

Received November 18, 2020

Accepted after revision December 24, 2020

РАСЧЁТ ЦЕПИ ФАЗА – НУЛЕВОЙ ПРОВОД СЕЛЬСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,38 кВ

Павел Олегович Гуков

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Расчёт электрической сети 0,38 кВ относится к категории самых сложных задач по определению параметров режимов сетей. Сельские электрические сети 0,38 кВ представляют собой совокупность линий с одно-торонним питанием. При составлении схем замещения таких линий необходимо учитывать разветвлённый характер и наличие неполнофазных участков, к которым относятся двухфазные и однофазные ответвления. Ещё одной отличительной особенностью рассматриваемых сетей является несимметрия нормальных режимов из-за разной нагрузки фаз. Поэтому в расчёте нельзя ограничиться рассмотрением только одной фазы и использовать расчётные выражения для симметричных режимов. Показано применение метода контурных токов и метода узловых потенциалов для расчёта цепи фазы – нулевой провод как основного элемента конфигурации линии 0,38 кВ. В схему замещения петли внесены в соответствии с требованиями ПУЭ повторные заземления. Наличие последних учитывается введением контуров, включающих участки нулевого провода и повторные заземлители. Контуров головного участка линии включают сопротивления трансформатора, приведённые к низкой стороне, и сопротивление заземляющего устройства нейтрали трансформатора. При составлении узловых уравнений за узел с нулевым потенциалом принимается нейтраль обмотки низкого напряжения трансформатора. Для рассматриваемого в работе примера однофазной цепи результаты, полученные двумя методами, полностью совпадают. Предложенные расчётные модели можно использовать для определения параметров однофазных ответвлений, для расчётов токов однофазных коротких замыканий и режимов участков с любым количеством фаз. Для расчёта полнофазных режимов необходимо добавить уравнения для двух других фаз в соответствующие системы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: линия электропередачи 0,38 кВ, несимметричный режим, цепь фазы – нулевой провод, метод контурных токов, метод узловых потенциалов, ток короткого замыкания.

CALCULATION OF PHASE – NEUTRAL CONDUCTOR SUPPLY SYSTEM OF 0.38 kV RURAL ELECTRIC NETWORK

Pavel O. Gukov

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Calculation of a 0.38 kV electrical network belongs to the category of the most difficult tasks for determining the parameters of network modes. Rural electric networks of 0.38 kV are a set of lines of single-end feed. When drawing up replacement schemes for such lines, it is necessary to take into account the branching pattern and the single-phase sections, which include two-phase and single-phase branches. Another distinctive feature of the networks under consideration is the asymmetry of normal modes due to different phase loads. Therefore, the calculation cannot be limited to considering only one phase and use the calculated expressions for symmetric modes. The author shows the application of mesh-current method and node-potential method for calculating the phase – neutral conductor circuit, as the main element of the 0.38 kV configuration of line. In the loop replacement circuit, double earthings were introduced in accordance with the requirements of the Regulations for Electrical Installation (National Electrical Code). The presence of double earthings is taken into account by the introduction of circuits including sections of the neutral conductor and double earthing conductors. The loops of the head section of the line include the resistances of the transformer, reduced to low voltage side, and the resistance of the earthing device of the neutral of the transformer. When drawing up the nodal equations, the neutral of the low voltage winding of the transformer is taken as a node with zero potential. For the example of a single-phase circuit considered in the work, the results obtained by the two methods completely coincide. The proposed design models can be used to determine the parameters of single-phase branches, to calculate the currents of single-phase short circuits and modes of sections with any number of phases. To calculate full-phase modes, it is necessary to add equations for the other two phases to the corresponding systems.

KEYWORDS: 0.38 kV power line, asymmetrical mode, phase – neutral conductor circuit, mesh-current method and node-potential method, short-circuit current.

Введение
Расчёт электрической сети проводится с целью определения основных режимных параметров – мощностей и напряжений в узлах. По ним определяются перетоки мощности в ветвях и потери мощности в элементах сетей. Для нормальных режимов высоковольтных сетей используются методики, расчётные выражения в которых учи-

тывают симметрию фазных напряжений и токов [5]. В этом случае схемы замещения составляются для одной фазы. Расчёт сводится к определению потерь мощности и падений напряжения на участках сети по известным выражениям [2, 10].

Наиболее сложный случай представляет сельская сеть 0,38 кВ. Схемы таких сетей имеют разветвлённую структуру с наличием однофазных и двухфазных ответвлений. Кроме того, режим сельской распределительной сети 0,38 кВ в большинстве случаев является несимметричным из-за однофазных потребителей, неравномерно распределённых по фазам [1, 6]. Перечисленные выше факторы приводят к тому, что схема замещения сети 0,38 кВ должна содержать информацию по всем фазам с учётом неполнофазных участков. Это усложняет задачу расчёта такой сети, в частности, из-за невозможности использования методик расчёта нормальных режимов высоковольтных сетей. В настоящее время известны несколько подходов к расчёту сетей 0,38 кВ, основанных, например, на методе симметричных составляющих или методе фазных координат.

Конфигурацию четырехпроводной линии 0,38 кВ можно рассматривать как совокупность цепей фаза – нулевой провод. Представляет интерес расчёт одной такой петли как участка с однофазным ответвлением или в рамках задачи расчётов токов однофазных коротких замыканий.

Методика расчёта

Рассмотрим схему однофазной цепи линии 0,38 кВ с обозначенными номерами потребителей (рис. 1). В соответствии с требованиями ПУЭ [8] в схему включены повторные заземления нулевого провода.

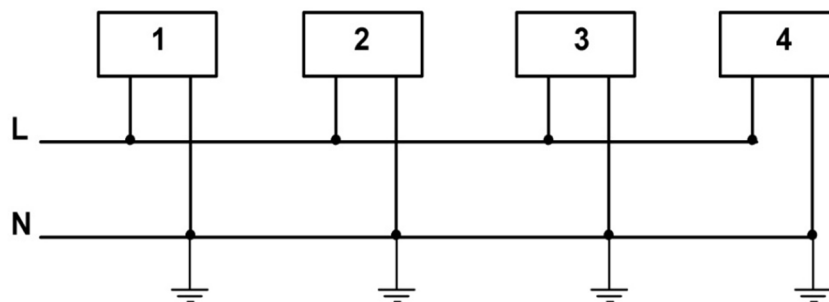


Рис. 1. Схема цепи фаза (L) – нулевой провод (N) линии 0,38 кВ

Покажем, как данную цепь можно рассчитать с помощью метода контурных токов [4, 9]. Для этого составим схему замещения, как показано на рисунке 2.

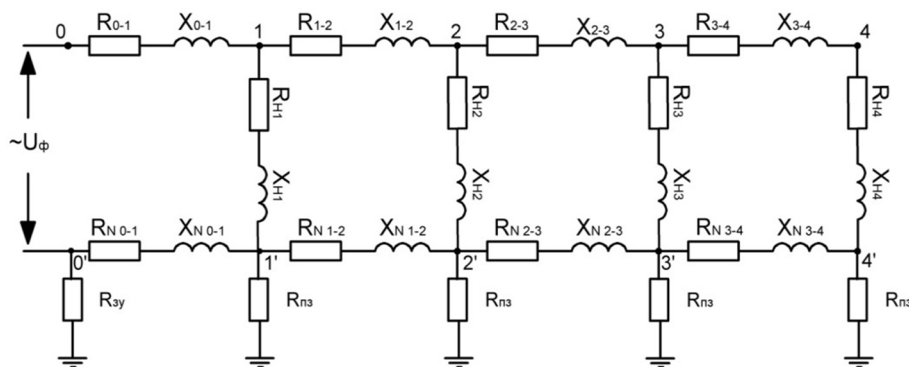


Рис. 2. Схема замещения цепи фаза – нулевой провод:

R_{i-i+1} , X_{i-i+1} и R_{Ni-i+1} , X_{Ni-i+1} – соответственно активные и реактивные сопротивления участков фазного и нейтрального (N) проводов; $R_{пз}$, $R_{зз}$ – сопротивления повторного заземлителя и заземляющего устройства подстанции 10/0,4 кВ; R_{Hi} , X_{Hi} – сопротивления нагрузки i -го потребителя

По схеме замещения получена схема для расчёта, показанная на рисунке 3. В контур с током I_{I1} включено сопротивление трансформатора $Z_{тр} = R_{тр} + jX_{тр}$, приведённое к низкой стороне. Величины $R_{тр}$ и $X_{тр}$ в числе других технических характеристик,

как правило, предоставляются заводом-изготовителем. При отсутствии данных можно использовать известные соотношения [3]:

$$R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} U^2}{S_{\text{н}}^2}; X_{\text{тр}} = \frac{u_{\text{к}} \% U^2}{100 S_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{\text{к}}$, $u_{\text{к}}\%$ – соответственно потери и напряжение короткого замыкания, $S_{\text{н}}$ и U – соответственно номинальные мощность и напряжение трансформатора 10/0,4 кВ.

Выбраны направления контурных токов. Для составления системы уравнений определим собственные сопротивления контуров:

$$\begin{aligned} Z_{11} &= Z_{\text{H1}} + Z_{\text{тр}} + Z_{0-1} + Z_{\text{N0-1}}; \\ Z_{22} &= Z_{\text{N1-2}} + Z_{1-2} + Z_{\text{H2}} + Z_{\text{H1}}; \\ Z_{33} &= Z_{\text{N2-3}} + Z_{2-3} + Z_{\text{H3}} + Z_{\text{H2}}; \\ Z_{44} &= Z_{\text{N3-4}} + Z_{3-4} + Z_{\text{H4}} + Z_{\text{H3}}; \\ Z_{55} &= 2R_{\text{пз}} + Z_{\text{N3-4}}; \\ Z_{66} &= 2R_{\text{пз}} + Z_{\text{N2-3}}; \\ Z_{77} &= 2R_{\text{пз}} + Z_{\text{N1-2}}; \\ Z_{88} &= R_{\text{пз}} + Z_{\text{N0-1}} + R_{\text{зв}}. \end{aligned}$$

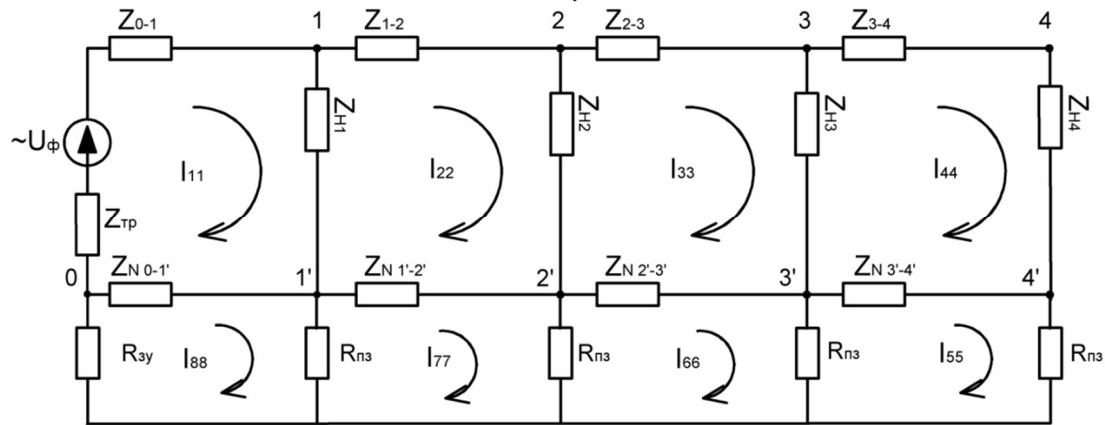


Рис. 3. Схема для расчёта методом контурных токов

В соответствии с конфигурацией схемы и выбранными направлениями составляем систему:

$$\begin{cases} I_{11}Z_{11} - I_{22}Z_{\text{H1}} - I_{88}Z_{\text{N0-1}} = U_{\phi}; \\ -I_{11}Z_{\text{H1}} + I_{22}Z_{22} - I_{33}Z_{\text{H2}} - I_{77}Z_{\text{N1-2}} = 0; \\ -I_{22}Z_{\text{H2}} + I_{33}Z_{33} - I_{44}Z_{\text{H3}} - I_{66}Z_{\text{N2-3}} = 0; \\ -I_{33}Z_{\text{H3}} + I_{44}Z_{44} - I_{55}Z_{\text{N3-4}} = 0; \\ -I_{44}Z_{\text{N3-4}} + I_{55}Z_{55} - I_{66}R_{\text{пз}} = 0; \\ -I_{33}Z_{\text{N2-3}} - I_{55}R_{\text{пз}} + I_{66}Z_{66} - I_{77}R_{\text{пз}} = 0; \\ -I_{22}Z_{\text{N1-2}} - I_{66}R_{\text{пз}} + I_{77}Z_{77} - I_{88}R_{\text{пз}} = 0; \\ -I_{11}Z_{\text{N0-1}} - I_{77}R_{\text{пз}} + I_{88}Z_{88} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Для решения системы (2) составим матрицу сопротивлений Z и столбец свободных членов S :

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & -Z_{\text{H1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -Z_{\text{N0-1}} \\ -Z_{\text{H1}} & Z_{22} & -Z_{\text{H2}} & 0 & 0 & 0 & -Z_{\text{N1-2}} & 0 \\ 0 & -Z_{\text{H2}} & Z_{33} & -Z_{\text{H3}} & 0 & -Z_{\text{N2-3}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -Z_{\text{H3}} & Z_{44} & -Z_{\text{N3-4}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -Z_{\text{N3-4}} & Z_{55} & -R_{\text{пз}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -Z_{\text{N2-3}} & 0 & -R_{\text{пз}} & Z_{66} & -R_{\text{пз}} & 0 \\ 0 & -Z_{\text{N1-2}} & 0 & 0 & 0 & -R_{\text{пз}} & Z_{77} & -R_{\text{пз}} \\ -Z_{\text{N0-1}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -R_{\text{пз}} & Z_{88} \end{bmatrix} S = \begin{bmatrix} U_{\phi} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$I = Z^{-1} \cdot S, \quad (3)$$

где I – столбец контурных токов.

1000

$$\text{II} \quad 1/\sqrt{2} = (\sqrt{2})^{-1} = 1/\sqrt{2} = 1/\sqrt{2}$$

—

[illegible]

_____ 0-1 _____ 0-1

Тогда система узловых уравнений для рассматриваемой цепи (рис. 3) имеет вид:

$$\begin{cases} \varphi_1 \underline{Y}_1 - \varphi_2 \underline{Y}_{1-2} - \varphi_7 \underline{Y}_{1-7} = U_{\varphi} \underline{Y}_{0-1}; \\ -\varphi_1 \underline{Y}_{1-2} + \varphi_2 \underline{Y}_2 - \varphi_3 \underline{Y}_{2-3} - \varphi_6 \underline{Y}_{2-6} = 0; \\ -\varphi_2 \underline{Y}_{2-3} + \varphi_3 \underline{Y}_3 - \varphi_4 \underline{Y}_{3-4} - \varphi_5 \underline{Y}_{3-5} = 0; \\ -\varphi_3 \underline{Y}_{3-4} + \varphi_4 \underline{Y}_4 - \varphi_5 \underline{Y}_{5-4} - \varphi_8 \underline{Y}_{4-8} = 0; \\ -\varphi_3 \underline{Y}_{3-5} - \varphi_4 \underline{Y}_{5-4} + \varphi_5 \underline{Y}_5 - \varphi_6 \underline{Y}_{6-5} - \varphi_8 \underline{Y}_{5-8} = 0; \\ -\varphi_2 \underline{Y}_{2-6} - \varphi_5 \underline{Y}_{6-5} + \varphi_6 \underline{Y}_6 - \varphi_7 \underline{Y}_{7-6} - \varphi_8 \underline{Y}_{6-8} = 0; \\ -\varphi_1 \underline{Y}_{1-7} - \varphi_6 \underline{Y}_{7-6} + \varphi_7 \underline{Y}_7 - \varphi_8 \underline{Y}_{7-8} = 0; \\ -\varphi_4 \underline{Y}_{4-8} - \varphi_5 \underline{Y}_{5-8} - \varphi_6 \underline{Y}_{6-8} - \varphi_7 \underline{Y}_{7-8} + \varphi_8 \underline{Y}_8 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Решение системы (4) проводится аналогично методу контурных токов путём составления соответствующего матричного уравнения.

Токи на участках рассчитываются по закону Ома:

$$I_{01} = (\varphi_0 - \varphi_1 + U_{\varphi}) \underline{Y}_{0-1};$$

$$I_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) \underline{Y}_{1-2};$$

$$I_{23} = (\varphi_2 - \varphi_3) \underline{Y}_{2-3};$$

$$I_{34} = (\varphi_3 - \varphi_4) \underline{Y}_{3-4};$$

$$I_{45} = (\varphi_4 - \varphi_5) \underline{Y}_{5-4};$$

$$I_{56} = (\varphi_5 - \varphi_6) \underline{Y}_{6-5};$$

$$I_{67} = (\varphi_6 - \varphi_7) \underline{Y}_{7-6};$$

$$I_{70} = (\varphi_7 - \varphi_0) \underline{Y}_{0-7}.$$

Результаты расчётов

Рассчитаем с помощью системы (2) токи в цепи фаза – нулевой провод. Линия выполнена самонесущим проводом с сечением фазы и нулевого провода соответственно 35 мм² и 50 мм². В таблице 1 приведены результаты расчётов сопротивлений участков.

Таблица 1. Сопротивления участков цепи

Участок	0–1	1–2	2–3	3–4	0–1'	1'–2'	2'–3'	3'–4'
Длина, км	0,15	0,21	0,18	0,11	0,15	0,21	0,18	0,11
r_0 , Ом/км	0,868	0,868	0,868	0,868	0,720	0,720	0,720	0,720
x_0 , Ом/км	0,104	0,104	0,104	0,104	0,073	0,073	0,073	0,073
R , Ом	0,130	0,182	0,156	0,095	0,108	0,151	0,130	0,079
X , Ом	0,016	0,022	0,019	0,011	0,011	0,015	0,013	0,008

Параметры схем замещения нагрузок потребителей рассчитаем с помощью следующих выражений [7]:

$$R_H = U^2 \cdot \cos \varphi / S_{\text{наг}}, \quad (5)$$

$$R_H = U^2 \cdot \sin \varphi / S_{\text{наг}}. \quad (6)$$

В таблице 2 приведены исходная информация о нагрузках и результаты расчётов.

Таблица 2. Результаты расчётов параметров схем замещения нагрузок

Номер потребителя	S_H , кВА	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	R_H , Ом	X_H , Ом
1	12	0,91	0,41	3,670	1,654
2	8,5	0,93	0,37	5,296	2,107
3	15,2	0,89	0,46	2,834	1,465
4	6,3	0,83	0,56	6,377	4,302

Другими необходимыми параметрами для расчётов являются следующие:

- $U_{\varphi} = 220$ В;
- $R_{3y} = 4$ Ом;
- $R_{пз} = 30$ Ом;
- $S_H = 100$ кВА;
- $Z_{тр} = 0,036 + j0,066$ Ом.

Результаты расчётов контурных токов с приведёнными выше исходными данными представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты расчётов контурных токов для цепи фаза – нулевой провод

$\underline{I}_{11}, A$	$\underline{I}_{22}, A$	$\underline{I}_{33}, A$	$\underline{I}_{44}, A$
$123,119 - j50,135$	$81,703 - j32,08$	$55,991 - j23,707$	$15,644 - j8,065$
$\underline{I}_{55}, A$	$\underline{I}_{66}, A$	$\underline{I}_{77}, A$	$\underline{I}_{88}, A$
$0,843 - j0,254$	$1,645 - j0,491$	$2,202 - j0,65$	$2,342 - j0,692$

Токи на участках цепи:

$$\underline{I}_{0-1} = \underline{I}_{11}; \underline{I}_{1-2} = \underline{I}_{22}; \underline{I}_{2-3} = \underline{I}_{33}; \underline{I}_{3-4} = \underline{I}_{44};$$

$$\underline{I}_{N3-4} = \underline{I}_{44} - \underline{I}_{55}; \underline{I}_{N2-3} = \underline{I}_{33} - \underline{I}_{66}; \underline{I}_{N1-2} = \underline{I}_{22} - \underline{I}_{77}; \underline{I}_{N0-1} = \underline{I}_{11} - \underline{I}_{88}.$$

Комплексы $\underline{I}$ и действующие значения I токов на участках приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4. Результаты расчётов токов на участках фазного провода

Номер участка	0–1	1–2	2–3	3–4
$\underline{I}, A$	$123,119 - j50,135$	$81,703 - j32,08$	$55,991 - j23,707$	$15,644 - j8,065$
I, A	132,936	87,775	60,803	17,60

Таблица 5. Результаты расчётов токов на участках нулевого провода

Номер участка	0–1'	1'–2'	2'–3	3'–4'
$\underline{I}, A$	$120,777 - j49,444$	$79,501 - j31,429$	$54,346 - j23,216$	$14,801 - j7,811$
I, A	130,506	85,488	59,097	16,735

Рассматриваемая цепь фаза – нулевой провод с теми же исходными данными была рассчитана методом узловых потенциалов [4]. В таблице 6 представлены результаты расчётов комплексов и действующих значений токов с использованием системы (4).

Таблица 6. Результаты расчёта токов на участках цепи фаза – нулевой провод методом узловых потенциалов

Участок	I, A	I, A
0–1	$123,119 - j50,135$	132,936
1–2	$81,703 - j32,08$	87,775
2–3	$55,991 - j23,707$	60,803
3–4	$15,644 - j8,065$	17,60
4–5	$14,801 - j7,811$	16,735
5–6	$54,346 - j23,216$	59,097
6–7	$79,501 - j31,429$	85,488
7–0	$120,777 - j49,444$	130,506

Из сравнения данных таблиц 4, 5 и 6 следует полное совпадение результатов расчётов токов двумя методами.

Модель цепи фаза – нулевой провод в методе контурных токов удобна для расчётов токов однофазных коротких замыканий (КЗ). Необходимо просто приравнять нулю сопротивление соответствующей нагрузки. В таблице 7 приведены результаты расчётов для различных точек КЗ. Показаны токи на участках фазного провода в зависимости от места КЗ.

Таблица 7. Результаты расчётов токов однофазных КЗ

Точка КЗ	I_{01}, A	I_{12}, A	I_{23}, A	I_{34}, A
Узел 1, $Z_{H1} = 0$	762,949	0,551	0,447	0,141
Узел 2, $Z_{H2} = 0$	371,264	344,140	0,236	0,083
Узел 3, $Z_{H3} = 0$	271,053	236,989	226,064	0,023
Узел 4, $Z_{H4} = 0$	239,164	202,828	188,413	179,261

Для повышения точности расчётов токов КЗ можно учесть, если это необходимо, сопротивление дуги в месте КЗ и внести в схему сопротивление трансформатора при однофазном КЗ.

Выводы

1. Предложенные модели для расчёта режима цепи фаза – нулевой провод с использованием метода контурных токов и метода узловых потенциалов позволяют учесть в схеме замещения все особенности конфигурации однофазных ответвлений, в том числе и повторные заземления, а представление нагрузки в виде сопротивлений – зависимость потребляемой мощности от напряжения в нагрузочном узле.

2. Модель с использованием метода контурных токов упрощает расчёт токов однофазных коротких замыканий путём приравнивания к нулю сопротивления в точке КЗ.

3. С помощью рассмотренной модели цепи фаза – нулевой провод можно получить схемы для двухфазных и полнофазных участков линий 0,38 кВ. Например, при использовании метода контурных токов необходимо в схему добавить контуры для других фаз, а в систему уравнений (2) – уравнения, соответствующие дополнительным контурам.

Библиографический список

1. Будзко И.А. Электроснабжение сельского хозяйства : учебник / И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукмаков. – Москва : Колос, 2000. – 534 с.
2. Веников В.А. Электрические системы. Электрические сети : учебник / В.А. Веников, В.А. Строев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1998. – 256 с.
3. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – 2-е изд. – Ростов на Дону : Феникс, 2008. – 716 с.
4. Гуков П.О. Теоретические основы электротехники: примеры решения типовых задач : учеб. пособие / П.О. Гуков, В.В. Картавцев, С.Н. Пиляев. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет, 2004. – 170 с.
5. Картавцев В.В. Метод расчёта режима распределительной электрической сети / В.В. Картавцев, П.О. Гуков, Ю.М. Помогаев // Научное обозрение. – 2016. – № 10. – С. 98–104.
6. Лещинская Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства : учебник / Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов. – Москва : КолосС, 2008. – 654 с.
7. Лыкин А.И. Электрические системы и сети : учеб. пособие / А.И. Лыкин. – Москва : Логос, 2008. – 253 с.
8. Правила устройства электроустановок: все действующие разделы и главы шестого и седьмого изданий : официальные тексты по состоянию на 01.03.2007 г. ; ред. А.М. Меламед. – Москва : ЭНАС, 2019. – 669 с.
9. Hambley A.R. Electrical Engineering. Principles and Applications : For undergraduate introductory or survey courses in electrical engineering. 5th edition / A.R. Hambley. – Prentice Hall, 2010. – 912 p.
10. Power System Fundamentals / P. Ponce, A. Molina, O. Mata, et al. – CRC Press Taylor & Francis Group, 2018. – 447 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Принадлежность к организации

Павел Олегович Гуков – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: guckow.pav@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 12.10.2020

Дата принятия к печати 28.11.2020

AUTHOR CREDENTIALS

Affiliations

Pavel O. Gukov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: guckow.pav@yandex.ru.

Received October 12, 2020

Accepted after revision November 28, 2020

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

**Дмитрий Николаевич Афоничев
Роман Михайлович Панов
Сергей Александрович Филонов**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Моментометры эксплуатируются в неблагоприятных производственных условиях, при этом они находятся на определённых расстояниях до вторичных приборов, автоматических устройств управления, вследствие чего возникают помехи. При исследовании электроприводов расстояние передачи сигналов составляет несколько метров, а при исследовании ветрогенераторов – несколько сотен метров. Разработан микропроцессорный моментометр, включающий следующие элементы, установленные в корпусе: датчик, состоящий из четырёх тензорезисторов, соединённых в измерительный мост, и измерительного усилителя; микроконтроллер AVR со стабилизатором напряжения и фильтром от высокочастотных помех; источник питания. Прибор оснащён оптическим коммуникационным устройством, осуществляющим передачу цифрового оптического сигнала и состоящим из передатчика, выполненного на инфракрасном диоде и токоограничивающем резисторе, оптического волокна и приёмника оптического сигнала. Применение оптического коммуникационного устройства обеспечивает надёжную передачу данных на SPI-дисплей и компьютер, а также комфортные условия работы персонала, так как позволяет значительно удалить устройства воспроизведения информации от объекта контроля. К выходу приёмника оптического сигнала могут быть подключены SPI-дисплей, передатчик радиосигнала HOPE-RF HM-T или конвертер (преобразователь интерфейса) для соединения с компьютером. Для измерений крутящих моментов на ветроэлектрических установках моментометр дополнительно может быть оснащён системой беспроводной передачи данных на компьютер, которая состоит из передатчика радиосигнала HOPE-RF HM-T и приёмника радиосигнала HOPE-RF HM-R, работающих на частоте 433 МГц. Расстояние передачи радиосигнала составляет 370 м. Для передачи данных с приёмника на компьютер применяется преобразователь USB-UART, который подключается к USB-порту компьютера. Регистрация и обработка данных на компьютере осуществляются посредством программного обеспечения LabVIEW (лаборатория виртуальных приборов) или SCADA-системой.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: микропроцессорный моментометр, крутящий момент, тензорезистор, микроконтроллер, оптическое волокно, цифровой сигнал, оптическое коммуникационное устройство.

IMPROVING RELIABILITY OF DATA TRANSMISSION AT TORQUE READING

**Dmitriy N. Afonichev
Roman M. Panov
Sergey A. Filonov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Torque meters perform in unfavorable operating conditions being located at certain distances from secondary devices, automatic control devices, as a result of which interference occurs. In the study of electric drives, the signal transmission distance is of several meters, and in the study of wind-powered generators is of several hundred meters. A microprocessor-controlled torque meter has been developed that includes the following elements installed in the housing: a sensor (consisting of four strain gages connected to a measuring bridge, and measuring amplifier), AVR microcontroller with voltage stabilizer and high-frequency interference filter, power supply. The device is equipped with an optical communication unit transmitting digital optical signal and consisting of a transmitter made on an infrared diode and a current-limiting resistor, an optical fiber and an optical signal receiver. The use of an optical communication device ensures reliable data transmission to the SPI display and computer, as well as comfortable working conditions for personnel, as it allows installing information playback devices at a considerable distance from the object of control. SPI display, HOPE-RF HM-T signal transmitter or a converter (interface converter) can be connected to the output of the optical signal receiver and to a computer.

The torque meter can also be equipped with a system for wireless data transmission to a computer, which can be used for measuring torques on wind electric set. Wireless data transmission consists of a HOPE-RF HM-T signal transmitter and a HOPE-RF HM-R radio receiver operating at a frequency of 433 MHz. The radio signal transmission distance is 370 m. To transfer data to the computer from the receiver, a USB-UART converter is used, which is connected to the computer USB port. Data registration and processing on the computer are performed using the LabVIEW software (virtual instrument laboratory) or a SCADA system.

KEYWORDS: microprocessor-controlled torque meter, torsion, strain gauge, microcontroller, optical fiber, digital signal, optical communication device.

Введение
Широкое разнообразие сфер применения измерений крутящего момента определило и разнообразие используемых в этих целях средств измерений, которые принято называть моментометрами, или датчиками крутящего момента [3, 5, 9, 13]. Их подразделяют на стационарные и переносные. Стационарными моментометрами называются измерительные установки, содержащие источник энергии, поглотитель энергии и измеритель крутящего момента. Переносные моментометры устанавливают в цепь передачи крутящего момента между источником и поглотителем энергии. Моментометры предоставляют возможность измерений крутящего момента как на неподвижном, так и на вращающемся валу. Стационарные моментометры для измерений на вращающемся валу подразделяются на балансирные моментометры, основанные на косвенных методах измерений, и механо-фрикционные [3, 5, 9, 13].

Балансирные моментометры преобразуют крутящий момент на вращающемся валу в реактивный момент невращающегося статора моментометра, установленного на балансирную (поворачивающуюся) платформу [3, 5, 9, 13]. На балансирную платформу также могут устанавливаться либо источник энергии (двигатель), либо поглотитель энергии, либо промежуточное звено (редуктор). Реактивный момент измеряется по принятой классификации стационарными или переносными моментометрами для измерений на неподвижном валу. В качестве поглотителей энергии используют гидравлические, аэродинамические, механические и электрические тормоза. К последним относятся порошковые тормоза, тормоза на базе электромашин постоянного и переменного тока, индукторные тормоза, основной областью применения которых является оценка механической мощности двигателей внутреннего сгорания, турбин, генераторов, электродвигателей, насосов, вентиляторов и т. д.

Принцип действия стационарных моментометров основан на измерениях следующих показателей [3, 5, 9, 13]:

- ускорения при известном моменте инерции вращающихся элементов (используют при определении крутящего момента в переходных и неустановившихся режимах);
- частоты вращения вала и электрических параметров электромашин (используют при контроле крутящего момента и механической мощности в технологических процессах и аварийной сигнализации);
- угла закручивания или напряжения металла штатных упругих элементов стационарных энергетических установок с передачей информации с вращающегося вала.

Основная область применения указанных моментометров – это контроль энергетических параметров процессов бурения, работы прокатных станов, судовых установок, сигнализация при возникновении аварийной ситуации и т. д.

Моментометры выдают результаты измерений в виде электрических сигналов, которые преобразуются в показания вторичных приборов (стрелочных или цифровых) [3, 5, 9, 13]. Моментометры эксплуатируются непосредственно на контролируемых объектах – различных валах, то есть в неблагоприятных производственных условиях [12, 15],

что обуславливает наличие определённых расстояний до вторичных приборов, автоматических устройств управления и, как следствие, возникновение помех. Необходимо отметить, что расстояние передачи сигналов зависит от исследуемых объектов. При исследовании электроприводов расстояние передачи сигналов составляет несколько метров [8, 12], а при исследовании ветрогенераторов требуется передать сигналы на расстояния в несколько сотен метров [15].

В настоящее время интенсивно развивается микропроцессорная техника [10, 11, 14], в частности, создаются различные микропроцессорные измерительные приборы, позволяющие производить обработку результатов измерений и их передачу цифровыми сигналами с использованием различных линий связи: проводных электрических, волоконно-оптических, беспроводных [1, 7]. В литературе, посвященной моментомерам, нет описания приборов, включающих микроконтроллеры и выдающих цифровые сигналы [3, 5, 9, 13].

Материалы и методы исследования

Выполнен анализ конструкций и электрических принципиальных схем моментомеров и структурных схем микропроцессорных приборов. Структура разработанного моментомера принята типичная для микропроцессорных приборов и включает датчик (чувствительные элементы и преобразователь) и микропроцессорный блок, которые размещаются в корпусе.

Конструкция корпуса состоит из двух фланцев, к которым прикрепляются валы от источника крутящего момента и от нагрузки (рис. 1).

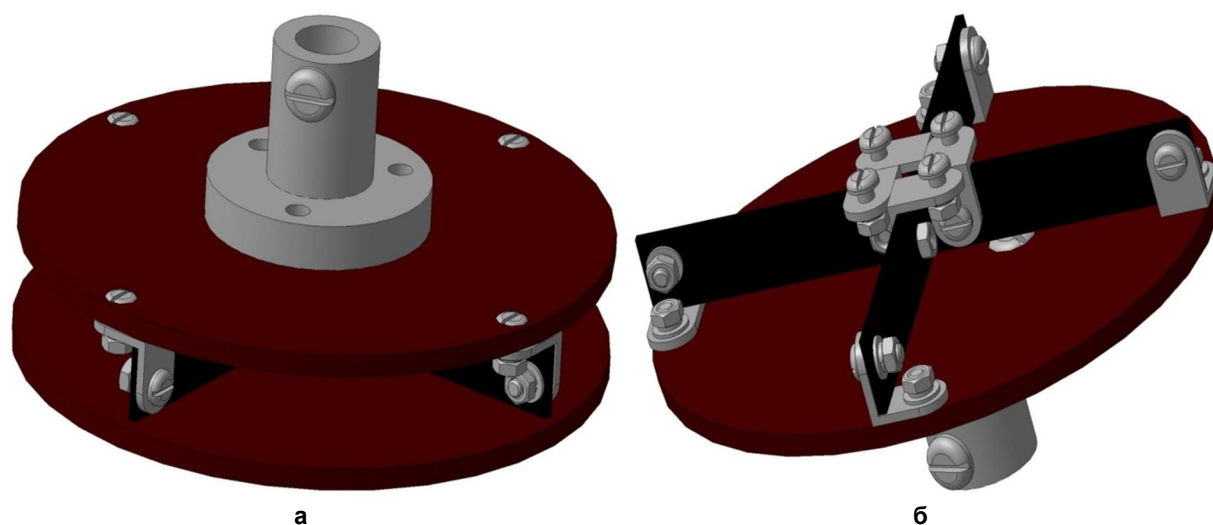


Рис. 1. Корпус датчика: а – фланец и диски; б – упругие пластины

На каждом фланце установлены диски, которые соединены между собой четырьмя упругими пластинами. Материал и толщина пластин выбираются в зависимости от максимального крутящего момента так, чтобы обеспечивалась необходимая упругость при измерениях и фиксировалась величина измеряемого момента с помощью тензорезисторов, наклеенных на этих пластинах. Между дисками размещаются элементы датчика, микроконтроллер и источник питания. На дисках закрепляется кожух, который закрывает внутренние компоненты устройства и обеспечивает защиту от попадания внутрь посторонних предметов. В качестве чувствительных элементов используются полупроводниковые тензорезисторы [2].

Результаты и их обсуждение

На рисунке 2 представлен общий вид разработанного микропроцессорного моментомера, который включает следующие элементы, установленные в корпусе:

- датчик, состоящий из четырёх тензорезисторов и измерительного усилителя;
- микроконтроллер AVR со стабилизатором напряжения и фильтром от высокочастотных помех;
- источник питания.



Рис. 2. Общий вид микропроцессорного моментомера

На рисунке 3 приведена электрическая принципиальная схема предлагаемого микропроцессорного моментомера. На схеме показаны:

- четыре тензорезистора RK1–RK4;
- источник питания GB1 (четыре аккумулятора 1,2 В);
- измерительный усилитель DA2;
- стабилизатор напряжения 5 В (DA3, C3, C4 и C5);
- фильтры от высокочастотных помех (C2 и C6);
- микроконтроллер DD1.
- оптическое коммуникационное устройство, осуществляющее передачу цифрового оптического сигнала, состоящее из передатчика, выполненного на инфракрасном диоде VD1 и токоограничивающем резисторе R3, и приёмника оптического сигнала DA1.

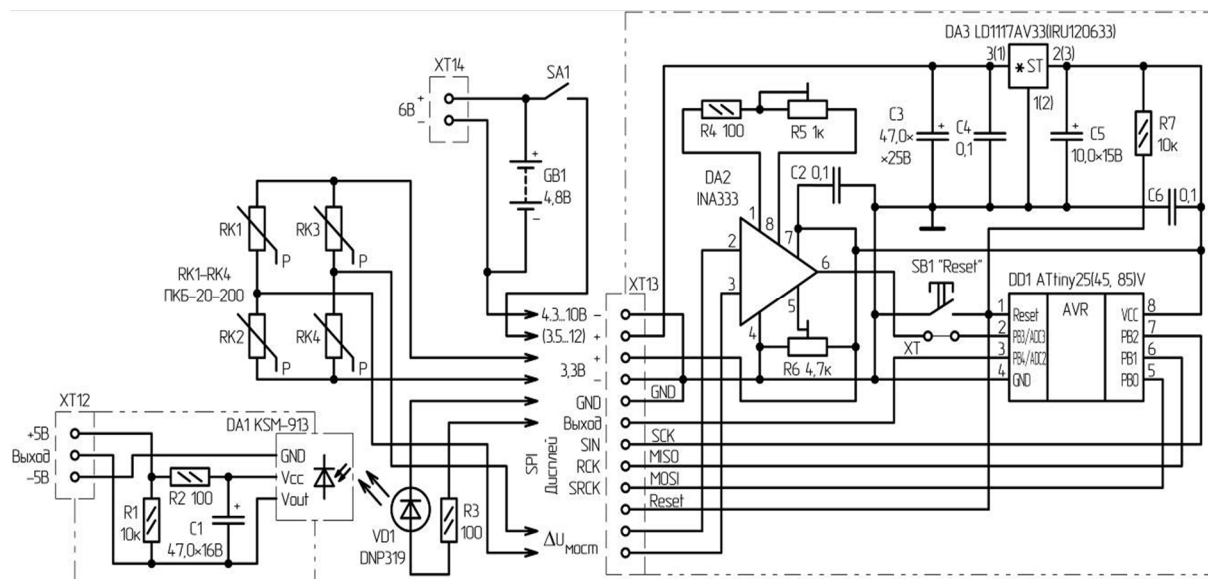


Рис. 3. Электрическая принципиальная схема микропроцессорного моментомера

Устройство работает следующим образом. С измерительного моста RK1–RK4 поступает сигнал (напряжение 0...3 мВ), который усиливается с помощью инструментального усилителя DA2 INA333 с регулируемым коэффициентом усиления (R5) и дрейфом нуля (R6). Усиленный сигнал поступает на вход аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера DD1. С помощью переключки XT можно разорвать связь между выходом усилителя DA3 и входом АЦП микроконтроллера DD1 (проверка работы усилителя и АЦП микроконтроллера). Сигнал, полученный с АЦП, имеет дискретность данных 10 бит. Далее производится обработка значений измерений в микроконтроллере по заданной программе. Полученный результат в виде цифрового сигнала поступает на вывод разъёма XT13 (выход). Разъём XT14 предназначен для подключения зарядного устройства для восполнения заряда аккумуляторов.

К выводу XT13 могут быть подключены:

- 1) SPI-дисплей для воспроизведения результатов, а также проверки, настройки, калибровки моментомера;
- 2) передатчик оптического сигнала (инфракрасный диод);
- 3) передатчик радиосигнала HOPE-RF HM-T.

Передатчик оптического сигнала (инфракрасный диод VD1) преобразует электрический сигнал, полученный от микроконтроллера DD1, в инфракрасное излучение, которое освещает оптическое волокно, свернутое в кольцо вокруг корпуса моментомера. По внешнему диаметру кольцо из оптоволокна закрывается непрозрачным кожухом. Оптоволокно направляет оптический сигнал к приёмнику DA1, принимающему сигнал посредством фотодиода, подключенному к концу оптического волокна. Приёмник DA1 преобразует оптический сигнал в электрический на выводе разъёма XT12 (выход). К выводу XT12 могут быть подключены SPI-дисплей, передатчик радиосигнала HOPE-RF HM-T или конвертер (преобразователь интерфейса) для подключения к компьютеру.

На рисунке 4 представлена структурная схема системы беспроводной передачи данных от моментомера (выводов XT13 или XT12) на компьютер. Эта система может быть применена для измерений крутящих моментов на ветроэлектрических установках [4, 15]. Она состоит из передатчика радиосигнала HOPE-RF HM-T и приёмника радио-

сигнала HOPE-RF HM-R, которые работают на частоте 433 МГц [6]. Расстояние передачи радиосигнала составляет до 370 м. Для передачи данных на компьютер с приёмника применяется преобразователь USB-UART, который подключается к USB-порту компьютера. Регистрация и обработка данных на компьютере осуществляется посредством программного обеспечения LabVIEW (лаборатория виртуальных приборов) [1] или SCADA-системой [7].

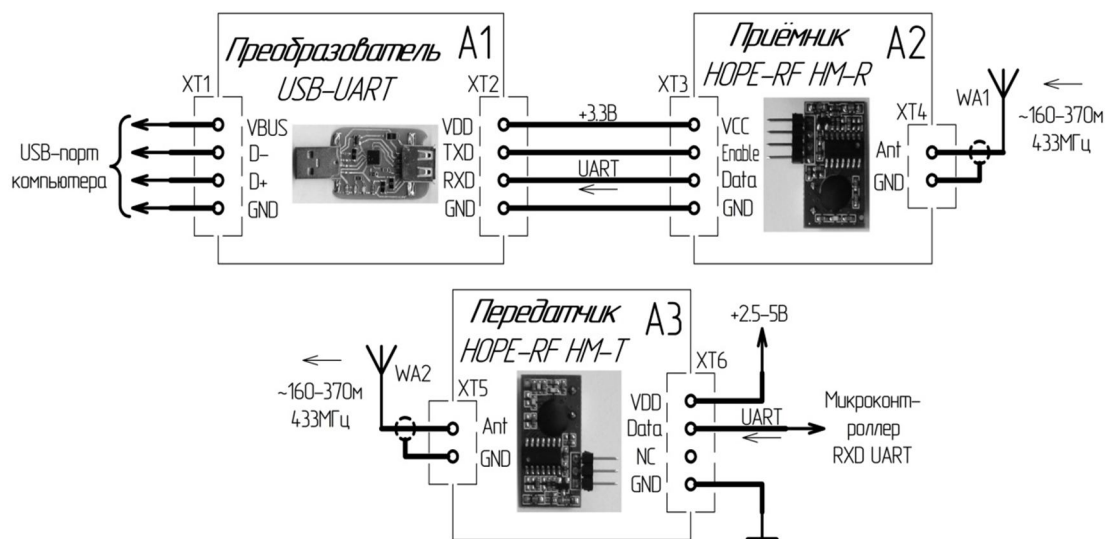


Рис. 4. Структурная схема беспроводной передачи данных с моментомера на компьютер

Вариант подключения передатчика радиосигнала HOPE-RF HM-T к выводу XT12 более предпочтительный, так как при подключении в выводу XT13 передатчик радиосигнала HOPE-RF HM-T находится во вращающемся корпусе моментомера.

Выводы

1. Предложенный микропроцессорный моментомер, выполненный на тензорезисторах и микроконтроллере AVR и оснащённый оптическим коммуникационным устройством, позволяет измерять крутящие моменты на вращающихся и неподвижных валах, обрабатывать результаты измерения и выдавать их в виде цифрового оптического сигнала, который передаётся по оптическому волокну.

2. Применение в моментомере оптического коммуникационного устройства обеспечивает надёжную передачу данных на SPI-дисплей и компьютер, а также комфортные условия работы персонала, так как позволяет значительно удалить устройства воспроизведения информации от объекта контроля.

Библиографический список

1. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 (30 лекций) / П.А. Бутырин и др. – Москва : ДМК Пресс, 2009. – 265 с.
2. Автоматика : учеб. пособие / Д.Н. Афони́чев, С.Н. Пи́ляев, М.Ю. Ере́мин и др. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 231 с.
3. Бауманн Э. Измерение сил электрическими методами / Э. Бауманн ; пер. с немецкого А.С. Вишенкова и С.Н. Герасимова ; под ред. И.И. Смыслова. – Москва : Мир, 1978. – 430 с.
4. Безруких П.П. Ветроэнергетика : справочно-методическое издание / П.П. Безруких, П.П. Безруких (мл.), С.В. Грибов ; под общ. ред. П.П. Безруких. – Москва : Теплоэнергетик, 2014. – 304 с.
5. Белов М.П. Технические средства автоматизации и управления : конспект лекций / М.П. Белов, А.Л. Ляшенко, И.А. Кучеренко. – Санкт-Петербург : СатисЪ, 2013. – 113 с.
6. Беспроводные технологии. Радиомодули HOPE-RF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wireless-e.ru/radiomoduli/hope-rf/> (дата обращения: 20.10.2020).
7. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием : монография / В.В. Денисенко. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2009. – 606 с.
8. Панов Р.М. Преобразователь частоты для питания трехфазного асинхронного электродвигателя от однофазной сети / Р.М. Панов, Н.В. Прибылова, С.А. Филонов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 1 (60). – С. 122–127.
9. Поляков С.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов : учеб. пособие / С.И. Поляков. – Воронеж : ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», 2008. – 372 с.
10. Сажнев А.М. Цифровые устройства и микропроцессоры : учеб. пособие / А.М. Сажнев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во Юрайт, 2020. – 139 с.
11. Смирнов Ю.А. Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники : учеб. пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 496 с.
12. Устройство защиты электродвигателя от неполнофазных режимов работы и перегрузки / Д.Н. Афони́чев, В.И. Калашник, Н.В. Прибылова, С.А. Филонов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4 (55). – С. 117–123.
13. Шалыгин М.Г. Автоматизация измерений, контроля и испытаний : учеб. пособие / М.Г. Шалыгин, Я.А. Вавилин. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 172 с.
14. Шаляпин В.В. Основы микропроцессорной техники / В.В. Шаляпин. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического университета, 2011. – 214 с.
15. Shepherd W. Electricity generation using wind power / W. Shepherd, L. Zhang. – London : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2017. – 288 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Дмитрий Николаевич Афони́чев – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Роман Михайлович Панов – старший преподаватель кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: panov1982@yandex.ru.

Сергей Александрович Филонов – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: filonovser@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 16.10.2020

Дата принятия к печати 28.11.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Dmitriy N. Afonichev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Roman M. Panov, Senior Lecturer, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: panov1982@yandex.ru.

Sergey A. Filonov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: filonovser@yandex.ru.

Received October 16, 2020

Accepted after revision November 28, 2020

СРАВНЕНИЕ МОНОПОЛЬНОГО И ДИПОЛЬНОГО СПОСОБА ШУМОПОДАВЛЕНИЯ

**Олег Иванович Поливаев
Алексей Николаевич Кузнецов
Дмитрий Юрьевич Терехов
Виктор Васильевич Труфанов**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Снижение уровней шума на рабочем месте операторов мобильных энергетических средств является весьма актуальной задачей современного машиностроения. В настоящее время для выполнения требований санитарных норм производители автотракторной техники используют пассивные способы снижения шума. Ввиду особых характеристик подобных средств защиты их применение приводит к ухудшению эксплуатационных показателей техники и росту её себестоимости. Использование систем активного шумоподавления является наиболее перспективным способом снижения уровней внутренних звуковых полей в кабинах мобильных энергетических средств (МЭС) и других транспортных средств. Представлен анализ двух способов активного шумоподавления: с применением монопольного и дипольного источника антивоздуха (ИАЗ). Также проводится сравнение эффективности снижения амплитуд сигнала исходного шума и характера остаточного сигнала для данных способов. Испытания проводились на специально созданной лабораторной установке на кафедре сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ВГАУ. Выявлено, что конструкция системы активного шумоподавления с применением монопольного источника способна снизить амплитуду исходного звукового сигнала в 10 раз – с 7,5 до 0,75 мВ, но при этом образуются отражённые вторичные волны, что приводит к увеличению на 50% амплитуды сигнала в звуковом канале до источника антивоздуха и искажению звукового сигнала в этой зоне. Использование дипольной конструкции позволяет снизить амплитуду исходного звукового сигнала в 30 раз – с 7,5 до 0,24 мВ. При этом искажения и усиления исходного сигнала в зоне между источником шума и ИАЗ не наблюдается. Согласно полученным данным уровень звука остаточного шума при использовании системы активного шумоподавления с дипольной конструкцией ИАЗ на 68% ниже, чем при применении монопольного ИАЗ, что делает её более предпочтительной для использования в кабине МЭС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: шум, активное шумоподавление, монопольный источник, дипольный источник, мобильные энергетические средства.

COMPARISON OF MONOPOLE AND DIPOLE NOISE REDUCTION METHODS

**Oleg I. Polivaev
Alexey N. Kuznetsov
Dmitriy Yu. Terekhov
Viktor V. Trufanov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Technical solutions for noise level reduction in the cabin of mobile energy vehicles (MEV) are still relevant for modern engineering industry. Currently, tractor manufacturers use a passive noise control system in order to comply with sanitary standards. Due to the specific characteristics of such means of protection, their use leads to deterioration in performance and an increase in the cost of equipment. The use of active noise control system is the most promising way to reduce the levels of internal sound fields in the cabins of tractors and other vehicles. The authors look at two methods of active noise cancellation, i.e. using monopole and dipole source of antisound (SAS). The efficiency of reducing the signal amplitudes of the initial noise and the nature of the residual signal for both methods are also compared. Experiments were carried out on a specially created laboratory facility at the Department of Agricultural Machinery, Tractors and Cars of Voronezh SAU. According to the tests, the design of an active noise control system using a monopole SAS can reduce the amplitude of the original sound signal by 10 times from 7.5 to 0.75 mV. However, this method poses a problem of reflected secondary waves which leads to an increase in the signal amplitude in the audio channel to the antisound source by 50% and distortion of the

audio signal in this area. The dipole design reduces the amplitude of the original audio signal by 30 times from 7.5 to 0.24 mV. In this case, distortion and amplification of the original signal in the area between the noise source and SAS are not observed. According to the data, the sound level of residual noise when using an active noise control system with a dipole SAS is 68% lower than when using a monopole SAS, which makes it preferable for use in tractor cabin of MEV.

KEYWORDS: noise, active noise reduction, monopole source, dipole source, mobile energy vehicles (MEV).

Введение

Одной из важнейших задач современного машиностроения является сохранение на постоянном уровне производительности труда и здоровья операторов новых образцов мобильных энергетических средств (МЭС). Единственным способом решения данной задачи является обеспечение комфортных условий эксплуатации автотракторной техники для надлежащей защиты операторов от негативного воздействия внешней среды.

Уровни звука и вибрации на рабочем месте относятся к наиболее значимым факторам комфортабельности труда. Согласно исследованиям многих авторов уровень шума в кабине оператора сельскохозяйственных тракторов зачастую превышает допустимые нормы, что негативно сказывается на производительности труда, качестве выполняемой оператором работы, а также значительно увеличивает риск возникновения профессионального заболевания – нейрогуморальной тугоухости [9].

Широко используемые в современных мобильных энергетических средствах стандартные способы снижения шума зачастую оказываются неспособными обеспечить приемлемый уровень акустического комфорта в кабинах МЭС. Эффективность данных пассивных средств напрямую зависит от их массово габаритных параметров, из-за чего попытка снижения уровней звука в кабине трактора до требований санитарных норм может приводить к значительному удорожанию опытного образца техники, а также ухудшению его тягово-скоростных и топливно-экономических свойств. В результате все положительные стороны новой комфортабельной техники могут быть полностью нивелированы повышением цены и падением эксплуатационных показателей её применения [2, 4].

Поэтому в настоящее время появилась необходимость поиска новых технологий для снижения уровней звука в кабине, которые будут эффективно справляться со своей задачей и не оказывать значительного влияния на эксплуатационные свойства и себестоимость МЭС.

Одной из наиболее перспективных идей является снижение звуковых полей с помощью систем активного шумоподавления (САШ). Согласно проведённым исследованиям эффективность подобных систем в снижении низкочастотного шума может достигать 50 дБ.

Простейшая система активного шумоподавления состоит из 4 основных элементов – блока управления (БУ), входного и выходного микрофонов и источника антизвука (ИАЗ) [11].

Входной микрофон фиксирует сигнал исходного шума и передаёт его в электронный блок управления (ЭБУ), который изменяет фазу входного сигнала на противоположную с сохранением амплитуды. Преобразованный сигнал поступает на ИАЗ, генерирующий обратную звуковую волну. В некоторой зоне вблизи выходного микрофона происходит взаимное наложение сигналов исходного шума и сгенерированного ИАЗ. При этом уровень шума снижается или наблюдается полное его гашение. Выходной микрофон устанавливается в зоне предполагаемой тишины для контроля и корректировки сигнала, подаваемого на ИАЗ [1].

В системах активной компенсации применяются монопольные (однаправленный громкоговоритель), дипольные (диполь Свинбенкса) и трипольные (триполь Джесселя-Мажана-Каневета) источники антизвука [3, 7].

В системе Джесселя используются три монопольных ИАЗ для создания однаправленного источника. Система такого типа способна избегать генерирования обратной

связи между микрофонами и динамиками. Также в данной системе для достижения наилучшего результата может быть увеличено количество микрофонов [3].

Система активного шумоподавления с использованием монопольного ИАЗ имеет некоторые недостатки. Звуковая волна, исходящая от ИАЗ, усиливает волну первичного источника звука, что приводит к увеличению ее амплитуды в 2 раза в зоне между источником шума и ИАЗ. Увеличение амплитуды исходного сигнала в данной зоне негативно влияет на эффективность гашения звуковых полей, а также приводит к увеличению вибраций стенок звукового канала. Для исключения подобного явления необходимо увеличить число монопольных ИАЗ.

Трипольный ИАЗ громоздок, сложен в производстве и настройке, что создаёт дополнительные трудности его применения в МЭС.

Для достижения наилучшего эффекта по снижению шума оптимальным вариантом, с нашей точки зрения, является применение дипольного ИАЗ Свинбенкса.

Взаимодействие двух монопольных ИАЗ, образующих диполь, может быть описано следующей математической моделью.

Предположим, что два источника ИАЗ находятся на расстоянии l друг от друга. Следует отметить, что в принятой системе координат первый ИАЗ находится в точке с координатой $x = 0$, а второй – $x = l$. Каждый ИАЗ управляется отдельно и имеет возможность самостоятельно генерировать сложные звуковые волны [5].

Создаваемые двумя ИАЗ прямые (+) и обратные (–) звуковые волны описываются следующими уравнениями [3, 6]:

$$\begin{aligned} I \begin{cases} P_{\text{ИАЗ}_1+}(x) = A_{\text{ИАЗ}_1} \cdot e^{-i \cdot k \cdot x}, x > 0 \\ P_{\text{ИАЗ}_1-}(x) = A_{\text{ИАЗ}_1} \cdot e^{+i \cdot k \cdot x}, x < 0 \end{cases} \\ II \begin{cases} P_{\text{ИАЗ}_2+}(x) = A_{\text{ИАЗ}_2} \cdot e^{-i \cdot k \cdot x}, x > l \\ P_{\text{ИАЗ}_2-}(x) = A_{\text{ИАЗ}_2} \cdot e^{+i \cdot k \cdot x}, x < l \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

где $A_{\text{ИАЗ}}$ – амплитуда колебаний давления, Па;

ω – угловая частота, рад/с;

k – акустическое волновое число, рад/м;

i – комплексное число, $i = \sqrt{-1}$.

Звуковые волны, создаваемые двумя ИАЗ, должны быть взаимосвязаны таким образом, чтобы их совместный сигнал оказывал влияние на исходную волну за первым ИАЗ, при этом суммарное давление, развиваемое перед ними, равнялось нулю

$$P_{\text{ИАЗ}_1-}(x) + P_{\text{ИАЗ}_2-}(x) = 0, x < 0. \quad (2)$$

Для выполнения данного условия необходимо соблюдение следующего равенства:

$$A_{\text{ИАЗ}_1} = -A_{\text{ИАЗ}_2} \cdot e^{-i \cdot k \cdot l}. \quad (3)$$

Это означает, что расположенный в позиции $x = 0$ ИАЗ должен генерировать задержанную и инвертированную копию сигнала, произведённого ИАЗ в позиции $x = l$. При обеспечении такого сдвига фаз оба эти сигнала будут образовывать нулевое давление в зоне расположения микрофона и далее за ним по звуковому каналу.

Тогда результирующее давление, генерируемое в канале за двумя ИАЗ, можно рассчитать по формуле

$$P_{\text{рез}}(x) = (A_{\text{исх}} + A_{\text{ИАЗ}_2} (e^{i \cdot k \cdot l} - e^{-i \cdot k \cdot l})) \cdot e^{ikx}, x > l. \quad (4)$$

Отсюда для полного подавления исходной волны необходимо обеспечить следующее соотношение амплитуд исходной и созданной ИАЗ звуковых волн

$$A_{\text{ИАЗ}_2} = \frac{-A_{\text{исх}}}{2 \cdot i \cdot \sin(k \cdot l)}. \quad (5)$$

Материалы проведения испытаний

В подтверждение данной теории на кафедре сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей Воронежского государственного аграрного университета была создана лабораторная установка, представленная на рисунке 1.

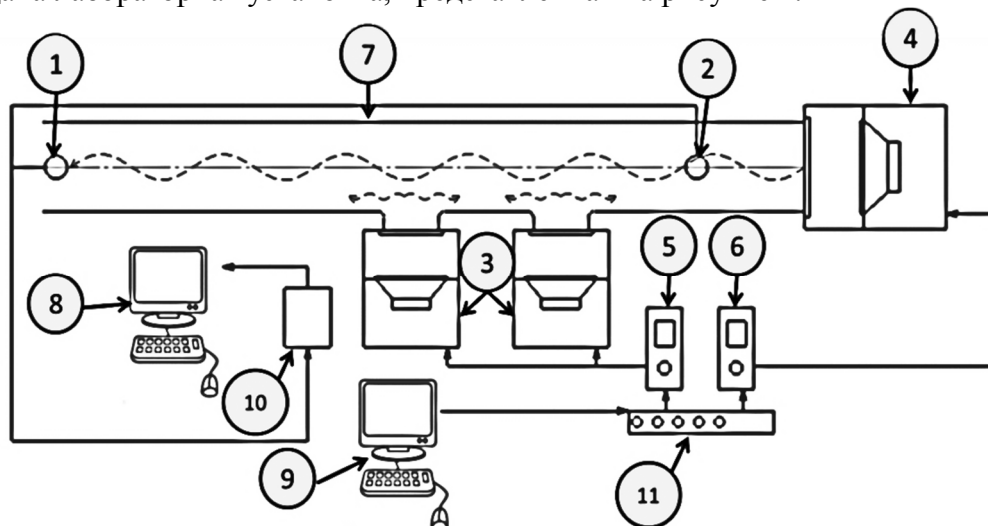


Рис. 1. Схема лабораторной установки шумоподавления с использованием дипольного ИАЗ (диполь Свинбенкса): 1 – микрофон, фиксирующий выходной сигнал; 2 – микрофон, фиксирующий шум исходного источника шума (ИИШ); 3 – ИАЗ с внутренней шумоизоляцией; 4 – ИИШ; 5 – стереоусилитель ИАЗ; 6 – стереоусилитель ИИШ; 7 – звуковой канал; 8 – компьютер, обрабатывающий сигнал от АЦП; 9 – компьютер, управляемый звуковой картой; 10 – АЦП; 11 – звуковая карта

В качестве ИИШ сигнала, а также ИАЗ использовались акустические динамики. Они были установлены в специально изготовленных шумоизолированных корпусах. Шумоизоляция была смонтирована с целью минимизации воздействия отражённых звуковых волн на исходный шумовой сигнал [7].

В качестве контролирующих устройств были выбраны ICP микрофоны ZET 501, установленные на входе и выходе звукового канала. Микрофон в начале канала считывает шум, исходящий от источника звука, сигнал которого должен быть погашен. Микрофон, установленный в конце, регистрирует выходной сигнал, полученный при взаимодействии исходной звуковой волны со звуковой волной, сгенерированной дипольным ИАЗ.

Считывание и передача аналоговых звуковых сигналов осуществляется с помощью звуковой карты M-Audio DELTA LT1010, которая способна индивидуально записывать и воспроизводить до 8 разных сигналов одновременно.

Созданный на компьютере 9 звуковой сигнал через звуковую карту 11 подаётся на усилитель ИАЗ 5 и усилитель ИИШ 6. Далее сигнал через динамики идет в звуковой канал, в котором расположены микрофоны 1 и 2. Микрофон 2 фиксирует шум от ИИШ, микрофон 1 – результирующий шум при прохождении звукового сигнала через ИАЗ. Полученные сигналы обрабатываются АЦП 10 и фиксируются компьютером 8.

Возможность воспроизведения до 8 различных сигналов позволяет объединить два вида систем активной компенсации в одном лабораторном стенде. За счёт независимости работы каждого громкоговорителя мы можем рассмотреть и сравнить эффективность систем с использованием монопольного ИАЗ и дипольного ИАЗ.

Методика проведения испытаний

1. Проводим калибровку микрофонов. Для этого микрофоны устанавливаются в одной точке и с различными по частоте звуковыми сигналами, с целью нахождения их передаточных коэффициентов.

2. Настраиваем взаимосвязь сигналов ИАЗ. Для этого необходимо выровнять по амплитуде звук, создаваемый каждым ИАЗ в районе микрофона, который расположен в звуковом канале в непосредственной близости от ИИШ.

3. Подбираем сдвиг фаз на одном из ИАЗ (рис. 2) таким образом, чтобы при их одновременной работе уровень звука в районе первого микрофона был минимален за счёт взаимного гашения в этой зоне сгенерированных звуковых волн.

4. Калибруем уровни звука, создаваемые ИАЗ и ИИШ в районе второго микрофона (в конце звукового канала). Калибровка проводится путём настроек усилителей таким образом, чтобы сигналы по амплитуде на выходе из каналов были одинаковыми.

Подбираем сдвиг фаз сигналов (рис. 3) вручную с помощью программного обеспечения компьютера. Основной задачей является подбор оптимального смещения фаз сигналов 2 и 3 – монополюсных ИАЗ, относительно друг друга и относительно сигнала 1 от ИИШ. Разность фаз необходима для минимизации уровня звука в конце звукового канала.

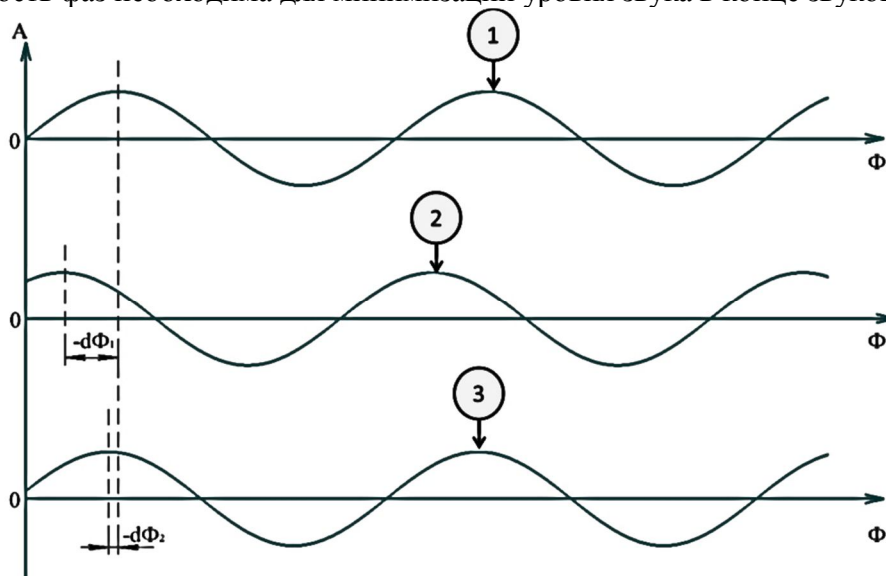


Рис. 2. Сдвиги фаз сигналов источников звука: 1 – сигнал ИИШ; 2 – сдвиг фазы сигнала первого ИАЗ; 3 – сдвиг фазы сигнала второго ИАЗ

Результаты и их обсуждение

С учётом особенностей конструкции удалось подобрать сдвиг фаз таким образом, что шум в системе с монополюсным ИАЗ снизился практически до нулевых значений амплитуд (рис. 3). В канале 1 отображён сигнал микрофона, который располагается вблизи ИИШ. В канале 2 показан сигнал с микрофона, установленного на выходе из звукового канала. На участке 0–1 наблюдается шум, который создает ИИШ при отсутствии активного гашения в начале (канал 1) и в конце звукового канала (канал 2) (рис. 4).

Участок 1–2 – плавное увеличение амплитуды сигнала, генерируемого одним ИАЗ, от минимального значения до максимального, которое задано в начале опыта. Как можно заметить, на участке 1–2 в конце звукового канала наблюдается плавное снижение амплитуды фиксируемого сигнала с 6,5 до 1 мВ, что свидетельствует о работоспособности системы активной компенсации звуковых полей с монополюсным ИАЗ. Однако, как и предполагалось, в звуковом канале между ИИШ и ИАЗ амплитуда исходного шума возросла с 6,5 до 9 мВ (участок 2–3, канал 1). Участок 3–4 – прекращение генерации ИАЗ гасящего сигнала.

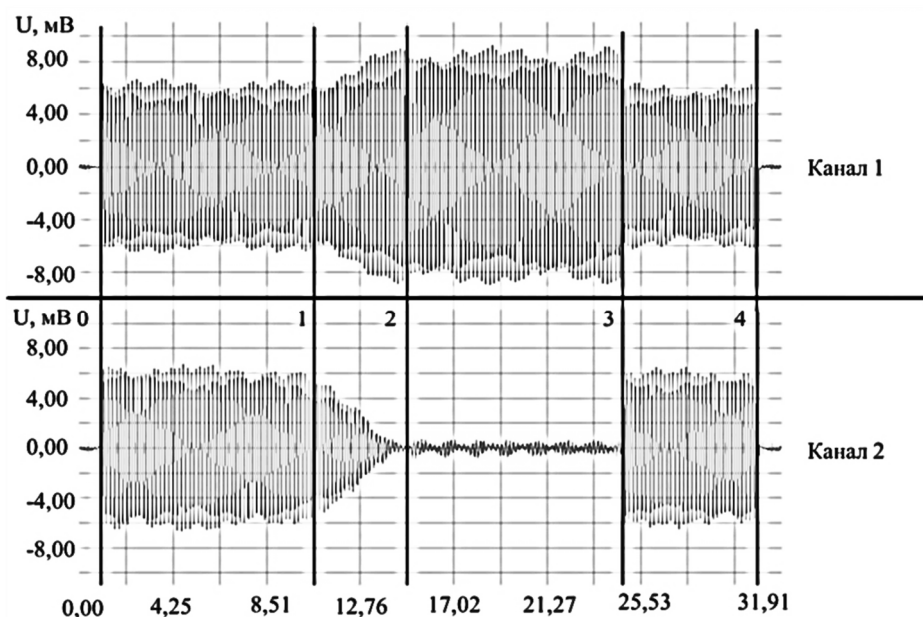


Рис. 3. Работа системы активного шумоподавления с одним ИАЗ: канал 1 – запись сигнала с микрофона, установленного в начале акустического канала, вблизи ИИШ; канал 2 – запись результирующего сигнала, установленного на выходе из акустического канала

Работа системы активного шумоподавления с дипольным ИАЗ представлена на рисунке 4. Канал 1 демонстрирует запись сигнала на выходе из звукового канала. Канал 2 регистрирует сигнал вблизи источника звука.

Участок 0–1 – сигнал ИИШ без гашения.

Участок 1–2 – сигнал, зарегистрированный микрофонами при включении одного ИАЗ.

Участок 2–3 – плавное включение второго ИАЗ.

Участок 3–4 – результирующий сигнал.

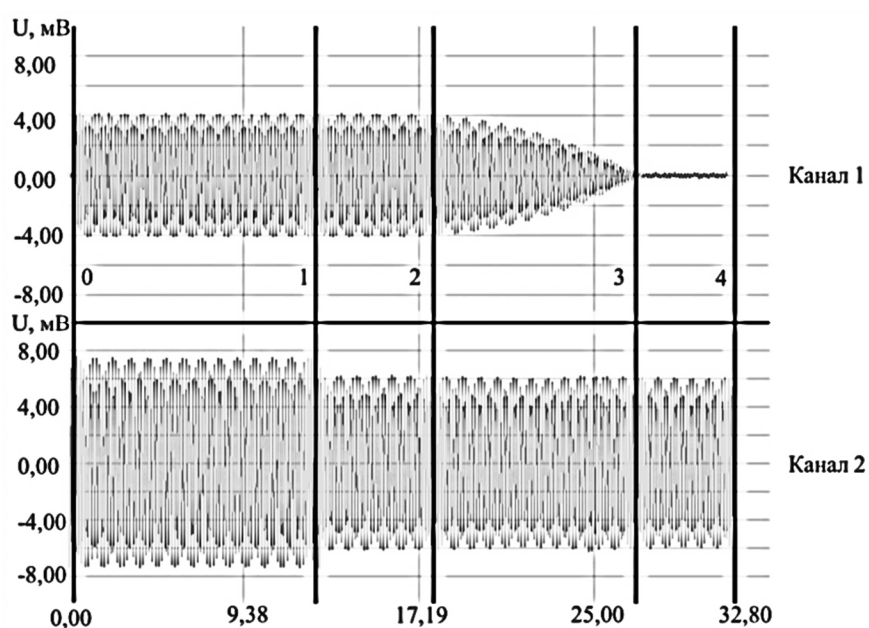


Рис. 4. Система шумоподавления с двумя ИАЗ: канал 1 – запись сигнала с микрофона, установленного в начале акустического канала, вблизи ИИШ; канал 2 – запись результирующего сигнала, установленного на выходе из акустического канала

При использовании дипольной конструкции ИАЗ в системе активной компенсации звуковых полей увеличения амплитуды исходного сигнала в звуковом канале до ИАЗ (участок 3–4, канал 2) не наблюдается. Подобный эффект характерен для систем активного шумоподавления, использующих монополярный ИАЗ (рис. 3, участок 2–3, канал 1). Применение конструкции с дипольным ИАЗ также позволяет сформировать однонаправленный источник гасящего сигнала за счёт использования двух монополярных ИАЗ, при этом наблюдается более качественное гашение: без скачков амплитуды и искажения формы результирующего сигнала (рис. 4).

Для систем активного шумоподавления с одним монополярным ИАЗ амплитуда результирующего шума составляет 0,75 мВ, а для систем с использованием дипольного ИАЗ – около 0,24 мВ, что ниже на 68%. При этом форма сигнала стабильнее, что способствует более качественному снижению шума при использовании систем активного гашения.

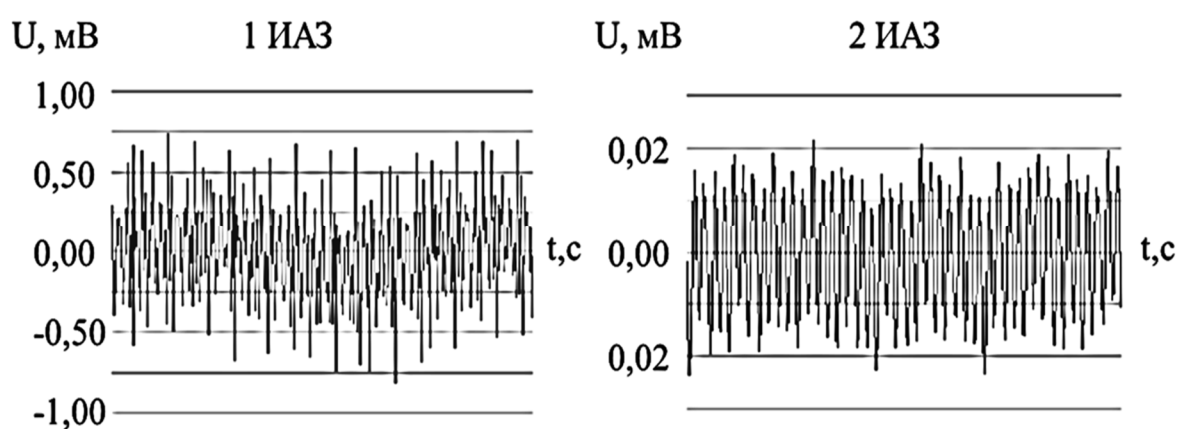


Рис. 5. Сравнение результирующего сигнала с использованием монополярной и дипольной конструкции

Выводы

В проведённых опытах с использованием монополярного ИАЗ (первый способ) и дипольного (второй способ) амплитуда результирующего сигнала составила соответственно 0,75 и 0,24 мВ, что говорит о большей эффективности второго способа. Физические характеристики сигнала, подвергающегося гашению, в обоих опытах были идентичны.

При использовании монополярного ИАЗ наблюдалось снижение амплитуды исходного сигнала с 7,5 мВ до 0,75 мВ, что в 10 раз ниже исходного уровня шума, а при использовании дипольного ИАЗ – с 7,5 мВ до 0,24 мВ. Амплитуда результирующего сигнала при использовании данного способа снизилась больше чем в 30 раз. Кроме того, форма результирующего сигнала более стабильна.

Применение систем активной компенсации звуковых полей с использованием двух монополярных ИАЗ является одним из наиболее перспективных способов снижения звуковых полей в кабинах МЭС.

Библиографический список

1. Васильев А.В. Расчет и снижение внутреннего шума и вибрации автомобилей / А.В. Васильев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2004. – Т. 6, № 2. – С. 389–398.
2. Васильев А.В. Снижение низкочастотного шума поршневых машин как существенный критерий экологической безопасности / А.В. Васильев // Вестник МАНЕБ. – 1998. – Т. 3, № 3. – С. 67–70.
3. Васильев А.В. Снижение низкочастотного шума и вибраций энергетических установок : дис. ... д-ра техн. наук : 01.04.06 / А.В. Васильев. – Санкт-Петербург, 2006. – 659 с.
4. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом : учебник / Н.И. Иванов. – Москва : Логос, 2008. – 422 с.
5. Кузнецов А.Н. Разработка системы активного шумоподавления в глушителях тракторов сельскохозяйственного назначения : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А.Н. Кузнецов. – Воронеж, 2016. – 194 с.
6. Поливаев О.И. Математическое моделирование процесса активного подавления пульсаций потока выхлопных газов мобильных энергетических средств / О.И. Поливаев, В.С. Воищев, А.Н. Кузнецов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – Вып. 2 (33). – С. 96–102.
7. Ржевкин С.Н. Курс лекций по теории звука / С.Н. Ржевкин. – Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1960. – 336 с.
8. Скобцов Е.А. Методы снижения вибраций и шума дизелей / Е.А. Скобцов, А.Д. Изотов, Л.В. Тузов. – Москва ; Ленинград : Машгиз, 1962. – 192 с.
9. Устинов Ю.Ф. Оптимизация шумозащиты на рабочем месте операторов строительных и дорожных машин / Ю.Ф. Устинов, А.В. Скрынников, Н.Л. Хань // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2010. – № 1. – С. 226–230.
10. Xue D. Noises sources with vacuum in electrostatically suspended accelerometer / D. Xue // Journal of Vacuum Science and Technology. – 2011. – Vol. 31 (5). – Pp. 633–640.
11. Zafeiropoulos N. Active Noise Control in a Luxury Vehicle : Thesis for PhD / N. Zafeiropoulos, 2017. – 204 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Олег Иванович Поливаев – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: car205@agroeng.vsau.ru.

Алексей Николаевич Кузнецов – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kuz-bass @yandex.ru.

Терехов Дмитрий Юрьевич – аспирант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dima.terekhov2011@yandex.ru.

Виктор Васильевич Труфанов – доктор технических наук, профессор кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: bgd@agroeng.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 21.11.2020

Дата принятия к печати 26.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Oleg I. Polivaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: car205@agroeng.vsau.ru.

Alexey N. Kuznetsov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: kuz-bass@yandex.ru.

Dmitriy Yu. Terekhov, Postgraduate Student, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: dima.terekhov2011@yandex.ru.

Viktor V. Trufanov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Technological Equipment, Processing Plants' Processes, Agricultural Engineering, Health and Safety, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: bgd @agroeng.vsau.ru.

Received November 21, 2020

Accepted after revision December 26, 2020

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ СУШКЕ ЯБЛОК НА ЛЕНТОЧНОЙ СУШИЛКЕ

**Игорь Вячеславович Лакомов
Юрий Михайлович Помогаев
Евгений Александрович Извеков**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Перед сельскохозяйственной промышленностью России стоит важная задача обеспечения населения качественными пищевыми продуктами. Внедрение новейших технологий производства растительных и животных продуктов, применение высокопроизводительной техники позволило существенно увеличить объем и разнообразить ассортимент производимых продуктов питания. Однако качество сельскохозяйственной продукции напрямую зависит от способов её переработки и хранения. Важно не только произвести продукты питания, но и поддерживать их высокое качество в течение длительного времени. К ряду продуктов питания предъявляются повышенные требования по их переработке и хранению. В частности, длительное хранение овощей и фруктов требует наличия специальных хранилищ с искусственным климатом, что представляет собой достаточно сложную задачу как с точки зрения применения современных технических средств, так и больших финансовых затрат. Одним из способов сохранения пищевой продукции является её обезвоживание, то есть сушка, так как порча продукции в основном происходит в процессе гниения, который отсутствует в продуктах, лишённых влаги. В данной работе экспериментально исследовался процесс сушки свежих яблок с применением теплового насоса (ТНУ), представляющего собой холодильную машину, созданную для использования низкотемпературного тепла для нагрева пищевого сырья. Яблоки относятся к термолабильным продуктам, т. е. теряющим свои свойства при высоких температурах сушки. В процессе эксперимента изменялись параметры яблок и сушильного агента в определённом диапазоне с целью построения кривых сушки. Полученные результаты эксперимента были аппроксимированы с помощью экспоненциального уравнения, представлена модель исследуемого процесса и доказана её адекватность реальному процессу с отклонением в несколько процентов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сушка, скорость сушки, кривые кинетики сушки, экспериментальные данные, эмпирическая модель, параметры процесса, коэффициент теплопередачи, допустимые технологические свойства, адекватность модели.

RESEARCH OF THE PROCESS OF HEAT AND MASS TRANSFER DURING DRYING APPLES ON BELT DRIER

**Irog V. Lakomov
Yuriy M. Pomogaev
Evgeniy A. Izvekov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The Russian agricultural industry faces an important task of providing the population with high-quality food products. Due to introduction of the latest technologies for manufacturing plant and animal products, the use of high-performance equipment it became possible to increase significantly the volume and diversify the range of food products output. However, the quality of agricultural products directly depends on the methods of its processing and storage. It is important not only to produce foodstuff, but also to maintain its high quality for a long time. A number of food products are subject to increased requirements for their processing and storage. In particular, long-term storage of vegetables and fruits requires special storage facilities with an artificial climate, which is quite a difficult task both in terms of the use of modern technical means and large financial costs. One of the ways to preserve food products is its dehydration, i.e. drying, since food spoilage mainly occurs in the process of rotting, which is absent in products devoid of moisture. Thus, the authors experimentally investigated the process of drying fresh apples using a heat pump assembly (HPA), which is a refrigeration machine designed to use low-potential heat for food raw material heating. Apples are thermolabile products, i.e. they lose their properties at high drying temperatures. During the experiment, the parameters of the apples and the drying agent were changed in a certain range in order to develop drying curves. The obtained experimental results were approximated using an exponential equation, a model of the process under study was presented, and its adequacy to the real process with a deviation of several percent was proved.

KEYWORDS: drying, drying rate, drying kinetics curves, experimental data, empirical model, process parameters, heat transfer coefficient, permissible technological properties, model adequacy.

В настоящее время проблема использования низкопотенциального тепла в народном хозяйстве приобретает особую актуальность. Это обусловлено невозможностью транспортировать и аккумулировать это тепло без весьма значительных капиталовложений. Основным способом использования такого тепла является применение различных теплонасосных установок.

Сушка сельскохозяйственной продукции является одним из энергоемких процессов в сельском хозяйстве. Основным энергоносителем для сушки служит жидкое топливо, газ и электроэнергия. Затраты топлива на сушку в настоящее время весьма высоки, что приводит к повышению стоимости готовой продукции.

Перед сельскохозяйственной промышленностью России стоит важная задача обеспечения населения качественными пищевыми продуктами. Внедрение новейших технологий производства растительных и животных продуктов, применение высокопроизводительной техники позволили существенно увеличить объём и разнообразить ассортимент производимых продуктов питания. Однако качество сельскохозяйственной продукции напрямую зависит от способов её переработки и хранения. Важно не только произвести продукты питания, но и поддерживать их высокое качество в течение длительного времени. К ряду продуктов питания предъявляются повышенные требования по их переработке и хранению. В частности, длительное хранение овощей и фруктов требует наличия специальных хранилищ с искусственным климатом, что представляет собой достаточно сложную задачу как с точки зрения применения современных технических средств, так и больших финансовых затрат. Одним из способов сохранения пищевой продукции является её обезвоживание, то есть сушка, так как порча продукции в основном происходит в процессе гниения, который отсутствует в продуктах, лишённых влаги.

Представлены результаты этапа экспериментальных исследований процесса сушки свежих яблок с применением теплового насоса (ТНУ), представляющего собой холодильную машину, созданную для использования низкопотенциального тепла для нагрева пищевого сырья.

Анализ процесса сушки яблок с применением низкопотенциального тепла (в качестве источника используется теплонасосная установка) проводили на специально переоборудованной для этого типовой ленточной сушилке ЛС 1,2-6НК-01 (рис. 1) [6].

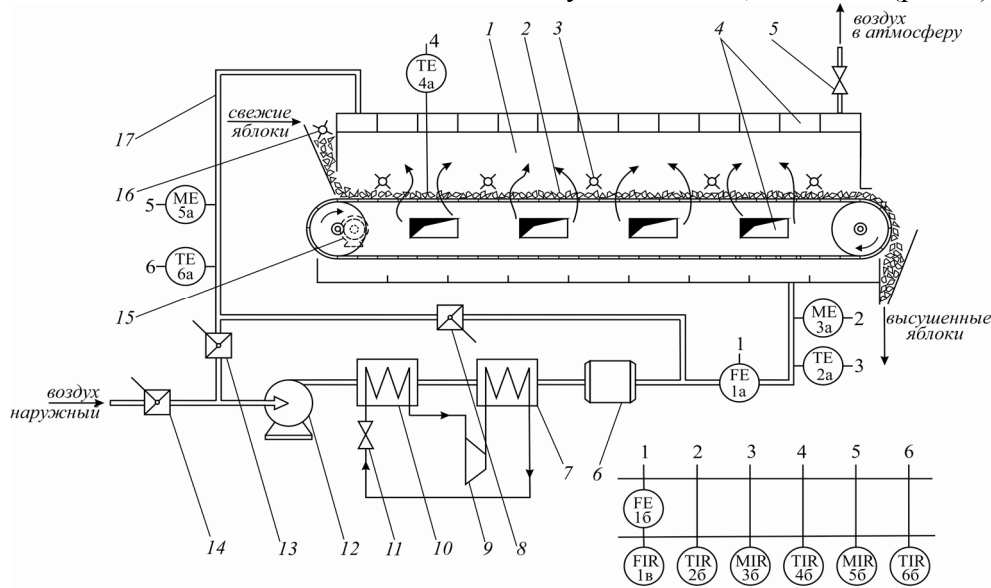


Рис. 1. Сушильная установка измельчённых яблок с применением теплового насоса:

- 1 – область сушки; 2 – металлическая сетка транспортера; 3 – ворошители;
- 4 – полости для потоков воздуха; 5 – задвижка; 6 – электрический нагреватель; 7 – конденсатор теплового насоса; 8, 13, 14 – регулирующие заслонки; 9 – компрессор; 10 – испаритель;
- 11 – терморегулирующий вентиль; 12 – центробежный вентилятор с электроприводом;
- 15 – электропривод ленточного транспортера; 16 – лопастной питатель; 17 – линия рециркуляции

Экспериментальная установка представляет собой сушильную камеру 1, ленточный транспортёр для яблок 2, выполненный в виде замкнутой металлической сетки, устройство для перемешивания слоя яблок 3, воздухораспределительные короба 4 с воздухопроводом 17 для обеспечения равномерного подвода воздуха к яблокам, лопастный питатель 16 для загрузки свежих яблок на сушку, электрокалорифер 6, тепловой насос (ТН) с конденсатором 7, компрессор 9, испаритель 10, терморегулирующий вентиль 11, вентилятор 12, электродвигатель с редуктором ленточного транспортера 15, жалюзийные заслонки 8, 13, 14, задвижку 5. Экспериментальная установка имеет датчики и вторичные приборы для управления процессом сушки и контроля над изменяемыми параметрами процесса сушки яблок.

Обработка результатов эксперимента по сушке резаных яблок показала отсутствие периода постоянной скорости сушки, следовательно, весь процесс происходит в периоде падающей скорости сушки [3, 11].

На рисунке 2 показаны кривые кинетики сушки, полученные в результате эксперимента, а также кривые скорости сушки, полученные аналитически. Анализ графического материала позволяет сделать вывод, что процесс сушки яблок на ленточной сушилке с применением ТНСУ происходит только во втором периоде (рис. 2) [4].

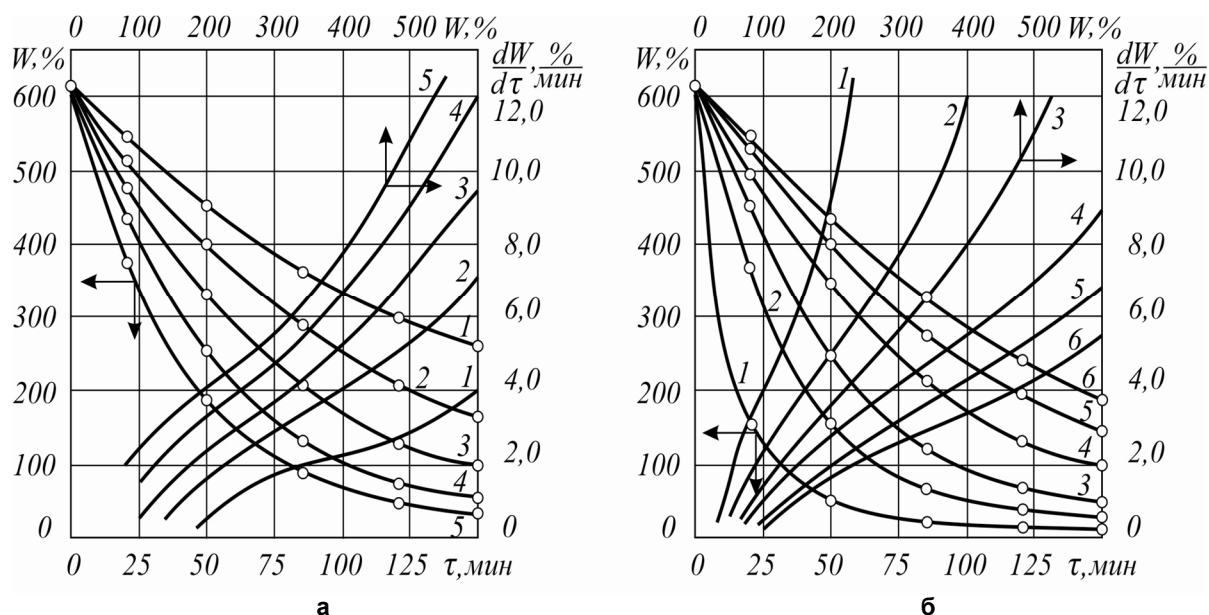


Рис. 2. Кривые сушки и скорости сушки яблок: а) $v = 1,21$ м/с; $x = 0,011$ кг/кг; $h = 0,052$ м; T, K : 1 – 314; 2 – 324; 3 – 334; 4 – 344; 5 – 354; б) $v = 1,21$ м/с; $h = 0,052$ м; $T = 334$ К; $x, \text{кг/кг}$: 1 – 0,0011; 2 – 0,0031; 3 – 0,0051; 4 – 0,0105; 5 – 0,0152; 6 – 0,021

Характер кривых сушки, построенных по экспериментальным данным, представляет собой экспоненту, которая на выходе из сушилки приближается к определённому значению равновесной влажности W_p . Для описания характера этой кривой используем экспоненциальное уравнение [3]

$$(W - W_p) / (W_n - W_p) = e^{-k\tau} \quad (1)$$

С учётом изменяемых параметров в эксперименте это уравнение запишем в виде

$$(W - W_p) / (W_n - W_p) = e^{-kT^m v^n x^p h^q \tau} \quad (2)$$

Решая уравнение (2) относительно основных параметров эксперимента – температуры воздуха T , скорости воздушного потока v , влагосодержания воздуха x , высоты слоя яблок на ленте транспортера h , делаем вывод, что необходима коррекция коэффициента теплопередачи k и последовательное уточнение показателей степеней m , n , p и q .

Параметры модели определялись по методу средних, обеспечивающему высокую степень адекватности модели (2) экспериментальным данным [1, 2]. Значения показателей степеней m , n , p и q определяют их степень влияния на величину влажности W . В итоге математическая модель процесса сушки яблок имеет следующий вид:

$$(W - W_p)/(W_n - W_p) = \exp[-5,9012 \cdot 10^{-8} \cdot (T - 273)^2 \cdot \nu^{0,4} \cdot x^{-0,7} \cdot h^{-0,3} \cdot \tau]. \quad (3)$$

Соответствие полученной модели реальному процессу сушки проверено по χ^2 -критерию [8].

Проведённый анализ взаимного влияния основных параметров обезвоживания яблок в процессе эксперимента позволил получить наиболее экономичные режимы сушки. Для этого с помощью экспериментальных кривых сушки $W = f(\tau)$ и нагрева $T_y = f(\tau)$ установлена зависимость температуры яблок от их влажности в процессе сушки $T_y = f(W)$ (рис. 3). На рисунке ниже этой зависимости находится оптимальная с точки зрения ограничений, накладываемых на качество сушёных яблок, область влажности конечного продукта для определённых его температур.

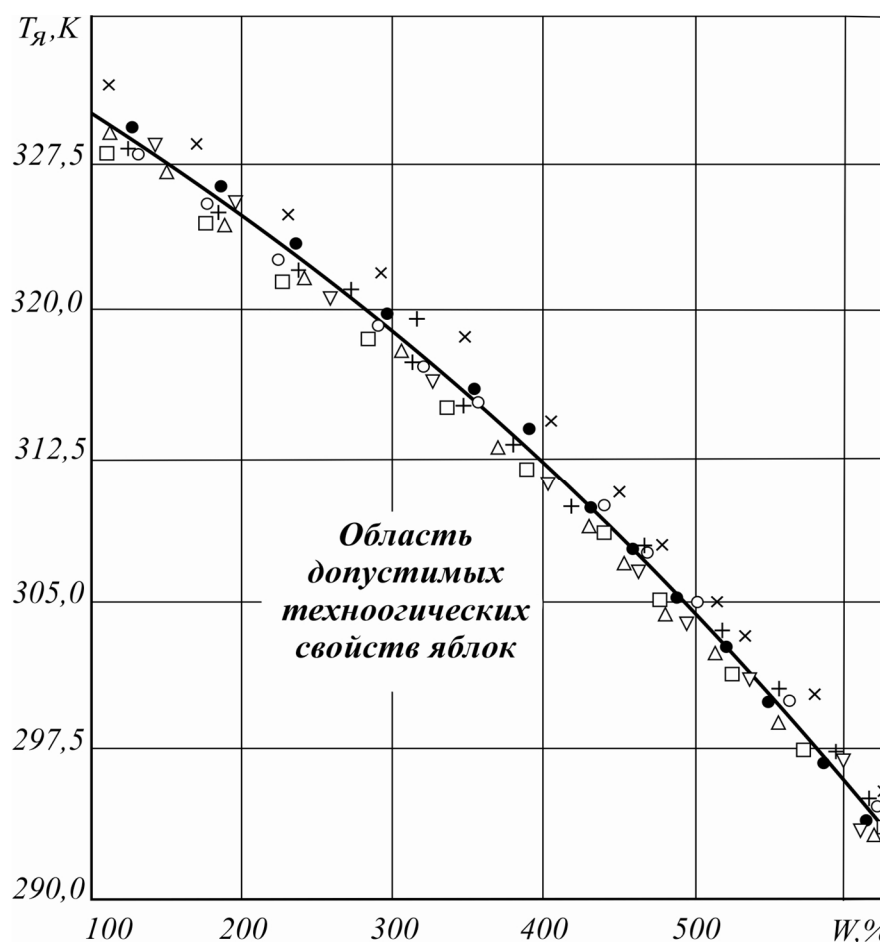


Рис. 3. График нагрева яблок в процессе сушки на экспериментальной установке:

○, ●, ×, +, Δ, ∇, □ — точки опытных кривых для различных параметров сушки

Кривые нагрева яблок, полученные опытным путём, находятся в оптимальной области, что говорит о верно выбранных параметрах процесса сушки и получении конечного продукта с высоким качеством. В результате аналитически получена функциональная зависимость между максимально возможной температурой нагрева яблок и влажностью, которая представляет собой уравнение прямой [9]

$$T = T_0 - qkW \quad (4)$$

Для свежих яблок [5] коэффициенты линии ограничения в уравнении (4) составляют соответственно $T_0 = 341$, $q = 0,96$, $k = 0,07$. Эта прямая ограничивает оптимальную область экономичных режимов сушки, местоположение которой регулируется коэффициентами q и k [10].

Температура слоя резанных яблок по мере их движения в сушильной камере определялась из уравнения теплового баланса

$$\frac{d[\rho_{\text{я}}(W, \tau)c_{\text{я}}(W, \tau)T_{\text{я}}(W, \tau)]}{d\tau} = \alpha_v [T - T_{\text{я}}(W, \tau)] + r \frac{d\left[\frac{W(T, v, h, x, \tau)}{100} \rho_{\text{я}}(W, \tau)\right]}{d\tau}. \quad (5)$$

Так как при $\tau \rightarrow 0$ температура яблок практически не меняется [7], то

$$T_{\text{я}_{i-1}} = \frac{1}{\tau_i - \tau_{i-1}} \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} T_{\text{я}}(W, \tau) d\tau. \quad (6)$$

Интегрируя уравнение (6) относительно τ и задаваясь температурой нагрева яблок для i -го интервала времени, получим:

$$\begin{aligned} T_{\text{я}_i} = & \left[\frac{\rho_{\text{я}}(W, \tau_{i-1})c_{\text{я}}(W, \tau_{i-1})}{\rho_{\text{я}}(W, \tau_i)c_{\text{я}}(W, \tau_i)} - \frac{\alpha_v(\tau_i - \tau_{i-1})}{\rho_{\text{я}}(W, \tau_i)c_{\text{я}}(W, \tau_i)} \right] \times \left(340 - 7,24 \frac{W_{i-1}}{100} \right) + \\ & + \frac{\alpha_v T}{\rho_{\text{я}}(W, \tau_i)c_{\text{я}}(W, \tau_i)} + \frac{r}{\rho_{\text{я}}(W, \tau_i)c_{\text{я}}(W, \tau_i)} \times \\ & \times \left[\frac{W(T, v, x, h, \tau_i)}{100} \rho_{\text{я}}(W, \tau_i) - \frac{W(T, v, x, h, \tau_{i-1})}{100} \rho_{\text{я}}(W, \tau_{i-1}) \right], \end{aligned} \quad (7)$$

где теплоёмкость и плотность слоя ломтиков яблок определялась соответственно по формулам (8) и (9):

$$c_{\text{я}}(W, \tau_i) = 1710 + 24,71 W_i; \quad (8)$$

$$\rho_{\text{я}}(W, \tau_i) = 636 + 102 \ln(W_i^c / 100). \quad (9)$$

Для решения уравнения (7) с учётом (3), (8) и (9) заданы следующие начальные условия:

$$W(0) = W_n; \quad T_{\text{я}}(0) = T_{\text{я}}^H. \quad (10)$$

Решая систему уравнений, найдем такое значение коэффициента теплоотдачи α_v , при котором температура нагрева яблок $T_{\text{я}}^{\text{расч}}$, найденная аналитически, равнялась экспериментальному значению $T_{\text{я}}^{\text{эксн}}$. В результате можно сделать вывод о соответствии найденной математической модели проведённому эксперименту по сушке яблок на ленточной сушилке с применением теплового насоса. Вывод основан на близости расчётных значений температуры нагрева яблок и опытных при определённом значении α_v . При этом должно выполняться условие

$$\left| T^{\text{расч}}(\tau) - T^{\text{эксн}}(\tau) \right| \leq \xi. \quad (11)$$

Для определённого аналитически числа ξ найдено среднее значение коэффициента теплоотдачи от сушильного агента к яблокам, лежащее в пределах 100–120 Вт/(м²·К).

Применение программы численного счёта среднеинтегральных температур нагрева и средней влажности яблок по длине сушилки позволяет выполнять расчёт процесса сушки яблок кондиционированным воздухом при изменении текущих параметров.

Проведённые исследования по предлагаемому методу расчёта дают удовлетворительные результаты, наибольшее отклонение расчётных кривых от экспериментальных не превышает 5%.

Библиографический список

1. Везиришвили О.Ш. Выбор оптимальных мощностей ТНУ и область их эффективного применения / О.Ш. Везиришвили // Теплоэнергетика. – 1982. – № 4. – С. 47–50.
2. Везиришвили О.Ш. Тепловые насосы и экономия топливно-энергетических ресурсов / О.Ш. Везиришвили // Известия вузов. Энергетика. – 1984. – № 7. – С. 61–65.
3. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов : учебник / А.С. Гинзбург. – Москва : Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.
4. Гоголин А.А. Осушение воздуха холодильными машинами / А.А. Гоголин. – Москва : Госторгиздат, 1962. – 103 с.
5. ГОСТ 27572-90. Яблоки свежие для промышленной переработки. Технические условия. – Введ. 1989–07–01. – Москва : Стандартинформ, 1990. – 8 с.
6. Гришин М.А. Установки для сушки пищевых продуктов : справочник / М.А. Гришин, В.И. Атаназевич, Ю.Г. Семенов. – Москва : Агропромиздат, 1989. – 215 с.
7. Ионов А.Г. Теплонасосная установка для вяления рыбы / А.Г. Ионов, А.Э. Суслов // Холодильная техника. – 1986. – № 9. – С. 24–27.
8. Кретов И.Т. Программно-логические функции системы управления теплонасосной сушильной установкой / И.Т. Кретов, А.А. Шевцов, И.В. Лакомов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1998. – № 4. – С. 69–72.
9. Лакомов И.В. Применение теплового насоса в различных схемах сушильных установок / И.В. Лакомов, Ю.М. Помогаев // Вестник Воронежского государственного университета. – 2016. – № 2 (49). – С. 130–135.
10. Лакомов И.В. Энергетическая эффективность применения тепловых насосов при сушке сельскохозяйственного сырья / И.В. Лакомов, Ю.М. Помогаев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1 (52). – С. 109–112.
11. Шаззо Р.И. Низкотемпературная сушка пищевых продуктов в кондиционированном воздухе / Р.И. Шаззо, В.М. Шляховецкий. – Москва : Колос, 1994. – 116 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Игорь Вячеславович Лакомов – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматизации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: lakomov1960@yandex.ru.

Юрий Михайлович Помогаев – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматизации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: pomoyurij@yandex.ru.

Евгений Александрович Извеков – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматизации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: izvek@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 10.11.2020

Дата принятия к печати 24.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Igor V. Lakomov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: lakomov1960@yandex.ru.

Yuriy M. Pomogaev, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: pomoyurij@yandex.ru.

Evgeniy A. Izvekov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: izvek@yandex.ru.

Received November 10, 2020

Accepted after revision December 24, 2020

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМА РАБОТЫ ЛАБОРАТОРНОЙ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

Александр Анатольевич Белов

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

Основными отличительными особенностями разработанной лабораторной электрогидравлической установки для обеззараживания воды в сравнении с известными являются параметры узлов конструкции и режим её работы. Для штатной работы установки требуется подобрать обоснованные расчётным методом параметры импульсного трансформатора и искрового разрядника. Лабораторная установка состоит из генератора импульсных напряжений, искрового разрядника, рабочего органа и контрольно-измерительной аппаратуры. Генератор импульсных напряжений предназначен для выработки напряжения, величины которого достаточно для пробоя формирующего и рабочего промежутков между электродами, за счёт чего некоторая часть энергии выделяется в канале искрового разрядника. Условиями номинального режима работы установки являются: минимальное потребление энергии формирующего и рабочего промежутков от накопительного устройства, надёжность работы и долговечность составных деталей и узлов. В соответствии с разработанной структурной схемой генератор импульсных напряжений состоит из источника питания, импульсного высоковольтного повышающего трансформатора (умножителя энергии) с выпрямителем высокого напряжения, собранным по двухполупериодной схеме, и ёмкостного накопительного устройства с сосредоточенными параметрами (конденсатора). Обоснованы такие параметры трансформатора, как число витков, средний диаметр, токи и напряжения первичной и вторичной обмоток, а также такие параметры искрового разрядника, как удельное и полное действие к моменту времени импульсного тока, переносимый этим током заряд и материал электродов. Номинальный режим работы установки для обеззараживания воды: мощность трансформатора – 1 кВт; рабочее напряжение – 10 кВ; ёмкость конденсатора – 1 мкФ; формирующий и рабочий промежутки – 1–2 мм; система электродов – острое-диск; частота искровых электрических разрядов – 3 Гц; количество разрядов – 100–500 шт.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: высокое напряжение, импульсный ток, искровой разрядник, повышающий трансформатор, электрогидравлический эффект.

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS AND OPERATING MODE OF ELECTROHYDRAULIC LABORATORY SET FOR WATER DECONTAMINATION

Alexander A. Belov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM

The main distinctive features of the developed electrohydraulic laboratory setup for water disinfection in comparison with the known ones are the parameters of the design components and the operating mode of the facility. For normal operation of the setup, it is necessary to select the parameters of the pulse transformer and spark arrester that are substantiated by the calculation method. The laboratory setup consists of pulse voltage generator, spark arrester, working body and control & measuring equipment. The pulse voltage generator is designed to generate such a voltage which is sufficient to break down the forming and working gaps between the electrodes, due to which some of the energy is released in the spark arrester channel. The conditions of the nominal operating mode of the setup are as follows: minimum energy consumption of the forming and working intervals from the storage device, reliability of operation and durability of composite parts and assemblies. In accordance with the developed structural scheme, the pulse voltage generator consists of a power source, pulsing high-voltage boost transformer (energy multiplier) with a high-voltage rectifier assembled according to a full-wave circuit, and a capacitive storage device with lumped-constant parameters (capacitor). The parameters of the transformer, such as the number of turns, the average diameter, the currents and voltages of the primary and secondary windings, as well as the parameters of the spark arrester, such as specific current action and full effect at the time of the pulse current, the charge carried by this current and the material of the electrodes, are justified. Nominal operating mode of the water disinfection unit is as follows: transformer power is 1 kW; operating voltage is 10 kV; capacitance is 1 μ F; forming and working intervals are 1–2 mm; electrode system is pointed end-disk; frequency of spark electric discharges is 3 Hz; the number of digits is 100–500 pcs.

KEYWORDS: high voltage, pulse current, spark arrester, boost transformer, electrohydraulic effect.

Введение

Электрогидравлический эффект является следствием генерации высоковольтных искровых импульсных разрядов в водной среде. Положительные свойства электрогидравлического эффекта используются в промышленности и сельском хозяйстве для выполнения разнообразных операций, работ и технологий [5]. Однако широкое применение этого метода электрофизического воздействия на воду сдерживается требованиями техники безопасности, которые необходимо соблюдать при работе с высоковольтными установками [9]. Рабочий диапазон электрических напряжений может находиться в пределах до 70 кВ [3, 6]. Рабочие электроды установки, работающей при таких номиналах напряжения, должны иметь надёжную изоляцию достаточной толщины и прочности от корпуса, контрольно-измерительной аппаратуры и других узлов оборудования [2]. Для обеззараживания воды рабочего напряжения искровых разрядов в 10 кВ может быть достаточно для достижения показателей по норме очистки [10]. В этой связи следует обосновать параметры лабораторной установки.

Основными отличительными особенностями изготовленной лабораторной электрогидравлической установки для обеззараживания воды в сравнении с известными и ранее исследованными образцами аналогичных технических средств являются параметры узлов конструкции и режим работы установки [4]. Для штатной работы установки требуется подобрать обоснованные расчётным методом параметры импульсного трансформатора и искрового разрядника установки.

Материалы и методы

Используемое оборудование:

- блок питания FA-S-1/300W;
- трансформатор TDKS 32-04;
- выпрямитель напряжения;
- ограничительное сопротивление 1 кОм;
- конденсатор K75-29A (16 кВ, 1 мкФ);
- кавитационная рабочая ёмкость из 3D-пластика (материал ABS);
- контрольно-измерительная аппаратура.

Для определения параметров трансформатора применяется метод расчёта на основании анализа эквивалентных схем замещения.

Результаты и их обсуждение

Лабораторная электрогидравлическая установка для обеззараживания воды состоит из генератора импульсных напряжений, искрового разрядника, рабочего органа и контрольно-измерительной аппаратуры.

Рабочий орган выполняет функции кавитационной ёмкости, в которой осуществляется набор обрабатываемой воды и формируются разряды.

Генератор импульсных напряжений предназначен для выработки напряжения, величины которого достаточно для пробоя формирующего и рабочего промежутков между электродами. Таким образом, некоторая часть энергии выделяется в канале искрового разрядника.

Условиями номинального режима работы установки являются:

- минимальное потребление энергии формирующего и рабочего промежутков от накопительного устройства;
- надёжность работы;
- долговечность составных деталей и узлов.

В соответствии со структурной схемой генератор импульсных напряжений состоит из источника питания, импульсного высоковольтного повышающего трансформатора (умножителя энергии) с выпрямителем высокого напряжения, собранным по двухполупериодной схеме, и ёмкостного накопительного устройства с сосредоточенными параметрами (конденсатора).

Структурная схема лабораторной электрогидравлической установки для обеззараживания воды представлена на рисунке 1.

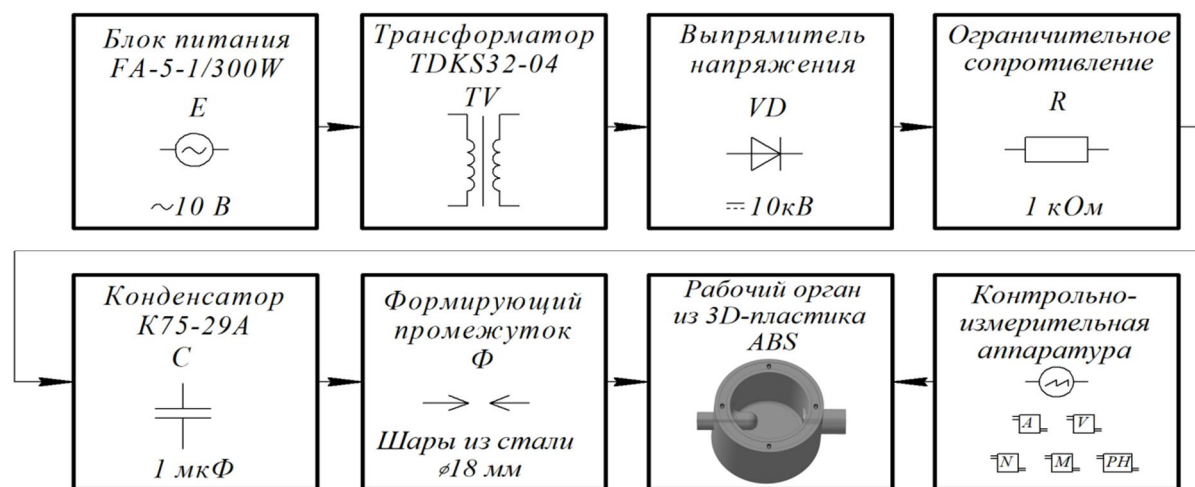


Рис. 1. Структурная схема лабораторной электрогидравлической установки для обеззараживания воды

Импульсный высоковольтный повышающий трансформатор предназначен для увеличения максимального значения прямоугольного импульса напряжения, который генерируется от источника с сосредоточенной ёмкостью. Исходными при расчётах являются параметры источника напряжения, включённого в первичную цепь трансформатора, нагрузки, а также максимальное значение и форма выходного импульса напряжения. Определяются параметры схемы замещения трансформатора [1].

При расчётах чаще всего применяется одна из схем замещения, приведённых на рисунке 2.

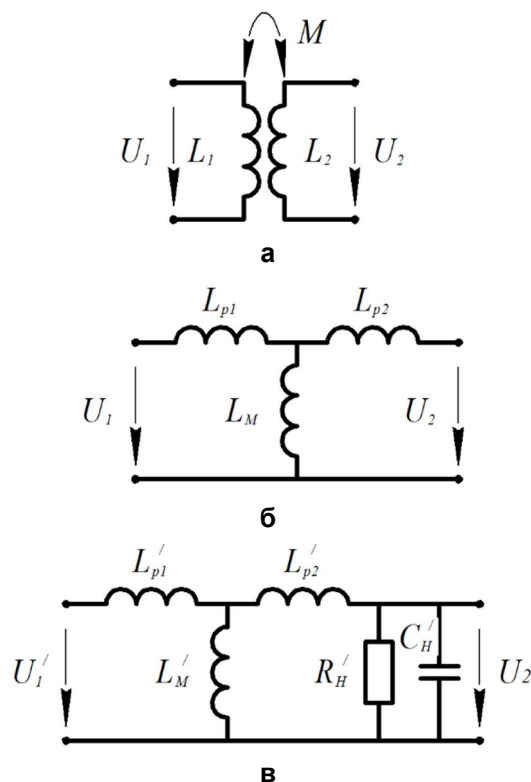


Рис. 2. Схемы замещения импульсного трансформатора

В них входят индуктивности первичной и вторичной обмоток L_1 и L_2 , взаимная индуктивность M (рис. 2, а) или же индуктивности рассеяния обмоток L_{p1} и L_{p2} и индуктивность намагничивания L_M . Более удобной зачастую оказывается схема с приведением элементов к первичной или ко вторичной стороне трансформатора. В качестве примера на рисунке 2, в представлена схема с приведением к первичной стороне. В ней кроме трансформатора учтены ёмкость нагрузки C_H и сопротивление нагрузки R_H .

При приведении к первичной стороне:

$$U'_1 = U_1; L'_{p1} = L_{p1}; L'_M = L_M; L'_{p2} = \frac{L_{p2}}{K^2}; R'_H = \frac{R_H}{K^2}; U'_2 = \frac{U_2}{K}; C'_H = C_H \cdot K^2, \quad (1)$$

где K – отношение числа витков вторичной обмотки к числу витков первичной обмотки.

При приведении к вторичной стороне:

$$U''_1 = U_1 \cdot K; L''_{p1} = L_{p1} \cdot K^2; L''_M = L_M \cdot K^2; L''_{p2} = L_{p2}; R''_H = R_H; U''_2 = U_2; C''_H = C_H. \quad (2)$$

Параметры схем на рисунках 2, а и 2, б связаны между собой следующими соотношениями:

$$L_{p1} + L'_{p2} = L_1 - \frac{M}{K}; L'_M + L_{p1} = L_1; L''_{p1} + L_{p2} = L_2 - M \cdot K; L''_M + L_{p2} = L_2. \quad (3)$$

Суммарная индуктивность рассеяния определяется магнитным потоком, заключённым между первичной и вторичной обмотками. Для её расчёта находятся напряжённости магнитного поля между обмотками

$$H_{1,2} = \frac{i_1 \cdot n_1}{h} \quad (4)$$

и в первичной, и вторичной обмотках:

$$H_1 = \frac{i_1 \cdot n_1 \cdot r}{\delta_1 \cdot h}; H_2 = \frac{i_2 \cdot n_2 (1 - \frac{r}{\delta_2})}{h}, \quad (5)$$

где i_1 и i_2 – токи первичной и вторичной обмоток;

n_1 и n_2 – числа витков;

δ_1 и δ_2 – толщины обмоток;

h – ширина обмоток;

r – радиус провода, которым образован контур.

Энергия магнитного поля, заключённого между первым слоем первичной обмотки и последним слоем вторичной, равна

$$W = \frac{\pi \cdot h \cdot D_{cp} \cdot \mu_0}{2} \int_0^\delta H^2 dr, \quad (6)$$

где D_{cp} – средний диаметр обмоток трансформатора;

μ_0 – магнитная постоянная;

$\delta = \delta_1 + \delta_{1,2} + \delta_2$.

Таким образом, определяются следующие параметры используемого в установке импульсного повышающего трансформатора: число витков, средний диаметр, токи и напряжения первичной и вторичной обмоток.

Параметры искрового разрядника обосновываются величинами импульсных токов и пробивных напряжений [1]. При искровых разрядах в формирующем и рабочем промежутках протекает сложный по форме импульсный ток, состоящий из одного или нескольких всплесков величиной около $10^4 - 10^5$ А и длительностью по времени 10^{-4} с, наложенных на длительный ток (десятичные доли секунды) до 10^3 А.

В основе протекания импульсных токов лежат два физических явления: выделение энергии в виде тепла в проводниках при протекании по ним тока и создание магнитного поля в пространстве, окружающем проводник, и в самом проводнике. В импульсных режимах реализуются огромные скорости выделения энергии и плотности энергии, не достигаемые в стационарных режимах.

Протекание импульсного тока в среде с определённой электропроводностью вызывает нагрев среды, часто близкий к адиабатическому. При нагреве меняются механические свойства среды, её теплофизические параметры, происходят фазовые переходы. Так, твёрдый проводник может разрушиться, расплавиться и испариться.

В импульсном режиме этот процесс сопровождается возникновением мощного светового излучения, ударной волны и электрической дуги. Комплекс явлений, сопровождающий протекание импульсного тока большой плотности по проводнику, можно считать электрическим взрывом проводника.

Обобщённым параметром, описывающим выделение энергии при протекании импульсного тока, является удельное действие

$$A = \int_0^t j^2 dt, \quad (7)$$

где j – плотность тока.

Для каждого металла при определённых значениях A и пренебрежимо малых тепловых потерях происходят фазовые переходы. Значением удельного действия определяется температура проводника после протекания по нему тока.

Протекание тока сопровождается импульсной дугой, горящей между металлическими электродами. В местах контакта металла и дуги наблюдается эрозия – испарение, плавление и разбрызгивание металла. Процессы эрозии определяются скоростью ввода энергии в электрод. Причиной эрозии является поверхностный источник тепла, поступающий из приэлектродной зоны дуги. Поскольку приэлектродное падение напряжения слабо зависит от тока, энергия, поступающая в электрод, пропорциональна заряду Q , переносимому током I

$$Q = \int_0^t I dt. \quad (8)$$

Таким образом, степень эрозии увязывается с величиной заряда.

Электродинамические силы при больших токах вызывают перемещение, деформацию и разрушение проводников с током. Давление, определяемое произведением плотности тока на напряжённость магнитного поля, пропорционально значению j^2 , а импульс силы и работа, совершаемая при перемещении проводника, – значению A . Плотность энергии магнитного поля в системе с проводниками во многих случаях может быть принята пропорциональной значению A . В импульсных режимах достигаются большие плотности тока, значения электродинамических сил могут превышать предел прочности материала проводника, и проводник деформируется и разрушается. В этой связи важными параметрами импульсного тока помимо текущего значения являются Q , A и полное действие к моменту t

$$A_{\Pi} = \int_0^t I^2 dt. \quad (9)$$

Эти величины определяют параметры искрового разрядника электрогидравлической установки.

Любой источник или генератор импульсного тока представляет собой, как правило, накопитель энергии. Лишь сравнительно небольшие импульсные токи можно получить непосредственно от сети, не вызывая опасных для сети режимов, близких к коротким замыканиям. В накопителе в течение времени, превышающего длительность импульса тока, происходит накопление энергии в той или иной форме при относительно небольшой мощности, потребляемой от источника питания. При разряде накопителя за короткое время развиваются высокие мощности, необходимые для генерирования импульсного тока и пропускания его через нагрузку.

Таким образом, обосновывается выбор ёмкостного накопителя, используемого в качестве источника импульсного тока.

В ёмкостном накопителе энергия накапливается в виде энергии электростатического поля в конденсаторах. Процесс накопления происходит при зарядке конденсато-

ров от маломощного выпрямителя высокого напряжения, а разряд вызывается подключением нагрузки через коммутирующие устройства. Такими устройствами выступают разрядники. Большинство ёмкостных накопителей может быть сведено к простейшей схеме разрядной цепи, состоящей из последовательно соединённых заряженной до напряжения ёмкости, индуктивности и активного сопротивления [7]. В индуктивность входят внутренняя индуктивность накопителя, индуктивности нагрузки и соединительных шин [8]. То же относится и к сопротивлению.

Стабильность характеристик разрядника при многократной работе определяется в первую очередь материалом и формой электродов, однако немалую роль в этом вопросе играет и рабочая среда. В изготовленной установке рабочей средой является жидкость. К материалам электродов разрядников предъявляются требования малой электрической эрозии, сохранения ровного рельефа поверхности после разрядов. Это необходимо для поддержания стабильным статического пробивного напряжения разрядника. Удовлетворение отмеченных требований приводит к использованию разрядников с распределённой зоной разряда по небольшой поверхности электродов. При больших токах и длительности разряд контрагирован, и электроды подвергаются интенсивному тепловому воздействию в опорных точках канала разряда. При этом важен правильный выбор материала электродов. При больших длительностях разряда предпочтение отдаётся материалам, содержащим легколетучие компоненты. Несмотря на повышенный износ таких материалов интенсивное испарение приводит к более ровной поверхности электродов.

В водяных разрядниках имеется большой разброс пробивных напряжений. Это является следствием влияния загрязнения среды продуктами эрозии и неровностью электродов. Почти весь расплавленный металл удаляется с электродов мощными гидродинамическими потоками, возникающими при импульсном разряде в воде. В разряднике с жидкой рабочей средой возникают сильные механические нагрузки, действующие на изоляцию и электроды.

Номинальный режим работы установки для обеззараживания воды имеет следующие характеристики:

- мощность трансформатора – 1 кВт;
- рабочее напряжение – 10 кВ;
- ёмкость конденсатора – 1 мкФ;
- формирующий и рабочий промежутки – 1–2 мм;
- система электродов – острие-диск;
- частота искровых электрических разрядов – 3 Гц;
- количество разрядов – 100–500 шт.

Выводы

Установлено, что основными отличительными особенностями изготовленной лабораторной электрогидравлической установки для обеззараживания воды в сравнении с известными и ранее исследованными прототипами образцов технических средств являются параметры узлов конструкции и режим работы установки.

Условиями номинального режима работы установки являются минимальное потребление энергии формирующего и рабочего промежутков от накопительного устройства, надёжность работы и долговечность составных деталей и узлов.

В соответствии с разработанной структурной схемой генератор импульсных напряжений состоит из источника питания, импульсного высоковольтного повышающего трансформатора (умножителя энергии) с выпрямителем высокого напряжения, собранным по двухполупериодной схеме, и ёмкостного накопительного устройства с сосредоточенными параметрами (конденсатора).

Обоснованы такие параметры используемого в установке импульсного повышающего трансформатора, как число витков, средний диаметр, токи и напряжения первичной и вторичной обмоток, а также такие параметры искрового разрядника, как удельное и полное действие к моменту времени импульсного тока, переносимый этим током заряд и материал электродов.

Библиографический список

1. Авруцкий В.А. Испытательные и электрофизические установки. Техника эксперимента : учеб. пособие / В.А. Авруцкий, И.П. Кужекин, Е.Н. Чернов ; под ред. И.П. Кужекина. – Москва : МЭИ, 1983. – 262 с.
2. Белов А.А. Конструктивные особенности СВЧ-оборудования для термообработки фуражного зерна / А.А. Белов, В.Ф. Сторчевой, О.В. Михайлова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4. – С. 115–121.
3. Модульная установка для обработки зерна / А.Н. Васильев, Д.А. Будников, А.А. Васильев и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 5. – С. 27–30.
4. Сторчевой В.Ф. Создание озонно-ионной воздушной среды в закрытых помещениях для содержания животных и птицы / В.Ф. Сторчевой, С.В. Сучугов, А.Е. Компаниец // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2019. – № 3 (91). – С. 35–39.
5. Belov A.A. Electrical conductivity of water treated by spark discharge / A.A. Belov, A.N. Vasilyev, A.A. Musenko // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics. – 2019. – Vol. 7, No. 3. – Pp. 422–431.
6. Degradation of high-concentration simulated organic wastewater by DBD plasma / X. Li, R.-W. Zhou, J. Huang, W. Chen, F.-P. Wang, X.-Y. Lu, Q. Wen // Water Science and Technology. – 2019. – Vol. 80 (8). – Pp. 1413–1420.
7. Innovations in technologies of agricultural raw materials processing / M.V. Belova, G.V. Novikova, O.V. Mikhailova, I.G. Ershova, M.A. Ershov // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11, No. 6. – Pp. 1269–1277.
8. Optimization of microclimate parameters inside livestock buildings / G.N. Samarin, A.N. Vasilyev, A.A. Zhukov, S.V. Soloviev // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2019. – Vol. 866. – Pp. 337–345.
9. Yudaev I.V. Analysis of variation in circuit parameters for substitution of weed plant tissue under electric impulse action / I.V. Yudaev // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2019. – Vol. 55 (2). – Pp. 219–224.
10. Zheng J.S. Inactivation of *Staphylococcus aureus* in water by pulsed spark discharge / J.S. Zheng // Scientific Reports. – 2017. – Vol. 7 (1). – 10311.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Принадлежность к организации

Александр Анатольевич Белов – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории электрофизического воздействия на сельскохозяйственные объекты и материалы ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Россия, г. Москва, e-mail: belalexan85@gmail.com.

Дата поступления в редакцию 18.09.2020

Дата принятия к печати 28.10.2020

AUTHOR CREDENTIALS

Affiliations

Alexander A. Belov, Doctor of Engineering Sciences, Leading Research Scientist, Laboratory of Electrophysical Impact on Agricultural Objects and Materials, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia, Moscow, e-mail: belalexan85@gmail.com.

Received September 18, 2020

Accepted after revision October 28, 2020

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ КРИТЕРИЕВ ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «АГРОИНЖЕНЕРИЯ»

Андрей Викторович Ворохобин¹
Наталья Митрофановна Дерканосова¹
Владимир Петрович Рябов¹
Евгения Владимировна Талицких²

¹Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

²АНОО ДПО Учебный центр «Образование и карьера»

Рост производства сельскохозяйственной продукции для обеспечения потребностей внутреннего рынка и объемов экспорта ставит задачу подготовки кадров в соответствии с запросами и ожиданиями аграрного бизнеса. Региональный рынок труда демонстрирует дефицит специалистов традиционных профессиональных квалификаций, таких как агрономы, ветеринарные врачи, зоотехники. В области агроинженерии запрос бизнеса ориентирован на широкую квалификацию выпускников, включая профессиональные навыки эксплуатации современной сельскохозяйственной техники. Для 60% из 22 ведущих аграрных групп компаний региона проблема дефицита кадров является приоритетной. Сформирован ежегодный запрос бизнеса, ориентированный на специалистов традиционных профессиональных квалификаций, которые по-прежнему нужны агробизнесу, при этом уровень профессиональной компетентности таких специалистов должен меняться с целью соответствия современным аграрным технологиям и уровню развития аграрного бизнеса. Поэтому развитие отрасли диктует необходимость существенного совершенствования образовательных программ, соответствие которых профессиональным квалификациям отраслевой рамки может быть проверено на этапе промежуточной и итоговой аттестации. Предложены методологические подходы к формированию критериев подготовки обучающихся, учитывающие процедуры независимой оценки квалификаций. Разработан макет оценочных средств, включающий сведения об обобщенных функциях и трудовых функциях, формируемых в процессе освоения дисциплины, планируемых результатах обучения, сопряженных с профессиональным стандартом. В рамках оценочных средств разработаны спецификации заданий для теоретического и практического этапа промежуточной аттестации. Оценочные средства сформированы и апробированы на примере промежуточной аттестации по дисциплинам образовательной программы по направлению подготовки «Агроинженерия».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: агроинженерия, независимая оценка квалификаций, профессиональные квалификации, профессиональные компетенции, оценочные средства

METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE FORMATION OF CRITERIA FOR TRAINING STUDENTS IN THE AGROENGINEERING FIELD OF STUDY

Andrey V. Vorokhobin¹
Natalia M. Derkanosova¹
Vladimir P. Ryabov¹
Evgeniya V. Talitskikh²

¹Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

²Education and Career Training Center

The growth of agricultural production to meet the needs of the domestic market and export volumes sets the task of training personnel in accordance with the requests and expectations of the agricultural business. The regional labor market demonstrates a shortage of specialists with traditional professional qualifications, such as agronomists, veterinarians, animal technicians and others. In the field of agricultural engineering, the business request is focused on a broad qualification of graduates, including professional skills in the operation of modern

agricultural machinery. For 60% of the 22 leading agricultural groups of companies in the region, the problem of shortage of personnel is a priority. An annual business request has been formed, focused on specialists of traditional professional qualifications that are still needed by agribusiness, while the level of professional competence of such specialists should change in order to meet modern agricultural technologies and the level of development of agricultural business. Therefore, the current development of the industry dictates the need for significant improvement of educational programs, the compliance of which with the professional qualifications of the industry framework can be checked at the stage of intermediate and final certification. Methodological approaches to the formation of criteria for the training of students, taking into account the procedures of independent assessment of qualifications, are proposed. A model of evaluation tools has been developed, including information about the generalized functions and labor functions formed in the course of mastering the discipline, the planned learning outcomes associated with the professional standard. Within the framework of the evaluation tools, the specifications of tasks for the theoretical and practical stage of the intermediate certification are developed. Evaluation tools are formed and tested on the example of intermediate certification in the disciplines of the educational program in the Agroengineering field of study.

KEYWORDS: agroengineering, independent assessment of qualifications, professional qualifications, professional competencies, evaluation tools.

Агропромышленный комплекс региона и страны демонстрирует высокие темпы роста. Эта задача стоит перед отраслью и на перспективу, несмотря на серьёзные вызовы сегодняшнего дня. На встрече с ректорами аграрных вузов Министр сельского хозяйства РФ Дмитрий Патрушев отметил: «Учитывая новые реалии, задача на перспективу состоит в том числе в подготовке кадров, способных находить грамотные и взвешенные решения в любых обстоятельствах» [1]. С учётом поставленной министром задачи на перспективу аграрные вузы должны готовить выпускников с высоким уровнем профессиональной компетентности, соответствующей как современному уровню развития сельского хозяйства, так и чрезвычайной ситуации международного масштаба. В этих условиях существенно возрастает роль профессионального сообщества и его взаимодействия с аграрными вузами в части формирования структуры и содержания образовательных программ и, что важно, оценивания соответствия подготовки выпускников запросам аграрного бизнеса. Возможности реализации новых подходов обусловлены выходом образовательных стандартов, ориентированных на профессиональные компетенции, а также разработкой механизмов независимой оценки квалификаций.

Целью работы явилась адаптация методических подходов независимой оценки квалификаций к процедуре оценивания уровня сформированности профессиональных компетенций обучающихся по образовательным программам применительно к направлению подготовки «Агроинженерия».

В рамках поставленной цели обсуждались два аспекта:

- насколько существующая структура подготовки кадров для АПК соответствует ожиданиям и современным потребностям аграрного бизнеса;
- возможно ли сочетание методологических подходов независимой оценки квалификаций и оценки освоения образовательных программ в процедурах промежуточной и итоговой аттестации выпускников вузов.

Адаптация технологии независимой оценки квалификаций к процедуре оценивания выпускников этих квалификаций

Обсуждая эти вопросы, целесообразно обратиться к мнению профессионального сообщества. В рамках поставленных задач был проведён анализ запроса регионального рынка труда в аграрной сфере (табл. 1).

При общей тенденции снижения напряжённости на региональном рынке труда в сельском хозяйстве потребность в специалистах основных квалификаций остаётся высокой. При этом если в растениеводстве и животноводстве понятен запрос бизнеса как с позиций отраслевых рамок квалификаций в области профессиональной деятельности

«Сельское хозяйство», так и с позиций, формируемых в процессе освоения образовательных программ высшего образования, профессиональных компетенций. Речь идёт о направлениях подготовки 35.03.04 Агрономия, 36.03.02 Зоотехния, специальности 36.05.01 Ветеринария, которые реализуются по обновлённым федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования (ФГОС ВО) [3, 5, 6] с учётом соответствующих профессиональных стандартов [7, 9, 10].

Таблица 1. Региональный рынок труда в сельском хозяйстве

Квалификация	Количество заявленных вакансий на год		Обратилось в службу занятости в поиске работы, чел.		Количество вакансий в расчёте на 1 обратившегося	
	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
Агроном	169	102	79	75	2,1	1,4
Зоотехник	132	84	42	53	3,1	1,6
Ветеринарный врач	356	226	99	78	3,6	2,9
Тракторист-машинист	655	440	130	125	5,0	3,5
Оператор комплексов и ферм КРС	97	158	66	141	1,5	1,1
Оператор свиноводческих комплексов	429	252	276	104	1,6	2,4
Оператор птицефабрик	136	27	77	19	1,8	1,4

Подготовка кадров по направлению 35.03.06 Агроинженерия также осуществляется в соответствии с обновлённым ФГОС ВО [4] с учётом профессионального стандарта «Специалист в области механизации сельского хозяйства» [11]. Однако основной запрос бизнеса в области агроинженерии связан со специалистами более низкого 4-го уровня. При этом квалификационные требования предполагают не только знание и умение в области машин и оборудования, но и специализированные знания в области растениеводства и животноводства, что делает вполне обоснованным подход Совета по профессиональным квалификациям агропромышленного комплекса к формированию образовательных программ высшего образования. По мнению этого компетентного органа, выпускник уровня высшего образования должен уметь выполнять трудовые действия более низкого уровня. Реализацией этой позиции является введение в образовательные программы по направлению подготовки «Агроинженерия» профессионального модуля по приобретению квалификации «Тракторист-машинист».

Для детализации проблем на региональном рынке труда агропромышленного комплекса было проведено анкетирование 22 ведущих групп компаний и органов исполнительной власти региона в аграрной сфере. Были заданы вопросы, касающиеся актуальности проблемы дефицита кадров как в разрезе всей компании, так и отдельных профессиональных квалификаций. На выбор компаний были предложены существующие и новые перспективные производственные квалификации. К первой категории были отнесены агрономы, зоотехники, агроинженеры, инженеры-энергетики, инженеры по механизации растениеводства и животноводства, ветеринарные врачи, технологи по хранению и переработке сельскохозяйственной продукции и другие традиционные специальности. Вторую категорию представляли генетики, биотехнологи, эмбриологи, биоинформатики, инженеры по навигации техники, специалисты по геоинформационным системам и др.

Результаты анкетирования компаний работодателей-партнёров ВГАУ показали:

- для 60% компаний проблема дефицита кадров является приоритетной, для оставшихся 40% она также важна, но уровень её актуальности оценивается в 4 балла из возможных 5;

- для 77% компаний необходимы сотрудники традиционных производственных специальностей – агроинженеры, агрономы, зоотехники, ветеринары и др.;
- ежегодно в отдельных компаниях востребованы до 65 агроинженеров, до 80 ветеринарных врачей, до 30 агрономов и других специалистов;
- потребность в новых производственных специальностях гораздо ниже, не превышает 10 специалистов в перспективе 3–5 лет, при этом отдельные достаточно мощные группы компаний делают ставку только на традиционные профессиональные квалификации.

Таким образом, агробизнес-сообществу по-прежнему нужны профессиональные кадры традиционных производственных квалификаций. При этом должен меняться уровень профессиональной компетентности таких специалистов, их соответствие современным аграрным технологиям и уровню развития аграрного бизнеса.

В этой связи встаёт вопрос корректности с точки зрения профессионального сообщества оценки результатов обучения по образовательным программам высшего образования как совокупности универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций на этапах промежуточной и итоговой аттестации. Индикаторы достижения компетенций только в образовательных программах, разработанных по федеральным государственным образовательным стандартам 3++, формируются с учётом обобщённых трудовых функций и трудовых функций профессиональных стандартов [2, 12]. При этом государственная система независимой оценки квалификаций практически сформирована. Приняты необходимые законодательные акты, в том числе Федеральный закон от 23.09.2016 № 238-ФЗ «О независимой оценке квалификаций». Создан совет по профессиональным квалификациям агропромышленного комплекса. На обсуждении находятся проекты профессиональных квалификаций в области сельского хозяйства и пищевой промышленности, которые сопоставляют квалификации (включая их уровень) с трудовыми функциями, установленными в профессиональных стандартах. Так, например, квалификация «Инженер-механик в сельском хозяйстве (6-й уровень квалификации)» оценивается на выполнение трудовых функций D/01.6 «Организация технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники в организации», D/02.6 «Организация эксплуатации сельскохозяйственной техники в организации», D/03.6 «Организация работы по повышению эффективности технического обслуживания и эксплуатации сельскохозяйственной техники» профессионального стандарта «Специалист в области механизации сельского хозяйства» [11]. При этом необходимым условием допуска к прохождению профессионального экзамена является наличие диплома о высшем образовании по направлению подготовки «Агроинженерия». Сформированная в университете образовательная программа также сопряжена с профессиональным стандартом «Специалист в области механизации сельского хозяйства» и направлена на формирование тех же трудовых функций.

Приведённые доводы свидетельствуют о целесообразности совмещения последовательного проведения процедур оценки квалификации для выпускников вузов. С этих позиций разработка оценочных процедур и средств промежуточной и итоговой аттестации может быть построена на технологии независимой оценки квалификаций.

С учётом особенностей методики разработки оценочных средств [8] для проведения независимой оценки квалификаций предложены макет и методические рекомендации фондов оценочных средств промежуточной аттестации по дисциплинам образовательных программ. Структура фонда оценочных средств (ФОС) включает: цели, задачи, предмет дисциплины, место в образовательной программе, в том числе взаимосвязь с другими дисциплинами. Эти параметры ФОС являются традиционными для образовательных программ высшего образования. Обоснование соответствия профессиональным стандартам приводится в специальных разделах, включающих сведения об обобщённых

функциях и трудовых функциях, формируемых в процессе освоения дисциплины, планируемых результатах обучения, сопряжённых с профессиональным стандартом.

В рамках оценочных средств разработаны спецификации заданий для теоретического и практического этапа промежуточной аттестации. ФОСы включают шкалы и критерии оценивания компетенций, полный набор оценочных материалов с привязкой к формируемым компетенциям и индикаторам их достижения. Обязательным разделом оценочных средств является информация об учебно-методическом, информационном, материально-техническом (включая программное) обеспечении подготовки и процедурах промежуточной аттестации. В отличие от методики проведения независимой оценки квалификаций в предложенных макетах исключена информация о кадровом обеспечении процедуры. Это связано с традиционным обязательным закреплением этапа промежуточной аттестации за преподавателем, ведущим дисциплину. При этом независимость процедуры может быть достигнута реализацией Положения университета о независимой оценке качества образования, в соответствии с которым в вузе на различных этапах аттестации, в том числе промежуточной, по дисциплинам (модулям) формируются комиссии, в состав которых вводятся представители организаций по профилю образовательных программ.

Проиллюстрируем предложенную сопряжённую методику промежуточной аттестации на примере дисциплины «Тракторы и автомобили» образовательной программы уровня бакалавриата «Агроинженерия», разработанной в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 23 августа 2017 г. № 813 [4]. В приведённом далее обсуждении фрагментарно покажем принципиальные отличительные формы, демонстрирующие элементы технологии независимой оценки квалификаций.

Образовательная программа ориентирована на 6-й уровень трудовых функций профессионального стандарта «Специалист в области механизации сельского хозяйства» (табл. 2) [11].

Таблица 2. Обобщённые функции и трудовые функции, формируемые в процессе освоения дисциплины

Код и наименование ПС	Обобщенные трудовые функции			Трудовые функции		
	код	наименование	уровень квалификации	наименование	код	уровень (подуровень) квалификации
13.001 Специалист в области механизации сельского хозяйства», утверждённый приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 02 сентября 2020 № 555н	D	Организация обслуживания и эксплуатации сельскохозяйственной техники	6-й	Организация технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники в организации	D /01.6	6-й
				Организация эксплуатации сельскохозяйственной техники в организации	D /02.6	6-й
				Организация работы по повышению эффективности технического обслуживания и эксплуатации сельскохозяйственной техники	D /03.6	6-й

Выбранные трудовые функции соответствуют квалификации «Инженер-механик в сельском хозяйстве (6-й уровень квалификации)», разработанной Советом по профессиональным квалификациям агропромышленного комплекса.

Планируемые результаты обучения, сопряжённые с профессиональным стандартом, приведём на примере профессиональной компетенции ПК-3 применительно к производственно-технологическому типу профессиональной деятельности (табл. 3).

Таблица 3. Планируемые результаты обучения, сопряжённые с профессиональным стандартом

Компетенция		Обобщённая трудовая функция		Трудовая функция		Индикатор достижения компетенции (ИДК)	
код	содержание	код	содержание	код	содержание	код	содержание
Тип задач профессиональной деятельности – производственно-технологический							
ПК-3	Способен организовать работу по повышению эффективности технического обслуживания и эксплуатации сельскохозяйственной техники	D	Организация обслуживания и эксплуатации сельскохозяйственной техники	D/03.6	Организация работы по повышению эффективности технического обслуживания и эксплуатации сельскохозяйственной техники	31	Основные положения теории двигателей внутреннего сгорания
						32	Основы теории мобильных энергетических средств
						33	Методика тягового расчёта мобильных энергетических средств
						У1	Применять положения теории двигателей внутреннего сгорания для повышения эффективности их эксплуатации
						У2	Применять основы теории мобильных энергетических средств для эффективного их использования
						У3	Определять параметры мобильных энергетических средств при их тяговом расчёте
						Н1	Разработки предложений по повышению эффективности использования мобильных энергетических средств с целью улучшения их эксплуатационных показателей
						Н2	Анализ результатов тягового расчёта мобильных энергетических средств

Примечание: З – знать, У – уметь, Н – иметь навыки и/или опыт деятельности.

Соответственно в спецификации заданий для проведения теоретического и практического этапа промежуточной аттестации приведены типы и номера заданий в привязке к индикаторам достижения компетенций: для оценки теоретических знаний – это, как правило, тесты, вопросы к зачёту, экзамену; для практического этапа – это задания для проверки умений и навыков, темы курсовых проектов. Приведём типовые оценочные материалы (табл. 4, 5).

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Таблица 4. Типовые задания для оценивания на теоретическом этапе (фрагмент)

№	Содержание	Компетенция	ИДК
Вопросы устного ответа			
1	Процессы действительных циклов четырехтактных автотракторных двигателей: общие сведения и основные показатели, применяемые для их оценки.	ПК-3	31
2	Процессы газообмена (впуск и выпуск) в автотракторных двигателях. Факторы, влияющие на эти процессы. Наддув двигателей.	ПК-3	31
Тесты			
1	Чем объяснить увеличение частоты вращения на холостом ходу по мере прогрева двигателя при условии, что положение рычага управления топливopодачей не меняется: - возрастанием механического КПД; - снижением мощности механических потерь; - ростом индикаторной мощности и снижением мощности механических потерь; - ростом часового расхода топлива.	ПК-3	37
2	Какой показатель наиболее точно характеризует динамические качества бензинового двигателя в условиях скоростной характеристики: - максимальный крутящий момент, развиваемый двигателем; - максимальная мощность, развиваемая двигателем; - коэффициент приспособляемости; - минимально устойчивая частота вращения при работе двигателя под нагрузкой.	ПК-3	37

Таблица 5. Типовые задания для оценивания на практическом этапе (фрагмент)

№	Содержание	Компетенция	ИДК
Задания для проверки умений			
1	Определите эффективный удельный расход топлива g_e дизельного двигателя, если известно, что индикаторная мощность двигателя $N_i = 76$ кВт, мощность механических потерь $N_m = 3$ кВт, а часовой расход топлива $G_T = 18$ кг/ч.	ПК-3	У5
2	Определите коэффициент запаса крутящего момента двигателя k_z , если известно максимальное значение крутящего момента $M_k \max = 299$ Н·м и значение эффективного крутящего момента при номинальной мощности двигателя $M_{кн} = 230$ Н·м.	ПК-3	У5
Темы курсового проектирования			
1	Тяговый расчёт нового трактора и нового автомобиля по заданным параметрам.	ПК-3	У1, У2, У3, Н1, Н2
2	Тяговый расчёт существующих (серийных) тракторов следующих марок: Т-25А, Т-30, Т-30А, ЛТЗ-55А, ЛТЗ-60А, ЛТЗ-60АБ, Беларус-80.1, Беларус-82.1, Беларус-1221, Беларус-921, Беларус-1025, Беларус-1523, Беларус-2023, Беларус-2523, Беларус-3025ДВ, ЮМЗ-6Л, РТМ-160, ЛТЗ-155.4, ДТ-75М, Агромаш-90ТГ, ХТЗ-150К, ХТЗ-150, ХТЗ-160, ХТЗ-170, Т-402, К-744Р, Т-130, Terrior; тракторы зарубежных производителей: Fendt, John Deere, New Holland, Fendt и др.	ПК-3	У1, У2, У3, Н1, Н2
Вопросы к защите курсового проекта			
1	Как определить коэффициент сопротивления качению и коэффициент сцепления?	ПК-3	У3
2	Почему тяговая мощность на тяговой характеристике сначала возрастает, а затем уменьшается?	ПК-3	Н2

В материально-техническом обеспечении процедуры промежуточной аттестации указываются аудитории и помещения, позволяющие оценить умения и навыки и/или опыт деятельности на практическом этапе, оснащённые тракторами и автомобилями, испытательными стендами, разрезами узлов и деталей, диагностическими комплектами и другим оборудованием в соответствии с типовыми заданиями теоретического и практического этапов.

Таким образом, разработанная на основе технологии независимой оценки квалификаций методика и оценочные средства промежуточной аттестации позволяют реализовать методологию формирования критериев подготовки обучающихся, максимально гармонирующую процедуры оценки сформированности компетенций образовательных программ и установления соответствия обязательных параметров профессиональных квалификаций, приведённых в отраслевой рамке квалификаций.

Предложенная методика апробирована на примере оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплинам направления подготовки «Агроинженерия».

Библиографический список

1. В Минсельхозе обсудили вопросы подготовки профессиональных кадров для АПК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/v-minselkhoze-obsudili-voprosy-podgotovki-professionalnykh-kadrov-dlya-apk/> (дата обращения: 10.11.2020).
2. Мишин И.Н. Критическая оценка формирования перечня компетенций в ФГОС ВО 3++ / И.Н. Мишин // Высшее образование в России. – 2018. – № 4. – С. 66–75.
3. Приказ Министерства образования и науки РФ от 26.07.2017 г. № 699 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_222784/ (дата обращения: 10.11.2020).
4. Приказ Министерства образования и науки РФ от 23.08.2017 г. № 813 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_278174/ (дата обращения 10.11.2020).
5. Приказ Министерства образования и науки РФ от 22.09.2017 г. № 972 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 36.03.02 Зоотехния» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_280600/ (дата обращения: 10.11.2020).

6. Приказ Министерства образования и науки РФ от 22.09.2017 г. № 974 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – специалитет по специальности 36.05.01 Ветеринария» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_280464/ (дата обращения: 10.11.2020).

7. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 21.12.2015 г. № 1034н «Об утверждении профессионального стандарта «Селекционер по племенному животноводству» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_193061/ (дата обращения: 10.11.2020).

8. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 01.11.2016 г. № 601н «Об утверждении Положения о разработке оценочных средств для проведения независимой оценки квалификации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_210077/ (дата обращения: 10.11.2020).

9. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 09.07.2018 г. № 454н «Об утверждении профессионального стандарта «Агроном» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_303575/ (дата обращения: 10.11.2020).

10. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 23.08.2018 г. № 547н «Об утверждении профессионального стандарта «Ветеринарный врач» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_309497/ (дата обращения: 10.11.2020).

11. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 02.09.2020 г. № 555н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист в области механизации сельского хозяйства» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363568/ (дата обращения: 10.11.2020).

12. Сенашенко В.С. Уровни сопряжения системы высшего образования и сферы труда / В.С. Сенашенко // Высшее образование в России. – 2018. – Т. 27, № 3. – С. 38–47.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Андрей Викторович Ворохобин – кандидат технических наук, врио проректора по заочному и дополнительному образованию, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dogrutzka@rambler.ru.

Наталья Митрофановна Дерканосова – доктор технических наук, профессор, врио проректора по учебной работе, зав. кафедрой товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kommerce05@list.ru.

Владимир Петрович Рябов – кандидат экономических наук, доцент кафедры информационного обеспечения и моделирования агроэкономических систем ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: vpriyabov@ya.ru.

Евгения Владимировна Талицких – директор АНО ДПО Учебный центр «Образование и карьера», вице-президент Межрегиональной ассоциации независимых экспертов по развитию квалификаций (МАНЭРК), Россия, г. Воронеж, e-mail: talitskih@manerk.ru.

Дата поступления в редакцию 12.11.2020

Дата принятия к печати 26.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Andrey V. Vorokhobin, Candidate of Engineering Sciences, Acting Vice Rector for Correspondence and Additional Education, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: dogrutzka@rambler.ru.

Natalia M. Derkanosova, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Acting Vice Rector for Academic Affairs, Head of the Dept. of Merchandizing and Expert Examination of Goods, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: kommerce05@list.ru.

Vladimir P. Ryabov, Candidate of Economic Sciences, Docent, the Dept. of Information Support and Modeling of Economic Systems in Agriculture, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: arle187@rambler.ru.

Evgeniya V. Talitskikh, Director, Education and Career Training Center, Vice-President of the Interregional Association of Independent Experts for Professional Qualifications Development, Russia, Voronezh, e-mail: talitskih@manerk.ru.

Received November 12, 2020

Accepted after revision December 26, 2020

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТОВ НА СОДЕРЖАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ФОСФОРА В ЧЕРНОЗЁМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО СТАЦИОНАРНОГО ОПЫТА

**Дмитрий Игоревич Бережнов
Елена Сергеевна Гасанова
Константин Егорович Стекольников**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Исследования по изучению влияния применения минеральных и органических удобрений, а также кальциевого мелиоранта на содержание различных форм фосфора проводились в условиях длительного стационарного опыта кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии Воронежского ГАУ. Опытный участок расположен в условиях лесостепной зоны ЦЧР. Почвенный покров представлен чернозёмом выщелоченным. Были изучены варианты с различными дозами вносимых минеральных удобрений, навоза и дёфекаата, а также контрольный вариант. В отобранных образцах определяли формы фосфора (общий, минеральный и органический) по методу Сендерса-Вильямса. В результате проведённых исследований было установлено, что интенсивное сельскохозяйственное использование способствовало повышению содержания изучаемых форм фосфора под всеми возделываемыми культурами севооборота как в пределах пахотного горизонта, так и до глубины 1 м. Распределение общего, минерального и органического фосфора по профилю характеризуется элювиально-иллювиальным типом. Кальциевый мелиорант (дёфекаат) стабилизирует фосфорный режим почв и увеличивает содержание минерального фосфора по почвенному профилю по сравнению с неизвесткованными вариантами. Установлено, что фосфорный режим находится в тесной зависимости от условий увлажнения. В годы с дефицитом влаги и под культурами интенсивного выноса элементов питания снижается содержание общего и минерального фосфора. Наибольшее влияние дефицит влаги оказывает на снижение содержания органического фосфора. При изучении взаимосвязи содержания общего и минерального фосфора с характеристиками гранулометрического состава выявлено, что общий и минеральный фосфор слабо связаны с содержанием крупных гранулометрических фракций, органофосфаты имеют преимущественно слабую связь с более тонкими фракциями.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фосфор общий, минеральный, органический, характер распределения по профилю, удобрения, дёфекаат.

EFFECT OF APPLICATION OF FERTILIZERS AND AMELIORANTS ON THE CONTENT OF VARIOUS FORMS OF PHOSPHORUS IN LEACHED CHERNOZEM UNDER CONDITIONS OF LONG-TERM STATIONARY EXPERIMENT

**Dmitriy I. Berezhynov
Elena S. Gasanova
Konstantin E. Stekolnikov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Studies on the effect of mineral and organic fertilizers application, as well as calcium ameliorant on the content of various forms of phosphorus were conducted in the conditions of long-term stationary experiment of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology of Voronezh State Agrarian University. The experimental plot is located in the conditions of the forest-steppe zone of the Central Chernozem Region. The soil is represented by leached chernozem. Variants with different doses of applied mineral fertilizers, manure and dewater were studied, as well as a control variant. In the selected samples, the forms of phosphorus (total, mineral, and organic) were determined by the Sanders-Williams method. As a result of the conducted studies, it was found that intensive agricultural use contributed to an increase in the content of the studied forms of phosphorus under all cultivated cultures of the crop rotation both within the arable horizon and to a depth of 1 m.

The distribution of total, mineral, and organic phosphorus along the profile was characterized by an eluvio-illuvial type. Calcium ameliorant (defecate) stabilized the phosphorus regime of soils and increased the content of mineral phosphorus in the soil profile in comparison with the variants without liming. It is established that the phosphorus regime is closely dependent on the humidification conditions. In years with a lack of moisture and under crops of intensive removal of food elements, the content of total and mineral phosphorus decreases. The greatest impact of the lack of moisture has on the reduction of the content of organic phosphorus. When studying the relationship between the content of total and mineral phosphorus and the characteristics of the granulometric composition, it was found that total and mineral phosphorus are weakly related to the content of large granulometric fractions, organophosphates have a predominantly weak relationship with finer fractions.

KEYWORDS: total phosphorus, mineral, organic, distribution pattern by profile, fertilizers, defecate.

Введение

Фосфор, один из числа распространённых элементов, был открыт Х. Брэндом в 1669 г., а А.Л. Лавуазье много позже доказал, что фосфор является самостоятельным химическим элементом. Ж.Л. Пруст и М. Клапрот показали, что фосфор широко распространён в земной коре, главным образом в виде фосфата кальция. Фосфор, подобно углероду, водороду и азоту, – необходимая составная часть всех живых клеток животных и растений (особенно богаты органическими соединениями фосфора мозг и нервные клетки). В силу своей химической активности фосфор в природе в свободном виде не встречается. Главным образом он встречается в виде фторапатитов, фосфоритов, трифилитов [4, 8, 9].

Фосфор является уникальным элементом, что обусловлено количеством реакций и форм, в виде которых он находится в почве. Содержание фосфора на планете составляет 10^{19} т, из них 10^{15} т сосредоточено в земной коре, донных отложениях мирового океана и гумусовых горизонтах почв. Основной природный источник фосфора – горные породы, из которых в процессе выветривания фосфаты первичных минералов вовлекаются в биологический круговорот – переходят в раствор, поглощаются живыми организмами и способствуют образованию в почве его вторичных форм, которые обладают подвижностью и доступностью для растений и являются наиболее ценной частью почвенных фосфатов [8].

Фосфор – незаменимый элемент питания живых организмов, который определяет процессы энергообмена в клетках. Работы, направленные на изучение содержания фосфора и превращения его соединений в педосфере, были начаты еще в XIX веке. В то же время основополагающие аспекты миграции фосфора, мобилизации микроорганизмами и концентрации фосфора в системе почва – растения недостаточно изучены.

Современным поборникам биологического земледелия очень полезно напомнить слова первого русского доктора по агрономии А.В. Советова, который считал, что навоз может быть единственным удобрением, позволяющим обходиться в земледелии без минеральных туков. Ещё в 1869 г. в рецензии на монографию А.В. Советова «О разведении кормовых трав на полях» П.А. Костычев написал по этому поводу, что такой взгляд – «совершенно не верен... хозяйство никогда не может иметь собственных средств для полного возврата веществ в почву и должно прибегнуть для этого или к помощи технических средств, или к покупке искусственных удобрений». А в заключение своей рецензии он отметил: «Везде навозу придаётся какое-то мистическое значение, а между тем не сказано, как изменяется круговорот питательных веществ при травосеянии, сравнительно с трёхпольной системой» [6]. Здесь ведь речь идёт о включении в севооборот многолетних трав, с помощью которых надеялись покрыть дефицит элементов питания. Начинаящий учёный в середине XIX века осознавал значение возврата элементов питания в почву, а современным учёным, земледельцам и растениеводам надо это доказывать и объяснять, так как они не признают круговорот элементов питания.

В настоящее время проблема фосфорного питания растений стоит очень остро. Наиболее достоверную информацию о режиме фосфора в почве можно получить в длительных опытах с удобрениями. Именно поэтому представленные исследования вы-

полнены в условиях длительного стационарного опыта с различными дозами удобрений и мелиоранта.

Целью исследований является изучение влияния длительного применения минеральных и органических удобрений, а также дефеката на количество различных форм фосфора и характер их распределения по почвенному профилю за ротацию зернопаропропашного севооборота на чернозёме выщелоченном в условиях лесостепи ЦЧР.

Объект и методы исследований. Исследования выполнены на стационаре кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии Воронежского ГАУ.

Почвенный покров стационара представлен чернозёмом выщелоченным малогумусным среднеспособным тяжелосуглинистым. Подробно схема опыта и исходные характеристики объекта исследований представлены в работе [2].

Были изучены следующие варианты опыта:

- 1 – контроль;
- 2 – фон (40 т/га навоза);
- 3 – фон + N₆₀P₆₀K₆₀;
- 5 – фон + N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀;
- 13 – фон + 21 т/га дефеката;
- 15 – фон + дефекат + N₆₀P₆₀K₆₀.

Отбор почвенных образцов осуществлялся послойно с шагом 20 см до глубины 1 м.

При выполнении работы определялось содержание различных форм фосфора по методу Сендерса-Вильямса.

Результаты и их обсуждение

Фосфор является макроэлементом минерального питания, при этом он существенно отличается от калия и азота по доступности растениям. Коэффициент использования азота и калия из почвы и удобрений составляет 40–70%, фосфора – всего 7–21%.

Подвижность и соответственно доступность соединений фосфора растениям зависят от реакции среды, гранулометрического, минералогического состава и содержания органического вещества в почве. При pH ниже 4,5 фосфор закрепляется железом, в диапазоне 4,5–6,0 он связывается с алюминием, а при pH 7–9 осаждается кальцием. Диапазон максимальной доступности фосфора находится в пределах pH 6–7. Таким образом, при подкислении почв, как это ни странно, существенно повышается доступность соединений фосфора растениям, несмотря на то что при этом существенно ухудшаются свойства почвы. Именно поэтому в конце 90-х годов прошлого столетия агрохимической службой ЦЧР было отмечено резкое снижение применения минеральных удобрений, при этом обеспеченность пашни данного региона подвижными формами фосфора существенно увеличилась. Это противоречивое явление требовало объяснения. И оно есть. За период с 1970 по 1990 г. дозы минеральных удобрений в ЦЧР возросли в среднем с 40–60 до 120–150 кг/га. Если в 1988 г. в СССР было внесено 13,3 млн т минеральных удобрений, то в 1996 г. в России – всего 1,2, т. е. в 10 раз меньше. Произошло существенное подкисление пахотных почв в результате длительного применения высоких доз минеральных удобрений. Следствием этого стало значительное повышение обеспеченности почв подвижными формами фосфора на фоне низких доз внесения минеральных удобрений.

Почва территории, на которой расположен длительный стационар факультета агрономии, агрохимии и экологии Воронежского государственного аграрного университета, характеризуется повышенной кислотностью как в исходном состоянии, так и за исследуемый период, поэтому содержание общего фосфора в опыте высокое, хотя и неодинаковое по вариантам. Данные, характеризующие содержание общего фосфора и его изменение за ротацию севооборота на вариантах опыта, представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1. Содержание общего фосфора под культурами севооборота

Варианты опыта	Слой, см	Содержание общего фосфора, мг/кг почвы					
		2015 г., озимая пшеница	2016 г., ячмень	2017 г., пар	2018 г., озимая пшеница	2019 г., сахарная свёкла	2020 г., вико-овсяная смесь
1	0–20	252	712	522	562	207	330
	20–40	220	690	413	518	155	250
	40–60	172	562	460	355	191	272
	60–80	134	456	343	252	215	255
	80–100	174	435	228	217	243	283
2	0–20	296	804	610	459	293	355
	20–40	404	722	550	405	267	394
	40–60	367	700	404	294	237	296
	60–80	150	456	342	231	289	252
	80–100	228	419	281	265	276	194
3	0–20	363	850	624	602	320	506
	20–40	244	570	684	435	307	344
	40–60	169	469	427	289	276	228
	60–80	134	438	363	259	307	244
	80–100	146	440	333	233	217	276
5	0–20	287	916	776	634	283	516
	20–40	346	726	750	569	259	307
	40–60	313	402	536	409	280	350
	60–80	309	465	335	252	250	278
	80–100	355	410	304	235	207	241
13	0–20	270	806	570	502	335	318
	20–40	244	664	566	454	296	259
	40–60	233	556	427	217	278	307
	60–80	204	522	421	248	209	305
	80–100	235	394	355	107	171	204
15	0–20	415	802	600	241	396	386
	20–40	392	558	298	289	280	315
	40–60	261	438	465	348	315	367
	60–80	254	604	413	257	305	324
	80–100	243	552	350	261	298	333

Как следует из данных таблицы 1, содержание общего фосфора очень сильно варьирует в течение всего времени наблюдений и имеет различный характер его распределения по профилю почвы. Максимальное содержание общего фосфора наблюдалось под ячменём в 2016 г., а минимальное – под сахарной свёклой в 2019 г. Содержание этой формы фосфора в пахотном слое в 2016 г. составляло соответственно 712, 804, 850, 916, 806 и 802 мг/кг по вариантам опыта, а в 2019 г. – 207, 293, 320, 283, 335 и 396 мг/кг. Отмечено снижение содержания общего фосфора в 2019 г. по отношению к 2016 г. в 2,5–3,5 раза, что обусловлено высоким выносом фосфора с урожаем сахарной свёклы при низкой урожайности ячменя (табл. 2).

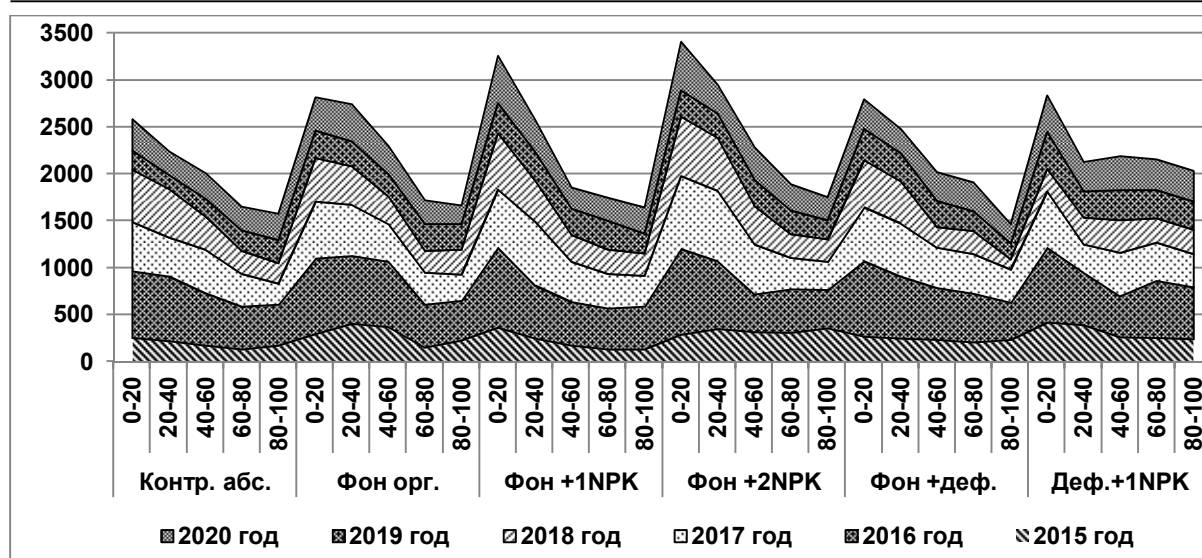


Рис. 1. Содержание и характер дифференциации общего фосфора по годам и вариантам опыта, мг/кг почвы

Как уже отмечалось выше, содержание общего фосфора зависит от многих параметров почвы. Есть связь его содержания и с урожайностью возделываемых в опыте сельскохозяйственных культур (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность сельскохозяйственных культур, т/га

Вариант опыта	2015 г., озимая пшеница + овёс, з/м	2016 г., ячмень	2017 г., пар	2018 г., озимая пшеница	2019 г., сахарная свёкла	2020 г. вико-овсяная смесь, з/м
1	13,90	2,23	-	3,73	32,1	-
2	15,36	2,32	-	4,22	37,4	-
3	16,62	3,18	-	5,06	42,2	-
5	18,75	3,75	-	5,13	43,7	-
13	14,64	2,71	-	3,71	35,1	-
15	18,21	3,39	-	4,64	42,8	-
НСР _{0,95} , т/га	-	0,41	-	0,8	4,38	-
Sx, %	-	4,7	-	6,5	3,81	-

Урожайность по годам наблюдений была неодинаковой и определялась главным образом условиями увлажнения вегетационных периодов. Весной 2015 г. посевы озимой пшеницы из-за засухи были сильно изреженными, что послужило основанием для подсева овса. В связи с неодновременным развитием озимой пшеницы и овса было принято решение об уборке на зелёный корм. Такая же ситуация сложилась и на варианте вико-овсяной смеси в 2020 г., скошенной на зелёный корм без учёта урожая.

Известно, что ячмень способен удовлетворительно использовать последствие минеральных и органических удобрений. Тем не менее засуха вегетационного периода 2015 г. не позволила сработать на урожай внесённым под озимую пшеницу минеральным удобрениям. Июнь и июль 2016 г. характеризовались резким дефицитом влаги, гидротермический коэффициент (ГТК) – соответственно 0,76 и 0,56, что и обусловило низкую урожайность ячменя. Чем же в таком случае объяснить столь высокое содержание общего фосфора под культурой ячменя? Скорее всего, это обусловлено высоким содержанием органического фосфора, что подтверждается нашими данными (табл. 4).

Следует отметить, что помимо разного содержания общего фосфора на вариантах опыта за исследуемый период мы наблюдаем и различный характер его дифференциации по профилю анализируемой почвы (рис. 1). Только на контрольном варианте распределение общего фосфора по профилю соответствует прогрессивно убывающему типу, на остальных вариантах, особенно при совместном применении минеральных и органических туков, он элювиально-иллювиальный. Минимальная степень выраженности подобного типа распределения общего фосфора наблюдается на вариантах органического фона (вариант 2), с мелиорантом по фону навоза (вариант 13) и совместно с одинарной дозой минеральных удобрений (вариант 15).

Данные, характеризующие содержание и характер распределения по профилю минерального фосфора, представлены в таблице 3 и на рисунке 2.

Таблица 3. Содержание минерального фосфора под культурами севооборота

Варианты опыта	Слой, см	Содержание минерального фосфора, мг/кг почвы					
		2015 г., озимая пшеница	2016 г., ячмень	2017 г., пар	2018 г., озимая пшеница	2019 г., сахарная свёкла	2020 г., вико-овсяная смесь
1	0–20	211	259	211	167	193	237
	20–40	146	187	205	164	122	235
	40–60	126	171	126	117	126	246
	60–80	121	228	103	114	126	248
	80–100	98	187	102	105	141	246
2	0–20	250	361	252	189	231	285
	20–40	141	270	146	157	119	330
	40–60	148	218	141	117	122	274
	60–80	100	226	126	105	131	194
	80–100	136	228	133	105	143	172
3	0–20	257	352	285	235	217	318
	20–40	218	241	267	171	129	254
	40–60	133	204	136	131	112	169
	60–80	114	211	121	103	100	204
	80–100	78	244	128	124	136	167
5	0–20	276	438	309	250	248	326
	20–40	239	326	268	274	133	237
	40–60	300	198	133	148	114	193
	60–80	276	224	124	100	100	217
	80–100	235	205	112	103	187	198
13	0–20	246	357	233	189	202	300
	20–40	218	244	146	145	187	211
	40–60	169	243	124	100	121	143
	60–80	133	211	121	109	95	136
	80–100	128	276	141	79	105	171
15	0–20	280	350	259	213	205	365
	20–40	226	224	110	171	114	280
	40–60	146	233	133	128	124	187
	60–80	152	250	121	119	134	165
	80–100	146	243	90	109	115	143

Как следует из данных таблицы 3, содержание минерального фосфора заметно различается как по вариантам опыта, так и по годам наблюдений. Максимальное содержание минерального фосфора отмечается под ячменём, а минимальное – под озимой пшеницей. Высокое содержание минерального фосфора обусловлено тем, что после избыточного увлажнения в апреле и мае (ГТК соответственно 5,44 и 1,62) в период активного развития ячменя сложился резкий дефицит влаги: ГТК в июне и июле составлял 0,76 и 0,56. Это, как уже отмечалось выше, способствовало низкой продуктивности ячменя и незначительному выносу фосфора с урожаем.

Вегетационный период в 2018 г. был более благоприятным для формирования хорошего урожая озимой пшеницы (3,73–5,13 т/га, табл. 2) и соответственно более высокого выноса фосфора с урожаем.

Характер распределения по профилю минерального фосфора наглядно представлен на рисунке 2.

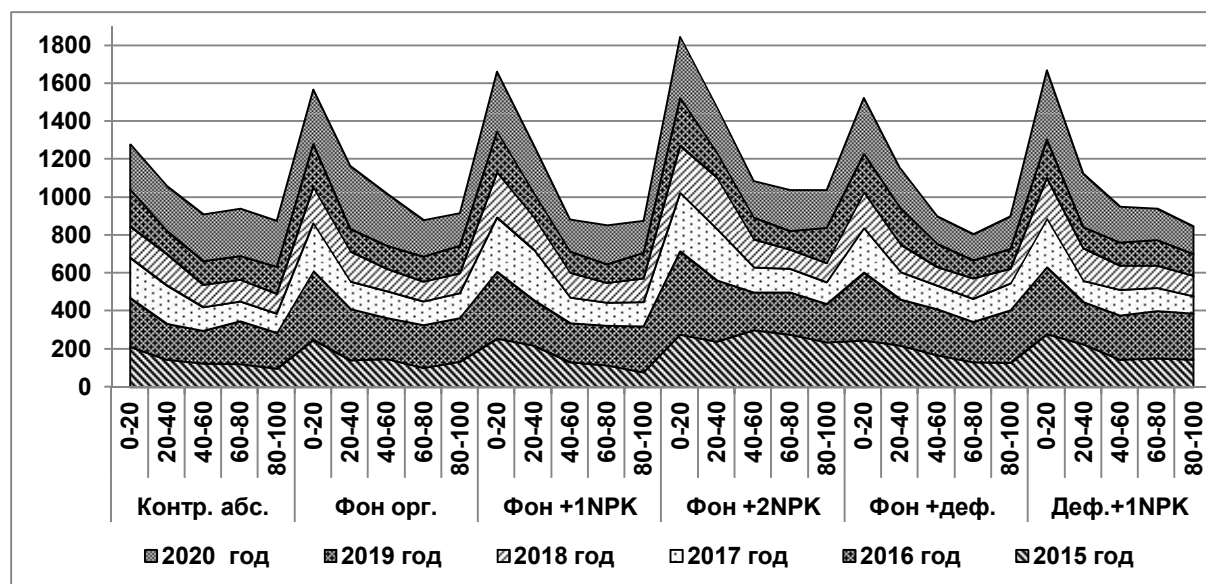


Рис. 2. Особенности дифференциации минерального фосфора по почвенному профилю, мг/кг почвы

Что касается минерального фосфора, то в отношении этой формы сохраняются особенности распределения по профилю, выявленные для общего фосфора: на абсолютном контроле – прогрессивно убывающий тип, а на остальных вариантах опыта – преимущественно элювиально-иллювиальный. Как следует из данных таблицы 3 и рисунка 2, содержание минерального фосфора очень динамично как по годам наблюдений, так и по вариантам опыта. Максимальное содержание его по всему профилю изучаемой почвы наблюдалось в 2016 г. под культурой ячменя, т. е. так же, как и общего фосфора. Минимальное содержание отмечается в 2018 г. под озимой пшеницей, размещённой по чистому пару.

Применение удобрений приводит к существенному возрастанию содержания минерального фосфора во всей почвенной толще. Общей закономерностью в распределении минерального фосфора является повышение его содержания в нижней части профиля. Может возникнуть вполне закономерный вопрос, с чем связано высокое содержание минерального азота в нижней части профиля почвы? Тем более что в науке и практике сложилось устойчивое мнение о низкой миграционной способности соединений минерального фосфора. Дать прямой и обоснованный ответ пока нельзя, так как в старейшем аграрном вузе нет необходимого оборудования для исследования минералогического состава почв. Знание о содержании и характере распределения минералов этой группы позволяет оценить валовое содержание фосфора, а следовательно, и его доступность растениям, направление и характер перераспределения по профилю. Ведь в естественных почвах минералы группы апатита являются единственным источником фосфора для растений.

Считаем, что это может быть обусловлено тем, что в нижней части профиля реакция среды смещается в щелочной диапазон, тем более что в отдельные годы в этой части профиля могут появляться подвижные карбонаты. В данном случае даже временно формирующийся карбонатный горизонт играет роль биогеохимического барьера для подвижных форм фосфора. В этом отношении представляют особый интерес данные, полученные на вариантах с мелиорантом.

Выше отмечалось, что мы изучаем не прямое действие кальциевого мелиоранта, а его последствие. Однако даже последствие дефеката приводит к возрастанию содержания минерального фосфора по почвенному профилю по сравнению с неизвестковыми вариантами.

Показатели дифференциации органического фосфора представлены в таблице 4 и на рисунке 3. Прежде всего, отметим очень высокое (в 3–10 раз выше) содержание органического фосфора в 2016–2018 гг. под ячменём, в паровом поле и под озимой пшеницей. Максимальное содержание этой формы фосфора наблюдалось в 2016 г. Основной причиной мы считаем самые благоприятные условия увлажнения вегетационного периода этого года по сравнению с остальными годами наблюдений. Так, ГТК вегетационного периода был равен 1,36, в апреле – 5,44, мае – 1,62, но уже с июня наблюдалась засуха, наиболее резко проявившаяся в июле, т. е. в период максимального формирования урожая (ГТК = 0,56). Это, несомненно, сказалось на низкой продуктивности ячменя (табл. 2)

Таблица 4. Содержание органического фосфора под культурами севооборота

Варианты опыта	Слой, см	Содержание органического фосфора, мг/кг почвы					
		2015 г., озимая пшеница	2016 г., ячмень	2017 г., пар	2018 г., озимая пшеница	2019 г., сахарная свёкла	2020 г., вико-овсяная смесь
1	0–20	41	453	311	395	14	93
	20–40	74	503	208	354	33	15
	40–60	46	391	334	238	67	26
	60–80	13	228	240	138	89	7
	80–100	76	248	226	112	102	37
2	0–20	46	443	358	270	62	70
	20–40	263	452	404	248	148	64
	40–60	219	482	363	177	115	22
	60–80	50	230	216	126	158	58
	80–100	92	291	148	160	133	22
3	0–20	106	498	339	367	103	188
	20–40	26	329	417	264	178	90
	40–60	36	265	281	158	164	59
	60–80	20	227	242	156	207	40
	80–100	68	196	205	109	81	109
5	0–20	11	478	467	304	35	190
	20–40	107	400	482	295	126	70
	40–60	13	204	403	261	166	157
	60–80	33	241	211	152	150	61
	80–100	120	205	192	132	20	43
13	0–20	24	449	367	313	133	18
	20–40	26	420	420	309	109	48
	40–60	64	313	303	117	157	164
	60–80	71	311	300	139	114	169
	80–100	107	118	214	28	66	33
15	0–20	135	452	341	28	191	21
	20–40	166	334	188	118	166	35
	40–60	115	205	332	220	191	180
	60–80	102	354	292	138	171	159
	80–100	97	309	260	152	183	190

Для понимания процессов накопления и минерализации органических соединений фосфора необходимо учитывать несколько обстоятельств. К. Блек (1973) при изу-

чении влияния азота на растения установил, что с возрастанием вносимых доз удобрений урожай надземной массы возрастает более интенсивно, чем вес корневой системы: людям – самые верхушки, почве – все остальное [4]. С урожаем зерновых и однолетних трав отчуждается 60–65% от биомассы, кукурузы – 70–73%, сена многолетних трав – 40%. Оставшаяся часть биомассы поступает в почву и подвергается процессам гумификации или минерализации.

Основные сельскохозяйственные культуры по количеству накопленных растительных остатков располагаются следующим образом: в Нечернозёмной зоне – многолетние травы (100%), кукуруза (56%), озимые (50%), яровые зерновые (39%), зернобобовые (28%); в Центрально-Чернозёмном регионе – многолетние травы (100%), озимая пшеница (48%), кукуруза (38%), яровые зерновые (37%), подсолнечник (36%), зернобобовые (35%), сахарная свёкла (31%).

На чернозёме обыкновенном юго-восточной степи Украины после выращивания озимой пшеницы в почве аккумулировалось 3,2–3,8 т/га органического вещества, после кукурузы – 2,0–2,4, ячменя – 1,3–1,8 т/га. В севооборотах Центрального Предкавказья формировалось 3,8–4,2 т/га пожнивно-корневых остатков, внесение удобрений способствовало увеличению их массы на 5,9–9,7% [5].

Установлено, что с ростом урожайности сельскохозяйственных культур количество корневых и пожнивных остатков увеличивается. Однако их процентное содержание в общей биомассе снижается. Количество растительных остатков озимых зерновых при урожаях 1,0–1,5 т/га составляет 2,3 т/га, яровых – 1,8, в то время как при урожаях 3,0–4,0 т/га – соответственно 4,5 и 3,5 т/га. В то же время количество органического углерода в пожнивных и корневых остатках перед уборкой растений меньше, чем его образуется в течение всей вегетации. Это связано с тем, что значительное количество органического вещества поступает в почвенную толщу с прижизненными выделениями и отмершими корнями.

Отмершие корни образуют 20% от веса живых корней, корневые выделения – 10%, слизистые выделения зерновых культур могут достигать сотен кубических метров и приближаться к высокому урожаю зерна.

Процентное отношение отчуждаемой массы корневых и пожнивных остатков зависит от почвенно-климатических условий, уровня урожайности, ботанических особенностей культуры и агротехники ее выращивания. Например, в аридных районах масса корневых остатков в общей массе всего растения выше [3, 4]. Видимо, эта особенность проявила себя в случае с ячменем.

В условиях неблагоприятного минерального питания и при дефиците влаги рост надземной части растений тормозится, а корней – усиливается. При оптимальных условиях увлажнения и минерального питания интенсивнее развивается надземная часть растений. Недостаток влаги и элементов питания обусловил усиленный рост корневой системы на абсолютном контроле, а на удобренных вариантах накопилось больше надземной биомассы, в том числе пожнивных остатков.

Известно давно, что в почву с растительными остатками возвращается значительная часть основных (и не только основных) элементов. По данным Ф.И. Левина [11], в почву возвращается 27,0–60,5% азота, 18,5–51,7% фосфора, 16,7–48,1% калия, 27,6–54,0% кальция (% от их общего количества в урожае). Это даёт основание для утверждения, что высокое содержание органофосфатов под ячменём в значительной мере обусловлено возвратом фосфора с побочной продукцией, особенно на удобренных вариантах.

Следует отметить, что на вариантах с дефекатом мы наблюдаем высокое содержание органофосфатов, и это притом, что дефекаат не вносился. Дефекаат даже в последствии оказывает существенное влияние на накопление органофосфатов. Низкое содержание органофосфатов под сахарной свёклой обусловлено высоким выносом фосфора с урожаем и незначительным возвратом с побочной продукцией. Низкое содержание органофосфатов под вико-овсяной смесью связано с засухой и низкой продуктивностью.

Особенности профильного распределения органофосфатов представлены на рисунке 3. Как и в случае с общим и минеральным фосфором, характер распределения по профилю органофосфатов на варианте контроля соответствует прогрессивно убывающему типу, а на остальных – элювиально-иллювиальному. Удобрения способствуют существенной дифференциации почвенного профиля по содержанию органофосфатов, а внесение дефеката снижает её.

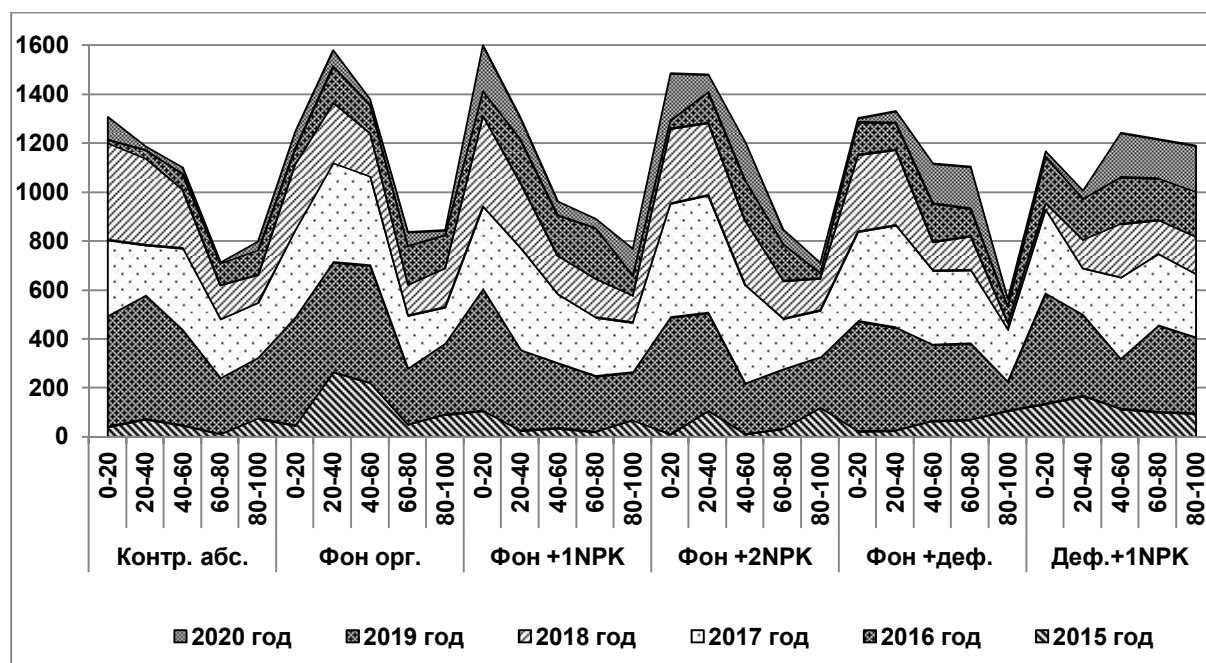


Рис. 3. Особенности дифференциации органического фосфора по почвенному профилю, мг/кг почвы

Для выявления особенностей накопления наиболее доступных для сельскохозяйственных культур форм фосфора мы выразили содержание минерального и органического фосфора в % от содержания общего фосфора. Результаты представлены в таблице 5 и на рисунках 4 и 5.

Как следует из данных таблицы 5, относительное содержание минерального фосфора очень динамично как по годам наблюдений, так и по вариантам опыта. Максимальное накопление его наблюдается в 2015 г. под озимой пшеницей с подсевом овса – 67,47–96,17%, а также в 2020 г. под вико-овсяной смесью – 62,85–94,56%. Минимальное содержание минерального фосфора наблюдается под озимой пшеницей, размещённой по пару в 2018 г., – 29,71–88,38%. Внесение органических и минеральных удобрений в целом обеспечивает более высокое содержание минерального фосфора по всему профилю в сравнении с вариантом абсолютного контроля.

Содержание органического фосфора имеет закономерно обратный характер. Годам с максимальным содержанием минерального фосфора соответствуют годы с минимальным содержанием органического фосфора. Как и в случае с минеральным фосфором, внесение органических и минеральных удобрений обеспечивает более высокое относительное содержание органического фосфора и более равномерное его распределение по профилю. Засуха проявилась в снижении накопления органофосфатов в 2015 и 2020 гг. Это хорошо подтверждается полученными нами данными по относительному содержанию органофосфатов. Особо критическое положение складывается на варианте абсолютного контроля в 2020 г., когда относительное содержание органофосфатов снижалось от 28,18% в пахотном слое до 2,75% в слое 60–80 см. Это самое низкое содержание за весь период наблюдений.

Как уже отмечалось выше, максимальное содержание минерального фосфора наблюдается в засушливые 2015 и 2020 гг. (рис. 4). Следует отметить, что характер распределения относительного содержания минерального фосфора на всех вариантах опыта соответствует элювиально-элювиальному типу (табл. 5). Минимальная степень дифференциации профиля наблюдается на всех изучаемых вариантах опыта, за исключением варианта с двойной дозой минеральных удобрений по фону навоза (вариант 5).

Отметим, что известкованные варианты в течение всех лет наблюдений отличаются от остальных вариантов опыта существенно меньшей степенью дифференциации профиля, что позволяет сделать предварительный вывод о том, что даже в последствии дефекат способен стабилизировать фосфатный режим изучаемой почвы.

Таблица 5. Содержание минерального и органического фосфора под культурами севооборота, % от общего

Варианты опыта	Слой, см	P ₂ O ₅ минеральный, % от общего P ₂ O ₅						P ₂ O ₅ органический, % от общего P ₂ O ₅					
		2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
1	0–20	83,73	36,38	42,42	29,71	93,24	71,82	16,27	63,62	57,58	70,29	6,76	28,18
	20–40	66,36	27,10	49,64	31,66	78,71	94,00	33,64	72,90	50,36	68,34	21,29	6,00
	40–60	73,26	30,43	27,39	32,96	65,97	90,44	26,74	59,57	72,61	67,04	34,03	9,56
	60–80	90,30	50,00	30,03	45,24	58,60	97,25	9,70	50,00	69,97	54,76	41,40	2,75
	80–100	56,32	42,99	44,74	48,39	58,02	86,93	43,68	51,01	55,26	51,61	41,98	13,07
2	0–20	84,46	44,90	41,31	41,18	78,84	80,28	15,54	55,40	58,69	58,82	21,16	19,72
	20–40	65,10	37,40	26,54	38,76	44,57	83,76	34,90	62,60	73,46	61,24	55,43	16,24
	40–60	59,67	31,14	34,90	39,80	51,48	92,57	40,33	68,86	65,10	60,20	48,52	7,43
	60–80	66,67	49,56	36,84	45,45	45,33	76,98	33,33	50,44	63,16	54,55	54,67	23,02
	80–100	59,65	54,41	47,33	39,62	51,81	88,66	40,35	45,59	52,67	60,38	48,19	11,34
3	0–20	70,80	41,41	45,67	39,04	67,81	62,85	29,20	58,59	54,33	60,96	32,19	37,15
	20–40	89,34	42,28	39,03	39,31	42,02	73,84	10,66	57,72	60,97	60,69	57,98	26,16
	40–60	78,70	43,50	31,85	45,33	40,58	74,12	21,20	56,50	68,15	54,67	59,42	25,88
	60–80	85,07	48,17	33,33	39,77	32,57	83,61	14,93	51,83	66,67	60,23	67,43	16,39
	80–100	53,42	55,45	38,44	52,22	62,67	60,51	46,58	44,55	61,56	47,78	37,33	39,49
5	0–20	96,17	47,82	39,82	39,43	87,63	63,18	3,83	52,18	60,18	60,57	12,37	36,82
	20–40	69,07	44,90	35,73	48,15	51,35	77,20	30,93	55,10	64,27	51,85	48,65	22,80
	40–60	95,85	49,25	24,81	36,19	40,71	55,14	4,15	50,75	75,19	63,81	59,29	54,86
	60–80	89,32	48,17	37,01	39,68	40,00	78,06	10,68	51,83	62,99	60,32	60,00	21,94
	80–100	66,20	50,00	36,84	43,83	90,34	82,16	33,80	50,00	63,16	56,17	9,66	17,84
13	0–20	91,11	44,29	40,88	37,65	60,30	94,34	8,89	55,71	59,12	62,35	39,70	5,66
	20–40	89,34	36,75	25,79	31,94	63,18	81,47	10,66	63,25	74,21	68,06	36,82	18,53
	40–60	72,53	43,70	29,04	46,08	43,52	46,58	27,47	56,30	70,96	53,92	56,48	53,42
	60–80	65,20	40,42	28,74	43,95	45,45	44,59	34,80	59,58	71,26	56,05	54,55	55,41
	80–100	54,47	70,05	39,72	73,83	61,40	83,82	45,53	29,95	60,28	26,17	38,60	6,18
15	0–20	67,47	43,64	43,17	88,38	51,77	94,56	32,53	56,36	56,83	11,62	48,23	5,44
	20–40	57,65	40,14	36,91	59,17	40,71	88,89	42,35	59,86	63,09	40,83	59,29	11,11
	40–60	55,94	53,20	28,60	36,78	39,36	50,95	44,06	46,80	71,40	63,22	60,64	49,05
	60–80	59,84	41,39	29,30	46,30	43,93	50,93	40,16	58,61	70,70	53,70	56,07	49,07
	80–100	60,08	44,02	25,71	41,76	38,59	42,94	39,92	55,98	74,29	58,24	61,41	57,06

Как следует из данных таблицы 5, максимальное относительное содержание органического фосфора отмечалось в 2016 и 2018 гг. Это годы с относительно стабильным увлажнением. Тем более что в 2018 г. поле было под озимой пшеницей, размещённой по пару, в котором было внесено 40 т/га навоза, что обусловило повышение содержания органического фосфора. Минимальное относительное содержание органи-

ческого фосфора выявлено в 2015 и 2020 гг. Наибольшая степень дифференциации по относительному содержанию органического фосфора наблюдалась в 2020 г. под вико-овсяной смесью. В значительной степени это обусловлено малым количеством корневых остатков предшественника – сахарной свёклы.

Данные, характеризующие распределение по профилю относительного содержания минерального и органического фосфора, представлены на рисунках 4 и 5.

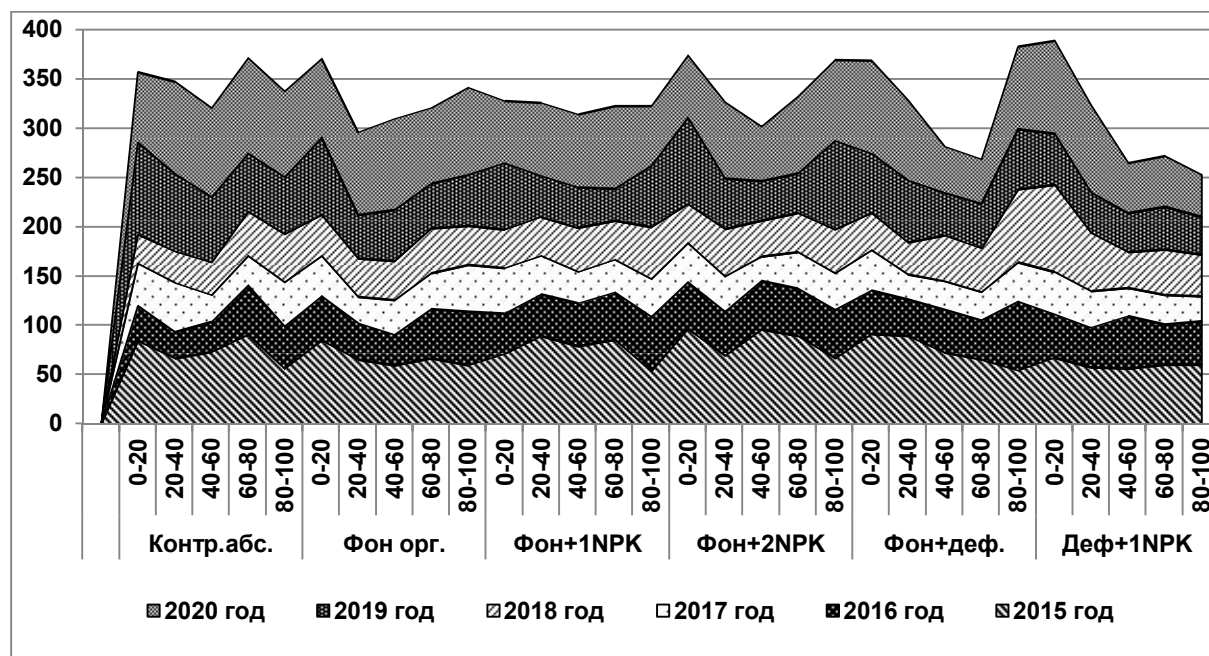


Рис. 4. Особенности распределения по профилю минерального фосфора, % от общего фосфора

Как следует из полученных данных, распределение по профилю относительного содержания минерального фосфора на всех вариантах опыта, за исключением мелиорируемых вариантов, элювиально-иллювиальное, а на вариантах с дефекатом – прогрессивно убывающее.

На рисунке 5 представлено содержание и характер распределения относительного содержания органического фосфора.

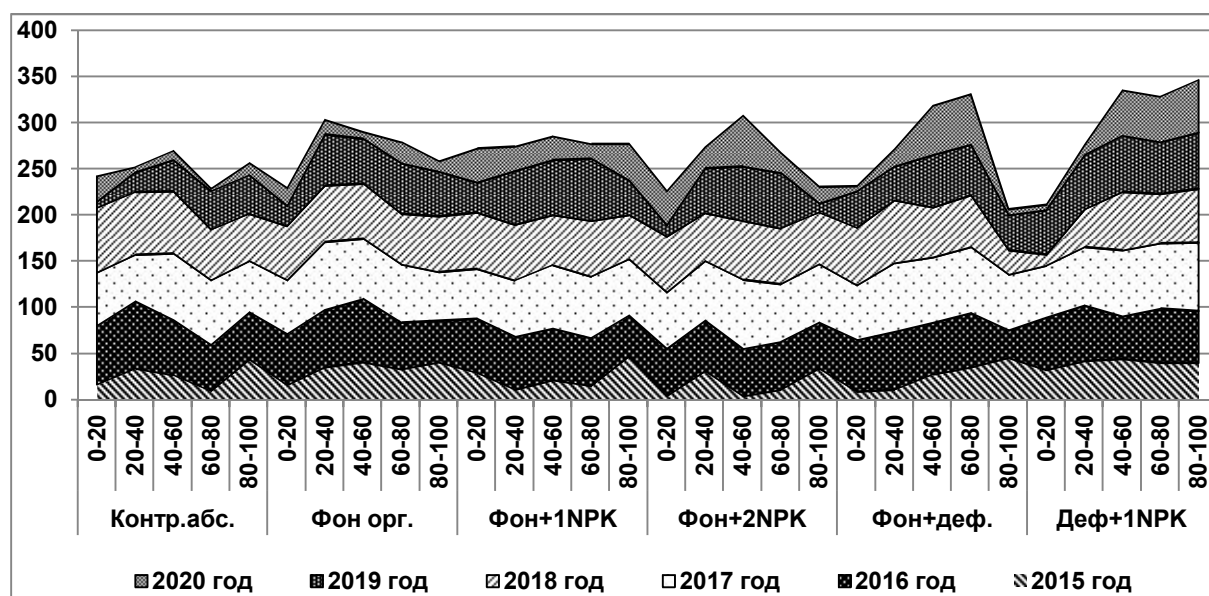


Рис. 5. Особенности распределения по профилю органического фосфора, % от общего фосфора

Как следует из данных рисунка 6, в годы с относительно стабильным уровнем увлажнения наблюдается накопление органофосфатов. Особенностью распределения по профилю является более выраженная дифференциация содержания P_2O_5 практически на всех вариантах опыта, особенно в 2019 и 2020 гг. Характер распределения по профилю соответствует элювиально-иллювиальному типу.

В литературе отмечается возможность закрепления фосфатов за счёт сорбции твёрдой фазой. В исследованиях [1, 10] показано, что поглощение фосфатов почвами зависит от гранулометрического состава: чем тяжелее гранулометрический состав почвы, тем выше её поглотительная способность, в том числе и способность поглощать фосфор. Значительное влияние на поглощение фосфатов почвой тесно связано с её минералогическим и гранулометрическим составом, что отмечается в исследованиях К.К. Гедройца, Я.В. Пейве, Н.И. Горбунова [7, 12] и др. Нами рассчитаны коэффициенты корреляции содержания различных форм фосфора с гранулометрическими фракциями исследуемой почвы. Данные приведены в таблице 6.

Таблица 6. Коэффициенты корреляции содержания различных форм фосфора с гранулометрическими фракциями

Формы фосфора	Годы, с.-х. культуры	Коэффициенты корреляции, r							
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	> 0,01	< 0,01
Общий	2015 г., озимая пшеница + овёс	0,018	0,196	–0,214	0,126	0,079	–0,079	–0,076	0,086
	2016 г., ячмень	0,344	–0,179	0,097	0,320	0,082	–0,345	0,008	–0,038
	2017 г., пар	0,393	–0,219	0,134	0,219	0,099	–0,321	0,108	–0,070
	2018 г., озимая пшеница	0,186	–0,421	0,359	0,343	–0,179	–0,138	0,113	–0,063
	2019 г., сахарная свёкла	0,047	0,097	–0,204	0,274	0,454	–0,354	–0,360	0,271
	2020 г., вико-овсяная смесь	0,335	–0,177	0,039	0,333	0,081	–0,108	–0,149	0,106
Минеральный	2015 г., озимая пшеница + овёс	0,166	–0,227	0,192	0,123	0,043	–0,196	0,101	–0,067
	2016 г., ячмень	0,605	–0,161	0,045	0,263	0,157	–0,437	0,068	–0,098
	2017 г., пар	0,442	–0,345	0,222	0,332	0,007	–0,281	0,111	–0,036
	2018 г., озимая пшеница	0,294	–0,315	0,257	0,233	–0,060	–0,217	0,158	–0,107
	2019 г., сахарная свёкла	0,335	–0,218	0,140	0,253	0,068	–0,300	0,060	–0,054
	2020 г., вико-овсяная смесь	0,176	–0,254	0,201	0,247	–0,204	–0,017	0,158	–0,034
Органический	2015 г., озимая пшеница + овёс	–0,153	0,512	–0,498	0,040	0,063	0,102	–0,213	0,190
	2016 г., ячмень	0,098	–0,153	0,084	0,346	0,023	–0,191	–0,096	0,077
	2017 г., пар	0,256	–0,118	–0,050	0,163	0,140	–0,237	0,027	–0,007
	2018 г., озимая пшеница	0,023	–0,380	0,338	0,374	–0,198	–0,087	0,058	–0,008
	2019 г., сахарная свёкла	–0,215	0,251	–0,303	0,066	0,381	–0,105	–0,391	0,301
	2020 г., вико-овсяная смесь	0,233	0,038	–0,150	0,153	0,297	–0,231	–0,333	0,161

Рассмотрим корреляционные связи различных форм фосфора по культурам. Так, под озимой пшеницей с подсевом овса не выявлено связи содержания общего и минерального фосфора ни с одной фракцией гранулометрического состава. В отношении органического фосфора установлена средняя связь $-r = 0,512$ с фракцией мелкого песка и слабая отрицательная – с фракцией крупной пыли $-r = -0,98$.

Под ячменём установлена слабая связь общего фосфора с фракцией среднего песка $r = 0,344$, с тонкой пылью $-r = 0,320$ и слабая отрицательная с фракцией ила $-r = -0,345$. Для минерального фосфора под ячменём выявлена средняя связь с содержанием среднего песка $-r = 0,605$ и слабая отрицательная с фракцией ила $-r = -0,437$, а для органического фосфора – слабая связь с фракцией тонкой пыли $-r = 0,346$.

Под паром выявлена слабая связь общего фосфора с фракцией среднего песка $-r = 0,393$ и слабая отрицательная с содержанием ила $-r = -0,321$. Содержание минерального фосфора имеет слабую связь с содержанием фракции среднего песка $-r = 0,442$ и слабую отрицательную с фракцией мелкого песка $-r = -0,345$. Для органического фосфора связей с гранулометрическими фракциями не выявлено.

Под озимой пшеницей установлена слабая отрицательная связь содержания общего фосфора с фракцией мелкого песка $-r = -0,421$ и слабая с фракциями крупной и средней пыли – соответственно $r = 0,359$ и $r = 0,343$. Для минерального фосфора выявлена слабая отрицательная связь с фракцией мелкого песка $r = -0,315$, а для содержания органического фосфора установлена слабая отрицательная связь с фракцией мелкого песка $-r = -0,380$ и слабая с фракциями крупной и средней пыли – соответственно $r = 0,338$ и $r = 0,374$.

Под сахарной свёклой установлена слабая связь общего фосфора с фракцией тонкой пыли $-r = 0,454$ и слабая отрицательная связь с фракцией ила и физического песка – соответственно $r = -0,354$ и $r = -0,360$. Для минерального фосфора выявлена слабая связь с фракцией среднего песка $-r = 0,355$ и слабая отрицательная с фракцией ила $-r = 0,300$. Для органического фосфора выявлена слабая отрицательная связь с фракцией крупной пыли $-r = -0,303$ и слабая с илом $-r = 0,381$ и слабая отрицательная с физическим песком $-r = -0,391$.

Под вико-овсяной смесью установлена слабая связь общего фосфора с фракцией среднего песка $-r = 0,335$ и слабая связь с фракцией тонкой пыли $-r = 0,333$. Для минерального фосфора связей не выявлено. Для органического фосфора выявлена слабая отрицательная связь с физическим песком $-r = -0,333$.

Результаты проведённых исследований не всегда согласуются с ранее опубликованными литературными данными. Совершенно иные зависимости выявлены по корреляции различных форм фосфора с гранулометрическими фракциями по вариантам опыта, что будет проанализировано в дальнейшем.

Выводы

1. Длительное применение органических и минеральных удобрений существенно повышает содержание всех форм фосфора. Содержание их варьирует в широких пределах как по годам наблюдений, так и по вариантам опыта. На этот показатель оказывают влияние не только удобрения и дефекат, но и условия вегетационных периодов и, как следствие, урожайность сельскохозяйственных культур, возделываемых в опыте.

2. В годы с дефицитом влаги и под культурами интенсивного выноса элементов питания снижается содержание общего и минерального фосфора. Наибольшее влияние дефицит влаги оказывает на снижение содержания органического фосфора.

3. Известкованные варианты не уступают вариантам с использованием минеральных туков по содержанию всех анализируемых форм фосфора. Выявлено, что использование кальциевого мелиоранта приводит к равномерному распределению анализируемых форм фосфора по почвенному профилю.

4. Содержание различных форм фосфора связано с гранулометрическим составом. Установлено, что общий и минеральный фосфор слабо связаны с содержанием крупных гранулометрических фракций, органофосфаты имеют преимущественно слабую связь с более тонкими фракциями.

Библиографический список

1. Бутяйкин В.В. Динамика фосфатного режима черноземной почвы под влиянием антропогенных факторов / В.В. Бутяйкин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 2 (26). – С. 17–21.
2. Гасанова Е.С. Влияние удобрений и мелиоранта на качество органического вещества чернозема выщелоченного : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.03 / Е.С. Гасанова. – Воронеж, 2006. – 24 с.
3. Дёмкин В.И. Воспроизводство плодородия почвы в зернопаропропашных севооборотах Центрального Предкавказья : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.03 / В.И. Дёмкин. – Краснодар, 1999. – 50 с.
4. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение : учебник / В.И. Кирюшин. – Санкт-Петербург : КВАДРО, 2013. – 679 с.
5. Кирюшин В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика / В.И. Кирюшин. – Москва : Изд-во МСХА, 2000. – 473 с.
6. Костычев П.А. Рецензия на книгу г. Советова «О разведении кормовых трав на полях» / П.А. Костычев // Земледельческая газета. – 1869. – № 32. – С. 506–508.
7. Мартынова Н.А. Химия почв: органическое вещество почв : учебно-методическое пособие / Н.А. Мартынова. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2011. – 255 с.
8. Орлов Д.С. Химия почв : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Агрохимия и почвоведение» / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – Москва : Высшая школа, 2005. – 557 с.
9. Федотов Г.Н. Гелевые структуры в почвах : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.27 / Г.Н. Федотов. – Москва, 2006. – 32 с.
10. Христенко А.А. Уровень динамического равновесия фосфатных систем пахотных почв / А.А. Христенко // Агрохимия. – 2004. – № 5. – С. 78–84.
11. Чуюн О.Г. Формирование физико-химических свойств пахотных почв лесостепи Центрального Черноземья и пути их регулирования : дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.13 / О.Г. Чуюн. – Воронеж, 2010. – 350 с.
12. Эмирусейнов Э.С. Современные представления о почвенных коллоидах и методах их изучения / Э.С. Эмирусейнов, В.А. Хрисониди // Наука XXI века: проблемы, перспективы и актуальные вопросы развития общества, образования и науки : материалы Международной межвузовской осенней науч.-практ. конф. (Россия, Республика Адыгея, пос. Яблоновский, 25 сентября 2020 г.). – Краснодар : ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России Краснодарский ЦНТИ, 2020. – С. 329–333.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Дмитрий Игоревич Бережнов – аспирант кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agrohimii@agronomy.vsau.ru.

Елена Сергеевна Гасанова – кандидат сельскохозяйственных наук, зав. кафедрой агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: upravlenieorm@mail.ru.

Константин Егорович Стекольников – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agrohimii@agronomy.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 18.11.2020

Дата принятия к печати 26.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Dmitriy I. Berezhynov, Postgraduate Student, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agrohimii@ag.vsau.ru.

Elena S. Gasanova, Candidate of Agricultural Sciences, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: upravlenieorm@mail.ru.

Konstantin E. Stekolnikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agrohimii@ag.vsau.ru.

Received November 18, 2020

Accepted after revision December 26, 2020

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПЕДОТРОФНОЙ МИКРОФЛОРЫ ПАХОТНОГО ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО

**Оксана Николаевна Дёмина
Дмитрий Иванович Еремин**

Государственный аграрный университет Северного Зауралья

Микрофлора почвы – главное звено в разложении растительных остатков и минерализации гумуса с высвобождением минеральных веществ. Степень плодородия почвы в значительной мере зависит от интенсивности данных процессов. При внесении минеральных удобрений не только улучшается питательный режим, но и меняются условия существования почвенных микроорганизмов. Целью исследований было изучение изменения структуры педотрофной микрофлоры при внесении возрастающих доз минеральных удобрений. Исследования проводили в стационарном многолетнем опыте кафедры почвоведения и агрохимии Государственного аграрного университета Северного Зауралья, расположенного в северной лесостепи Зауралья. Численность эколого-трофических групп микроорганизмов определяли методом посева на питательные среды. Установлено, что общая численность микроорганизмов на контроле и при внесении минеральных удобрений, обеспечивающих получение зерна яровой пшеницы до 3,0 т/га, отличалась незначительно, варьируя в пределах 76,3–82,6 млн колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 г почвы. Исключением стала педотрофная микрофлора, численность которой в фазе цветения яровой пшеницы значительно превышала показатель контрольного варианта. Минеральные удобрения на планируемые урожайности 5,0 и 6,0 т/га зерна оказали существенное влияние на численность микрофлоры почвы, которая варьировала в пределах 88,5–98,0 млн КОЕ/1 г почвы, что отличалось от контроля на 14–22%. К середине лета на максимально удобренных вариантах также отмечались благоприятные условия для минерализации органического вещества почвы. Это подтверждается коэффициентом педотрофности, который составил 2,4–3,2 ед. в данный период. К уборке трансформация гумуса снижалась, коэффициент педотрофности составил 2,7–1,6 ед. Расчёт показателей мицелиальных форм показал, что на всех вариантах в течение вегетации яровой пшеницы соотношение грибы/актиномицеты было меньше единицы, что указывает на слабую степень вовлечения гумуса в микробиологический процесс.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: биологическая активность, минеральные удобрения, микомицеты, актиномицеты, педотрофы, коэффициент педотрофности, мицелиальные формы.

EFFECT OF APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS ON THE CHANGE IN THE NUMBER OF PEDOTROPHIC MICROFLORA OF LEACHED ARABLE CHERNOZEM

**Oksana N. Demina
Dmitriy I. Eremin**

Northern Trans-Ural State Agricultural University

Soil microflora is the main link in the decomposition of plant residues and the mineralization of humus with the release of minerals. The degree of soil fertility largely depends on the intensity of these processes. When applying mineral fertilizers, not only the nutritional regime improves, but also the conditions for the existence of soil microorganisms change. The aim of the research was to study changes in the structure of pedotrophic microflora when applying increasing doses of mineral fertilizers. The research was carried out in the stationary long-term experiment of the Department of Soil Science and Agrochemistry of Northern Trans-Ural State Agricultural University, located in the Trans-Ural northern forest-steppe. The number of ecological & trophic groups of microorganisms was determined by seeding on nutrient media. It was found that the total number of microorganisms under control and when applying mineral fertilizers ensuring the production of spring wheat grain up to 3.0 t/ha, differed slightly, varying in the range of 76.3–82.6 million colony-forming units (CFU) per 1 g of soil. The exception was pedotrophic microflora, the number of which in the flowering phase of spring wheat significantly exceeded the indicator of the control variant. Mineral fertilizers on the planned yields of 5.0 and 6.0 t/ha of grain had a significant impact on the number of soil microflora. Their number varied in the range of 88.5–98.0 million CFU/1 g of soil, which

differed from the control by 14–22%. By mid-summer, favorable conditions for the mineralization of the organic matter of the soil were also observed on the most fertilized variants. This is confirmed by the coefficient of pedotrophy (2.4–3.2 units in this period). By harvesting, the humus transformation decreased, the pedotrophy coefficient was 2.7–1.6 units. The calculation of the indicators of mycelial forms showed that in all variants during the growing season of spring wheat, the ratio of fungi/actinomycetes was less than one, which indicates a weak degree of involvement of humus in the microbiological process.

KEYWORDS: biological activity, mineral fertilizers, mycomycetes, actinomycetes, pedotrophs, pedotrophy coefficient, mycelial forms.

Введение

Сельскохозяйственное производство в России динамично развивается, постоянно внедряются новые технологии, сорта сельскохозяйственных культур, породы животных, адаптированные к конкретным почвенно-климатическим условиям [4, 11, 15, 20], в том числе и в Западной Сибири, где, как известно, достаточно суровые погодные условия. В настоящее время довольно подробно изучены антропогенные факторы, повышающие продуктивность сельскохозяйственных угодий в Сибири, но их роль в формировании биологических свойств местных почв мало изучена.

Плодородие почвы напрямую зависит от процессов жизнедеятельности растений и микроорганизмов при определённых условиях окружающей среды. Учитывая то, что активность почвенной биоты и получение качественного высокого урожая возделываемых культур неразрывно связаны, возникает необходимость изучения этой зависимости для сохранения и повышения почвенного плодородия. В этом случае не стоит забывать об антропогенной нагрузке на почву, её существенном влиянии на развитие почвенной микрофлоры. Особенно это касается минеральных удобрений, которые оказывают очень сильное воздействие на питательный режим пахотных почв [3, 5].

Педотрофные микроорганизмы, микомицеты и актиномицеты, которые активно участвуют в разложении органических остатков, синтезе и минерализации гумуса, имеют большое значение для сохранения почвенного плодородия [18]. Грибы, кроме этого, выделяют физиологически активные вещества, которые могут стимулировать или угнетать жизненные процессы растений. В отдельных случаях, при активном росте грибной микрофлоры, в почве накапливаются токсины. Здесь следует отметить важное свойство актиномицетов образовывать антибиотики, которые губительно воздействуют на возбудителей разных болезней. Этот факт очень важен в вопросе поддержания биологического равновесия почвы [16].

Минеральные удобрения в условиях активной интенсификации сельского хозяйства могут в значительной степени изменять структуру грибной микрофлоры и актиномицетов, поэтому знания о численности микомицетов, актиномицетов и целлюлозоразлагающих бактерий являются необходимыми при оценке влияния антропогенной нагрузки на пахотные выщелоченные чернозёмы зауральской лесостепи. Учитывая, что для условий Западной Сибири данный вопрос мало изучен, необходимость таких знаний приобретает особую актуальность. Таким образом, целью проведённых исследований стало изучение изменения эколого-трофических групп микроорганизмов при разном уровне минерального питания в условиях лесостепи Северного Зауралья.

Материалы и методы

Исследования по влиянию минеральных удобрений на микрофлору пахотного чернозёма лесостепной зоны Зауралья проводили на опытном поле Государственного аграрного университета Северного Зауралья (расположено на юге Тюменской области, вблизи д. Утёшево). Схема опыта предусматривала внесение минеральных удобрений в дозах $N_{80}P_{10}$, $N_{200}P_{60}$ и $N_{250}P_{120}$ кг д. в. на гектар, что соответствовало уровню минерального питания, необходимого для формирования планируемой урожайности яровой пшеницы соответственно 3,0, 5,0 и 6,0 т/га зерна. За контроль был взят вариант без внесения минеральных удобрений.

Объект исследований – чернозём выщелоченный маломощный тяжелосуглинистый. По морфогенетическим признакам, физико-химическим и водно-физическим свойствам почва полевого стационара типична для лесостепной зоны Зауралья [6, 12].

Опыты проводили в полевом севообороте со следующим чередованием культур: однолетние травы, яровая пшеница, овёс. Изучение состава и численности почвенной микрофлоры вели под яровой пшеницей в трёхкратной повторности.

Дозы минеральных удобрений рассчитывали методом элементарного баланса с учётом содержания питательных веществ в почве и текущей нитрификации – 80 кг/га. Использовали аммиачную селитру и аммофос.

Образцы почвы на микробиологический анализ отбирали из пахотного горизонта 0–30 см в течение вегетации в основные фазы развития яровой пшеницы (посев, цветение, восковая спелость).

Анализ и учёт почвенной микрофлоры (в том числе численность экологотрофических групп микроорганизмов) проводили в лаборатории экологии почв Агробиотехнологического центра ГАУ Северного Зауралья. Количественный состав целлюлозоразлагающих бактерий определяли на среде Гетчинсона, микомицетов – на среде Чапека, актиномицетов – на крахмало-аммиачном агаре (КАА). Поверхностный посев на питательные среды проводили по воздушно-сухой почве, а затем помещали в термостат на 7 суток при температуре 25–30°C. Через неделю после посева подсчитывали число выросших на средах колоний.

Для выявления влияния минеральных удобрений на структуру микробного сообщества дополнительно был рассчитан коэффициент педотрофности как отношение количества микроорганизмов, которые растут на агаризованном субстрате, и количества микрофлоры, развивающейся на «богатой» питательной среде, $K_{\text{пед}} = [\text{ПА}]/[\text{МПА}]$. Для мицелиальных форм было рассчитано соотношение численности грибов и актиномицетов $([\text{Гр}]/[\text{Акт}]) \cdot 10^{-2}$ [1].

Результаты и их обсуждение

Целлюлоза является одним из главных компонентов растительных остатков, а целлюлозоразлагающие микроорганизмы (педотрофы) играют огромную роль в почвообразовательном процессе. С их помощью идёт разложение стойких азотистых и безазотистых органических соединений, в том числе входящих в состав почвенного перегноя, или гумуса [2, 17].

Перед посевом численность педотрофных микроорганизмов на контроле и на минимальном агрофоне (NP на 3,0 т/га зерна) отличалась незначительно и варьировала в пределах 8,7–8,8 млн колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 г почвы. При ежегодном внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна их численность в весенний период была на 12% выше контроля и достигала 9,9 млн КОЕ/1 г почвы. При максимальном уровне минерального питания численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов в весенний период была ещё выше, достигая 12,0 млн КОЕ/1 г почвы, что в 1,5 раза больше значений контроля. Это указывает на качественное изменение состава микрофлоры чернозёмных почв при систематическом внесении высоких доз минеральных удобрений.

В период цветения на контроле отмечено снижение их численности до 5,0 млн КОЕ/1 г почвы. По всем вариантам с внесением минеральных удобрений отмечен рост численности данной группы микроорганизмов. При минимальных дозах минеральных удобрений их количество было выше почти в 2 раза и составило 9,8 млн КОЕ/1 г почвы. Высокие дозы минеральных удобрений оказали максимальное воздействие на развитие микроорганизмов, разлагающих целлюлозу, их численность возросла до 13,6–15,1 млн КОЕ/1 г почвы, что выше контроля на 63–67%.

Перед уборкой на контроле и на минимальном агрофоне по отношению к предыдущей фазе численность педотрофов снизилась и варьировала в пределах 4,2–4,8 КОЕ/1 г почвы. При внесении возрастающих доз минеральных удобрений на планируемые урожайности 5,0 и 6,0 т/га зерна их количество в почве было максимальным, достигая 16,6–17,3 КОЕ/1 г почвы. Таким образом, было установлено, что достоверное увеличение численности педотрофов происходит при внесении возрастающих доз минеральных удобрений – коэффициент корреляции больше 0,9 единицы.

Грибы (микомицеты), как и бактерии, принимают активное участие в почвообразовательных процессах, в том числе в разложении органических остатков, синтезе и минерализации гумуса [9]. Грибная микрофлора в наших исследованиях оказалась самой многочисленной. В весенний период её численность по вариантам варьировала в пределах 13,4–14,0 млн КОЕ/1 г почвы. В фазе цветения количество грибной микрофлоры увеличилось в связи с появлением новых растительных остатков в виде корневой массы. На контроле и на варианте с невысоким уровнем минерального питания (NP на 3,0 т/га зерна) их численность была на одном уровне – 20,0 млн КОЕ/1 г почвы. На максимально удобренных вариантах прослеживалось развитие этой группы микроорганизмов до 22,0 млн КОЕ/1 г почвы, что на 10% выше значений контроля.

К уборке прослеживается обратное явление – микомицеты активно развивались на контроле и на минимальном агрофоне. Внесение минеральных удобрений на планируемые урожайности 5,0 и 6,0 т/га зерна резко угнетало грибную микрофлору, о чем свидетельствовало снижение их численности соответственно до 10 и 14,0 млн КОЕ/1 г почвы. По сравнению с контролем количество микомицетов было на 64,3 и 50% меньше. Это может быть связано с быстрой переработкой свободных гуминовых кислот (фракция ГК1) почвенной микрофлорой при стимулировании её высокими дозами минеральных удобрений [7, 10, 19].

Большое распространение в почвах имеют актиномицеты, которые представляют собой переходную форму между бактериями и грибами. Они участвуют в разложении гумусовых веществ, наиболее обогащённых азотом.

Численность актиномицетов в наших исследованиях заметно меньше, чем других групп микроорганизмов, что может быть связано с истощением почвы и созданием благоприятных условий для развития патогенной микрофлоры [8, 13]. На контроле в весенний период насчитывалось лишь 0,5 млн КОЕ актиномицетов. Внесение минеральных удобрений, даже в минимальной дозе, стимулировало рост численности данной группы микроорганизмов. При внесении удобрений на планируемую урожайность зерна 3,0 т/га их количество увеличилось уже на 17% относительно контроля. На варианте с NP на 5,0 т/га зерна разница с контролем составила 28,6%. На максимальном агрофоне (6,0 т/га зерна) их численность достигла 1,2 млн КОЕ/1 г почвы в этот период, превышая контроль более чем в 2 раза.

В фазе цветения на контроле и на варианте с NP на 3,0 т/га зерна насчитывалось 0,3–0,4 млн КОЕ актиномицетов. Снижение численности данной группы микроорганизмов, по нашему мнению, связано с дефицитом почвенного азота в этот период. На варианте с NP на 5,0 т/га их численность резко увеличилась до 1,8 млн КОЕ/1 г почвы и была на 83% выше значений контроля. При дальнейшем повышении уровня минерального питания происходило увеличение численности актиномицетов до 2,8 млн КОЕ/1 г почвы, что превысило показатель контрольного варианта на 89%. Данный факт указывает на непосредственное влияние возрастающих доз минеральных удобрений на динамику развития актиномицетов.

Перед уборкой численность актиномицетов на контроле была максимальной и составила 1,3 млн КОЕ/1 г почвы. Внесение минеральных удобрений даже в малых дозах способствовало снижению их численности на 23% относительно контроля. Высокие дозы

удобрений повлияли на резкое снижение количества представителей этой группы микроорганизмов. Так, на максимальном агрофоне их численность снизилась до 0,3 млн КОЕ/1 г почвы, разница с контролем составила 76,5%.

Таблица 1. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на численность отдельных эколого-трофических групп микроорганизмов, млн КОЕ/1 г почвы

Варианты	Аммонификаторы (МПА)			Педотрофы (ПА)			Микомицеты (Чапек)			Актиномицеты (КАА)		
	Посев	Цветение	Уборка	Посев	Цветение	Уборка	Посев	Цветение	Уборка	Посев	Цветение	Уборка
Контроль	6,1	5,2	3,5	8,7	5,0	4,1	13,4	20,0	28,0	0,5	0,3	1,3
NPК на 3,0 т/га зерна	6,7	7,3	3,7	8,8	9,8	4,8	14,0	20,0	33,0	0,6	0,4	1,0
NPК на 5,0 т/га зерна	7,7	5,6	6,1	9,9	13,6	16,7	14,0	21,0	10,0	0,7	1,8	0,8
NPК на 6,0 т/га зерна	9,5	4,7	10,7	12,3	15,1	17,3	13,0	22,0	14,0	1,2	2,8	0,3

Для характеристики степени освоения органической части почвы микрофлорой был рассчитан коэффициент педотрофности. Низкие его значения (< 1) свидетельствуют о слабой степени вовлечения почвенного гумуса и его трансформации. Высокие индексы педотрофности (> 1) указывают на усиление усвоения микроорганизмами питательных веществ из запасов гумуса [14].

Результаты исследований показали, что весной на всех вариантах с внесением минеральных удобрений коэффициент педотрофности был одинаковым и составил 1,3 ед., на контроле его значение составило 1,4 ед. (рис. 1). В фазе цветения коэффициент по вариантам сильно варьировал. На контроле и на варианте с NP на 3,0 т/га зерна разница составила уже более 20% относительно контроля. Высокие дозы удобрений способствовали развитию целлюлозоразлагающей микрофлоры и увеличили коэффициент педотрофности до 2,4–3,2 ед., что, в свою очередь, свидетельствует о развитии благоприятных условий для интенсивной минерализации почвенного органического вещества.

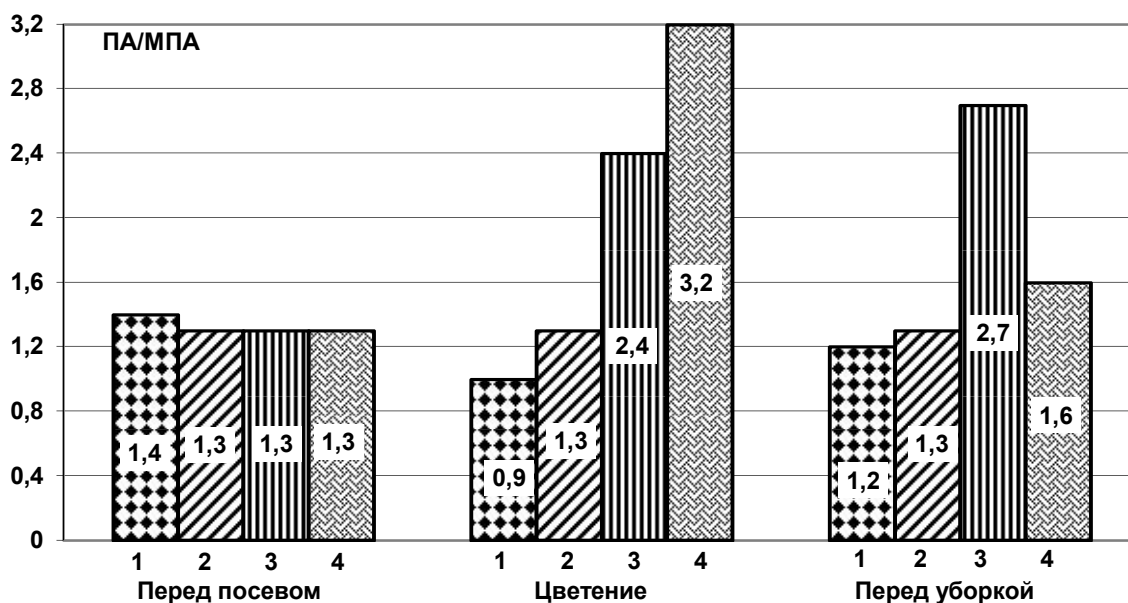


Рис. 1. Динамика коэффициента педотрофности при внесении минеральных удобрений, ед.: 1 – контроль, без удобрений; 2 – NP на 3,0 т/га зерна; 3 – NP на 5,0 т/га зерна, 4 – NP на 6,0 т/га зерна

К моменту уборки значение коэффициента педотрофности на контроле и на минимальном агрофоне варьировало в пределах 1,2–1,3 ед. и почти не отличалось от предыдущих фаз развития. При внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га коэффициент педотрофности составил 2,7 ед. Это может способствовать усилению освоения микроорганизмами питательных веществ из запасов гумуса. Однако при дальнейшем увеличении уровня минерального питания отмечено снижение активности данной группы микроорганизмов и их численности. Коэффициент педотрофности составил 1,6 ед., что говорит о снижении трансформации гумуса.

Расчёт показателей мицелиальных форм показал, что на всех вариантах в течение вегетации яровой пшеницы соотношение грибы/актиномицеты меньше единицы. Перед посевом на контроле их соотношение варьировало в пределах 0,3–0,1 ед. (рис. 2).

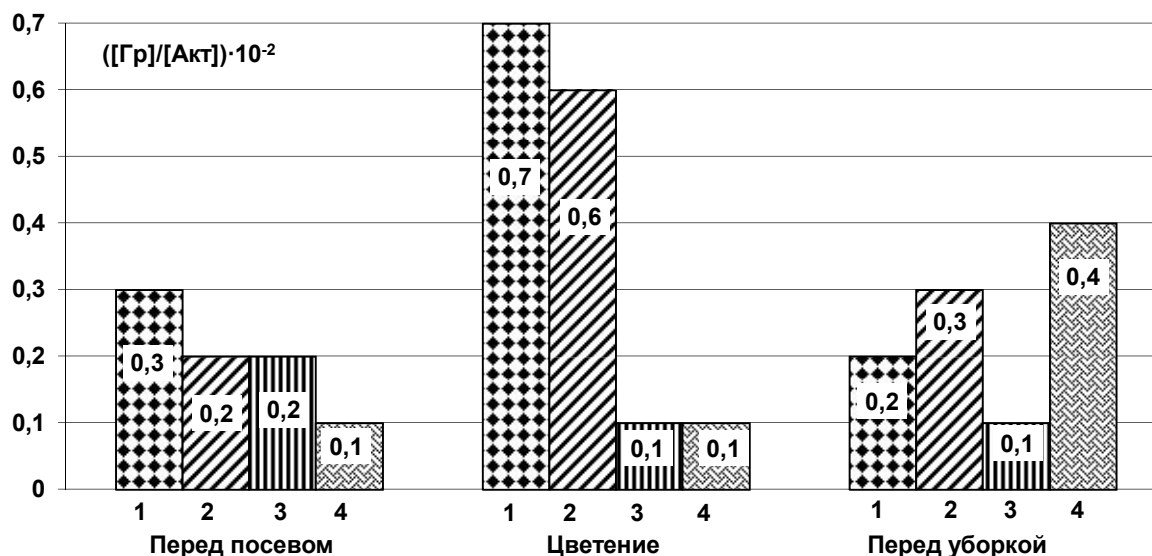


Рис. 2. Влияние минеральных удобрений на соотношение мицелиальных форм микроорганизмов, ед.: 1 – контроль, без удобрений; 2 – NP на 3,0 т/га зерна; 3 – NP на 5,0 т/га зерна; 4 – NP на 6,0 т/га зерна

В фазе цветения на контроле и на минимальном агрофоне активно развивалась грибная микрофлора, тогда как численность актиномицетов снижалась. Поэтому соотношение грибы/актиномицеты было максимальным в этот период и составило 0,7–0,6 ед. В группу почвенных грибов входит ещё и патогенная микрофлора, поэтому данные показатели свидетельствуют о создании благоприятных условий в почве для накопления инфекционного фона. При внесении максимальных доз азотно-фосфорных удобрений существенно возросла численность актиномицетов, поэтому на этих вариантах соотношение грибы/актиномицеты составило 0,1 ед. При развитии актиномицетов в почве заметно снижается инфекционный фон, так как актиномицеты являются антагонистами патогенной микрофлоры.

К уборке на контроле и на минимально удобренном варианте численность грибной микрофлоры значительно выросла, поэтому соотношение грибы/актиномицеты увеличилось до 0,2–0,3 ед. При внесении минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна соотношение грибы/актиномицеты вновь снизилось до 0,1 ед., чему способствовало резкое снижение численности грибной микрофлоры. На варианте с максимальным уровнем минерального питания отмечено небольшое увеличение численности микомицетов и, наоборот, резкое снижение численности актиномицетов. Соотношение грибы/актиномицеты при этом составило 0,4 ед. Увеличение данного соотношения в сторону грибной микрофлоры может способствовать накоплению микотоксинов в почве.

Выводы

Внесение азотно-фосфорных минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна способствовало увеличению на 20% целлюлозоразлагающих почвенных микроорганизмов. Максимальное воздействие на развитие педотрофной микрофлоры оказало внесение минеральных удобрений на планируемую урожайности 5,0 и 6,0 т/га. Численность педотрофных микроорганизмов на этих вариантах в 2,5–3,0 раза превышала контроль. Увеличение данной группы микроорганизмов способствовало созданию условий для интенсивной минерализации гумусовых веществ, что подтверждается коэффициентом педотрофности, который составил 2,4–3,2 ед.

Грибная микрофлора в весенний период по вариантам варьировала в пределах 13,0–14,0 млн КОЕ/1 г почвы. В фазе цветения их численность увеличилась до 20,0–22,0 млн КОЕ/1 г почвы. Перед уборкой на контроле и на варианте с NP на 3,0 т/га зерна их численность была максимальной, составив 28,0–33,0 млн КОЕ/1 г почвы. Внесение высоких доз минеральных удобрений способствовало снижению их количества до 11,0–14,0 млн КОЕ/1 г почвы, что было ниже контроля на 64,3–50,0%.

Численность актиномицетов была самой низкой по фазам вегетации яровой пшеницы и не превышала 2,8 млн КОЕ/1 г почвы. Перед посевом и в фазе цветения внесение высоких доз минеральных удобрений способствовало росту численности актиномицетов. При их увеличении в почве создаются условия для снижения инфекционного фона, что подтверждается соотношением грибы/актиномицеты – 0,1 ед. К уборке их численность снизилась до 0,3 млн КОЕ/1 г почвы. Это повлияло на соотношение грибы/актиномицеты, которое в этот период составило 0,4 ед., что, в свою очередь, могло способствовать активному развитию патогенной микрофлоры и накоплению микотоксинов. Еще большее проявление этого процесса отмечалось в период цветения яровой пшеницы на контроле и на варианте с невысоким уровнем минерального питания. Соотношение грибы/актиномицеты составило 0,7–0,6 ед.

Библиографический список

1. Андреюк Е.И. Почвенные микроорганизмы и интенсивное земледелие : монография / Е.И. Андреюк, Г.А. Иутинская, А.Н. Дульгерев. – Киев : Наукова думка, 1988. – 215 с.
2. Белюченко И.С. Микроорганизмы почв и их роль в функционировании аграрных ландшафтов / И.С. Белюченко // Наука, технологии и инновации в современном мире. – 2016. – № 1(3). – С. 18–25.
3. Влияние многолетнего внесения удобрений на почвенно-поглощающий комплекс и микробное сообщество выщелоченного чернозема / И.Д. Свистова, К.Е. Стекольников, А.П. Щербаков, Н.В. Малыхина // Агрохимия. – 2004. – № 6. – С. 16–23.
4. Еремина Д.В. Математическая модель минерального питания яровой пшеницы по результатам многолетних исследований государственного аграрного университета Северного Зауралья / Д.В. Еремина // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 1 (124). – С. 14–19.
5. Еремин Д.И. Влияние уровня минерального питания на численность аммонифицирующих бактерий пахотного чернозема лесостепной зоны Зауралья / Д.И. Еремин, О.Н. Дёмина // Аграрная наука и образование Тюменской области: связь времен : матер. международной науч.-практ. конф., посвященной 140-летию Тюменского реального училища, 60-летию Тюменского государственного сельскохозяйственного института (Россия, г. Тюмень, 06–07 июня 2019 г.). – Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2019. – С. 269–277.

6. Еремин Д.И. Агрогенная трансформация чернозема выщелоченного Северного Зауралья : дис. ... д-ра биол. наук : 03.02.13 / Д.И. Еремин. – Тюмень, 2012. – 479 с.
7. Еремин Д.И. Изменение качественного состава гумуса чернозема выщелоченного под действием возрастающих доз минеральных удобрений / Д.И. Еремин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – № 6 (229). – С. 20–26.
8. Еремин Д.И. Агроэкологическая характеристика микромицетов, обитающих в почве / Д.И. Еремин, О.Н. Попова // Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2016. – № 1 (32). – С. 12–18.
9. Звягинцев Д.Г. Биология почв : учебник / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Изд-во Московского гос. ун-та, 2005. – 445 с.
10. Изменение содержания и строения гуминовых кислот чернозема выщелоченного под влиянием удобрений и дефеката / Е.С. Гасанова, А.Н. Кожокина, Н.Г. Мязин и др. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 4 (63). – С. 113–122.
11. Кокошин С.Н. Ранжирование факторов, влияющих на урожайность зерновых культур / С.Н. Кокошин, Б.О. Киргинцев // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2014. – № 3 (26). – С. 93–96.
12. Кураченко Н.Л. Пространственное варьирование структурно-агрегатного состава черноземов и серых лесных почв Красноярской лесостепи в предельно однородных условиях почвообразования / Н.Л. Кураченко, С.В. Хижняк // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1 (63). – С. 35–40.
13. Майсямова Д.Р. Биологический режим чернозема обыкновенного в процессе сельскохозяйственного использования / Д.Р. Майсямова, Н.В. Абрамов // Аграрный вестник Урала. – 2008. – № 5 (47). – С. 35–37.
14. Методы биодиагностики наземных экосистем : монография / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, Ю.В. Акименко, Е.В. Даденко ; отв. ред. д-р геогр. наук, проф. К.Ш. Казеев. – Ростов-на-Дону : Изд-во Южного федерального ун-та, 2016. – 356 с.
15. Остапенко А.В. Создание базы данных сортов рода *Avena* L. на основе изменчивости компонентного состава проламинов / А.В. Остапенко, Г.В. Тоболова // Агропродовольственная политика России. – 2015. – № 4 (40). – С. 44–46.
16. Перфильев Н.В. Системы основной обработки и формирование ассоциаций микроорганизмов в темно-серой лесной почве / Н.В. Перфильев, О.А. Вьюшина, Д.Р. Майсямова // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29, № 10. – С. 16–18.
17. Попова О.Н. Влияние минеральных удобрений на целлюлозоразлагающую способность чернозема выщелоченного / О.Н. Попова // Научные достижения и открытия современной молодёжи: актуальные вопросы и инновации : сборник статей победителей международной науч.-практ. конф. (Россия, г. Пенза, 17 февраля 2017 г.) ; под общ. ред. Г.Ю. Гуляева. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2017. – С. 35–39.
18. Свистова И.Д. Токсины микромицетов чернозема: спектр антибиотического действия и роль в формировании микробного сообщества / И.Д. Свистова, А.П. Щербаков, Л.О. Фролова // Почвоведение. – 2004. – № 10. – С. 1220–1227.
19. Семенов В.М. Почвенное органическое вещество : монография / В.М. Семенов, Б.М. Когут. – Москва : ГЕОС, 2015. – 233 с.
20. Шулепова О.В. Качество зерна сортов ячменя в условиях Северного Зауралья / О.В. Шулепова, Р.И. Белкина // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2017. – № 10 (133). – С. 9–14.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Дёмина Оксана Николаевна – аспирант кафедры почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Россия, г. Тюмень, e-mail: oksa.victorious@mail.ru.

Еремин Дмитрий Иванович – доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Россия, г. Тюмень, e-mail: soil-tyumen@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 20.11.2020

Дата принятия к печати 27.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Oksana N. Demina, Postgraduate Student, the Dept. of Soil Science and Agrochemistry, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Russia, Tyumen, e-mail: oksa.victorious@mail.ru.

Dmitriy I. Eremin, Doctor of Biological Sciences, Professor, the Dept. of Soil Science and Agrochemistry, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Russia, Tyumen, e-mail: soil-tyumen@yandex.ru.

Received November 20, 2020

Accepted after revision December 27, 2020

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК НА СИМБИОТИЧЕСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СОИ СЕВЕРНОГО ЭКОТИПА

**Марина Евгеньевна Бельшкина¹
Виктор Александрович Шевченко²**

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

²Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева

В последние годы в России происходит масштабное расширение площадей посевов сои. Благодаря усилиям учёных по созданию сортов северного экотипа, эта ценная культура может возделываться на территориях до 56° с. ш. Для успешной интродукции сои в новые районы возделывания необходимо проводить мероприятия, которые способствуют адаптации культуры к местным почвенно-климатическим условиям. Всё большее внимание привлекают природные биорегуляторы, к которым относится биопрепарат Флоравит. Представлены результаты исследований, проведённых в 2015–2017 гг. на экспериментальной базе Лаборатории растениеводства РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева с целью определения оптимальной концентрации биопрепарата Флоравит для обработки вегетирующих растений сои (сорт Касатка), оценки компонентов структуры урожая, урожайности семян и сбора протеина с единицы площади. Обработка биопрепаратом производилась однократно водным раствором в трёх концентрациях: 0,4–0,5%, 0,5–0,6% и 0,6–0,7%, расход баковой смеси – 250–300 л/га (контрольный вариант – без обработки). В конце вегетационного периода проводился учёт продуктивности растений сои при разных вариантах обработки. Оценивались показатели структуры урожая (число плодов и семян с растения в перерасчёте на единицу площади, масса 1000 семян, урожайность семян), а также содержание белка в семенах и его сбор с гектара. В результате исследований установлено, что использование в качестве некорневой подкормки вегетирующих растений сои в фазе R1 «Начало цветения» биопрепарата Флоравит повышает урожайность культуры в среднем на 50,2%, содержание белка в семенах – на 13,3% и сбор протеина с гектара – на 70,2%. Повышение урожайности и качества зерна сои обусловлено активизацией симбиотической деятельности растений, большей устойчивостью к стрессовым условиям вегетационного периода и стимуляцией биохимических процессов при формировании генеративных органов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: соя северного экотипа, биологически активные препараты, Флоравит, компоненты урожая, урожайность семян, сбор протеина.

EFFECT OF TOPDRESSING ON THE SYMBIOTIC ACTIVITY AND PRODUCTIVITY OF SOYBEAN OF NORTHERN ECOTYPE

**Marina E. Belyshkina¹
Viktor A. Shevchenko²**

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM

²Russian Timiryazev State Agrarian University

In recent years, Russia has been experiencing a large-scale expansion of soybean acreage. Thanks to the efforts of scientists to create varieties of northern ecotype, this valuable crop can be cultivated in areas up to 56° AD. For the successful introduction of soybean to new areas of cultivation, it is necessary to carry out measures that contribute to the adaptation of the crop to local soil and climatic conditions. More and more attention is drawn to natural bioregulators, which include the biological product Floravit. The results of research conducted in 2015–2017 are presented. on the experimental plots of the Plant Growing Laboratory of Russian Timiryazev State Agrarian University in order to determine the optimal concentration of the Floravit biological product for the treatment of vegetative soybean plants (Kasatka variety), to evaluate the components of the crop structure, seed yield and protein collection per unit area. Treatment with the biological product was performed once with an aqueous solution in three concentrations: 0.4–0.5%, 0.5–0.6%, and 0.6–0.7%, the consumption of the tank mixture is 250–300 L/ha (control variant is without treatment). At the end of the growing season, the productivity of soybean plants was taken into account on different

processing variants. The indicators of the crop structure (number of fruits and seeds per plant in terms of per unit area, thousand-seed weight, yield of seeds), as well as the protein content in seeds and its harvesting per hectare were evaluated. As a result of research, it was found that the use of Floravit as foliar fertilizing of vegetative soybean plants in the R1 «Beginning of flowering» phase increases crop yield by an average of 50.2%, the protein content in seeds by 13.3% and the protein collection per hectare by 70.2%. The increase in the yield and quality of soybean grain is due to the activation of the symbiotic activity of plants, greater resistance to the stressful conditions of the growing season and the stimulation of biochemical processes in the formation of generative organs.

KEYWORDS: soybean of northern ecotype, biologically active preparations, Floravit, crop components, seed yield, protein collection.

Введение
Соя – *Glycine max* (L.) Merr. – является перспективной сельскохозяйственной культурой, во многом благодаря высокой пищевой и кормовой ценности зерна. В семенах сои содержится до 50% белка, до 27% жира, до 30% углеводов, около 6% зольных элементов, в том числе кальций, фосфор, натрий, йод, молибден и др. В последние годы в нашей стране происходит масштабное расширение площадей посева сои. Так, в 2019 г. размеры посевных площадей под соей достигли 3083 тыс. га, а объёмы производства – 4350 тыс. т, при этом средняя урожайность была на уровне 1,64 т/га [5, 6, 8].

Благодаря созданию сортов северного экотипа эта ценная культура может возделываться до 56° с. ш. Однако для успешной интродукции сои в новые районы возделывания необходимо проводить мероприятия, которые способствуют адаптации культуры к местным почвенно-климатическим условиям, так как историческим ареалом произрастания сои являются регионы с тёплым и влажным муссонным климатом.

Ограничивающим фактором расширения площадей посевов сои в европейской части России является нестабильная урожайность, обусловленная неблагоприятными погодными условиями вегетационного периода [2]. Знание биологических особенностей культуры, возможность управления продукционным процессом и применение ростстимулирующих препаратов позволят стабилизировать урожайность и повысить качественные характеристики семян [4, 10].

Препараты биологического происхождения при применении в минимальных дозах повышают устойчивость растений к неблагоприятным агроклиматическим условиям вегетационного периода, способствуют росту урожайности за счёт стимулирования защитных функций отдельного растения и агрофитоценоза в целом [14, 16].

Учитывая, что фотосинтетическая деятельность растений в посевах тесно связана с получением высокого урожая и возможностью управлять его формированием, весьма актуально изучение действия биологически активных препаратов на этот физиологический процесс. После обработки активизируются процессы нарастания листового аппарата вследствие усиления жизнеспособности листьев и продления срока их жизни. В листьях растений возрастает содержание пигментов, повышается продуктивность их работы и, как следствие, чистая продуктивность фотосинтеза [7, 13].

Регуляторы роста оказывают положительное воздействие и на формирование элементов структуры урожая: отмечается увеличение выхода полноценных бобов, массы семян с одного растения и массы 1000 семян. Значительно выражены различия с контролем без обработки в годы со стрессовыми факторами среды, например при повышенных температурах, особенно в критические для сои периоды, и в отсутствии осадков. Выявлено, что совместное применение биологически активных веществ и гербицидов приводит к снижению отрицательного воздействия последних на растения сои [12].

Применение синтетических пестицидов и агрохимикатов при выращивании сельскохозяйственных культур в современных агротехнологиях развито достаточно широко. Однако в настоящее время зарегистрировано небольшое количество препаратов природного происхождения. Многие синтетические препараты нарушают биоцено-

тические связи между почвой и растением, загрязняют окружающую среду. В последние годы все большее внимание учёных привлекают природные биорегуляторы.

Цель исследований заключалась в определении оптимальной концентрации препарата Флоравит для обработки вегетирующих растений сои, оценке компонентов структуры урожая, урожайности семян и сбора протеина с единицы площади.

Объекты и методы исследований

Полевой опыт закладывался в 2015–2017 гг. на экспериментальной базе Лаборатории растениеводства РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая, легкосуглинистая. Мощность пахотного горизонта – 22–25 см, содержание гумуса (по Тюрину) – 2,5%, pH солевой вытяжки – 5,6–5,8. В пахотном горизонте содержалось 165–170 мг P_2O_5 (по Кирсанову) и 90–95 мг K_2O (по Масловой) на 1 кг почвы.

Агротехника в опыте – общепринятая для возделывания сои в регионе. Посев проводили при наступлении благоприятных погодных условий и необходимом прогревании почвы в конце первой – начале второй декады мая, семена в день посева обрабатывали ризоторфином.

Статистический анализ результатов выполнялся с использованием приложения Microsoft Excel и статистического пакета IBM SPSS Statistics.

Схема опыта включала следующие варианты:

- фактор А – соя северного экотипа, сорт Касатка [1];
- фактор Б – фаза вегетации сои, во время которой проводилась обработка: R1 «Начало цветения»;
- фактор В – концентрации раствора препарата Флоравит: 1) контроль – без обработки биопрепаратом; 2) 0,4–0,5%; 3) 0,5–0,6%; 4) 0,6–0,7%.

Препарат Флоравит (ТУ 9296-001-16968333, регистрационный №ПВР-2-4.1/02705 от 27.04.2011 г., производитель – ООО «Гелла-Фарма», г. Москва) представляет собой комплекс биологически активных веществ, продуцентом которых является гриб *Fusarium Sambusinum fockel F-3051D*. Флоравит получают из биологически активной добавки к пище Флоравит Э (водный раствор) путём дополнительной пастеризации и добавления консерванта бензоата натрия. Флоравит Э содержит органические кислоты (0,1–0,2%), полисахариды (0,4–0,5%), бензоат натрия (0,1%) и воду (до 100%). Флоравит имеет 100% экологическую безопасность для живых организмов и окружающей среды.

Ризоторфин (производитель – предприятие «ЭКОС» ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии») представляет собой инокулянт на основе клубеньковых бактерий (активный штамм ризобий – 6346), предназначен для предпосевной обработки семян бобовых культур. Основу препарата составляют клубеньковые бактерии, которые способны вступать в симбиоз с бобовым растением. В результате на корнях образуются клубеньки, которые фиксируют молекулярный азот из воздуха и переводят его в доступную для растений форму. Для каждого вида бобовых растений используются специфические только для них и наиболее эффективные штаммы клубеньковых бактерий.

Результаты и их обсуждение

Многочисленными исследованиями сотрудников различных научно-исследовательских институтов (ФНАЦ ВИМ, ВНИИ сои), а также других научных и образовательных учреждений подтверждено положительное влияние применения внекорневых подкормок вегетирующих растений сои в фазы бутонизации – цветения с целью повышения их устойчивости к неблагоприятным факторам, увеличения урожайности и сбора белка с гектара [3, 9, 11].

В опытах применялась шкала микрофаз развития сои, разработанная американскими исследователями [15]. В этой шкале этапы вегетативного роста обозначаются буквой V: от VE – всходы до V_n – n узлов на главном стебле с полностью развитыми тройчатыми листьями. Фазы генеративного развития обозначаются буквой R: от R1 – начало цветения до R8 – полное созревание.

Обработка вегетирующих растений проводилась при наступлении фазы R1 «Начало цветения». В этот период формируются генеративные органы на растениях сои и появляется возможность оказать влияние на этот процесс и последующую продуктивность посева. Обработка биопрепаратом Флоравит проводилась однократно водным раствором в трёх концентрациях – 0,4–0,5%; 0,5–0,6% и 0,6–0,7%, расход баковой смеси составил 250–300 л/га. Для сравнения был контрольный вариант, на котором обработка не проводилась. В задачи исследований входило установить влияние биопрепарата Флоравит на симбиотическую деятельность растений, а также определить показатели продуктивности растений и выход белка с гектара.

Так как обработка ризоторфином, которая проводилась перед посевом, оказывает непосредственное влияние на функционирование симбиотического аппарата сои, в опытах провели учёт образования клубеньков на корнях растений. В результате эксперимента было выявлено существенное увеличение количества и массы клубеньков по сравнению с контролем на вариантах обработки 0,5–0,6% и 0,6–0,7% раствором (табл. 1). Между этими двумя вариантами разница была в пределах НСР₀₅, в то же время превышение контрольного варианта по количеству и массе клубеньков составило соответственно 22–27% и 20–26%.

Таблица 1. Количество и масса клубеньков, сформированных на посевах сои в среднем за 2015–2017 гг.

Вариант	Количество клубеньков, шт./м ²	% к контролю	Масса клубеньков, г/м ²	% к контролю
Контроль (без обработки биопрепаратом)	535	100	24,8	100
0,4–0,5% раствор	561	105	26,7	108
0,5–0,6% раствор	653	122	29,8	120
0,6–0,7% раствор	678	127	31,2	126
НСР ₀₅	28	-	1,6	-

В конце вегетационного периода проводился учёт продуктивности растений сои при разных вариантах обработки. Оценивались показатели структуры урожая (число плодов и семян с растения в перерасчёте на единицу площади, масса 1000 семян, урожайность семян), а также содержание белка в семенах и его сбор с гектара (табл. 2).

В ходе анализа выявлено, что количественные и качественные показатели урожая сои после обработки растений 0,4–0,5% раствором препарата Флоравит значительно уступали двум другим вариантам обработки и были ближе к контролю (без обработки). На вариантах обработки растений 0,5–0,6% и 0,6–0,7% растворами были отмечены приросты всех исследуемых показателей: в среднем по числу плодов – на 33–35%, по числу семян – на 26–28%, по урожайности – на 50–52% (по сравнению с контрольным вариантом).

В опытах большое внимание было уделено анализу влияния обработки вегетирующих растений препаратом Флоравит на содержание белка в семенах. Так, если на контрольном варианте содержание белка было в среднем на уровне 34–35%, то на варианте обработки 0,4–0,5% раствором это значение составило уже 37,9%. На вариантах обработки 0,5–0,6% и 0,6–0,7% растворами препарата значения этого показателя по годам колебались в пределах 39–40%, что превышало первый вариант на 5%, а контроль – на 16%.

Таблица 2. Урожайность семян, сбор протеина и компоненты урожая, в среднем за 2015–2017 гг.

Выходные данные	Ед. изм.	Контроль (без обработки)	0,4–0,5% раствор	0,5–0,6% раствор	0,6–0,7% раствор	НСР ₀₅
Число плодов	шт./м ²	220	263	297	294	14
Число семян	шт./м ²	714	805	912	894	23
Масса 1000 семян	г	148	181	214	218	8
Урожайность семян	т/га	2,85	3,72	4,28	4,34	0,21
Содержание белка в семенах	%	34,6	37,9	39,2	39,4	0,34
Сбор протеина с урожаем семян	кг/га	986	1410	1678	1710	56

Так как существенной разницы между вариантами обработки 0,5–0,6% и 0,6–0,7% растворами препарата не было выявлено, к применению рекомендуется меньшая концентрация (0,5–0,6%) с более экономичным расходом препарата. В таблице 3 приведены значения анализируемых показателей в сравнении между выбранным вариантом обработки вегетирующих растений препаратом Флоравит и контрольным.

Таблица 3. Урожайность семян, сбор протеина и компоненты урожая, прибавка в среднем за 3 года

Выходные данные	Ед. изм.	Контроль (без обработки)	0,5–0,6% раствор	Прибавка, %
Число плодов	шт./м ²	220	297	35,0
Число семян	шт./м ²	714	912	27,7
Масса 1000 семян	г	148	214	44,6
Урожайность семян	т/га	2,85	4,28	50,2
Содержание белка в семенах	%	34,6	39,2	13,3
Сбор протеина с урожаем семян	кг/га	986	1678	70,2

Было установлено, что в среднем за 3 года исследований на варианте обработки растений 0,5–0,6% раствором препарата Флоравит прибавка урожайности семян составляла 50,2%, содержание белка в семенах было выше на 13,3%, а сбор протеина с гектара – на 70,2%.

Заключение

Использование в качестве некорневой подкормки вегетирующих растений сои в фазе R1 «Начало цветения» биопрепарата Флоравит в концентрации 0,5–0,6% при расходе баковой смеси 250–300 л/га повышает урожайность культуры в среднем на 50,2%, содержание белка в семенах – на 13,3%, что в целом обеспечивает увеличение сбора протеина с гектара на 70,2%.

Повышение урожайности и качества зерна сои обусловлено активизацией симбиотической деятельности растений, большей устойчивостью к стрессовым условиям вегетационного периода и стимуляцией биохимических процессов при формировании генеративных органов.

Библиографический список

1. Бельшикина М.Е. Урожайность и элементы структуры урожая ультраскороспелого сорта сои Касатка при разных способах посева и густоте стояния растений / М.Е. Бельшикина, Г.Г. Гатаулина // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 6. – С. 51–54.
2. Влияние скороспелости на время сбора урожая и урожайность сои (*Glycine max*) в Северо-Западной Германии / Д. Трауц, Т. Зурайде, Б. Хьюзинг, М.Е. Бергара // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 2 (30). – С. 36–38.
3. Гуреева Е.В. Применение биопрепаратов для повышения урожайности сои / Е.В. Гуреева // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. – 2016. – № 9. – С. 166–169.

4. Демьянова-Рой Г.Б. Влияние росторегулирующих веществ на урожайность сортов сои и элементы ее структуры в условиях Северо-Западного региона / Г.Б. Демьянова-Рой, Е.Б. Борцова // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 2. – С. 36–38.
5. Дорохов А.С. Производство сои в Российской Федерации: основные тенденции и перспективы развития / А.С. Дорохов, М.Е. Бельштина, К.К. Большова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 3 (47). – С. 25–33.
6. Зайцев Н.И. Перспективы и направления селекции сои в России в условиях реализации национальной стратегии импортозамещения / Н.И. Зайцев, Н.И. Бочкарев, С.В. Зеленцов // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2016. – № 2 (166). – С. 3–11.
7. Запиоцкий Д.Н. Фотосинтетическая деятельность растений сои в зависимости от применения в технологии ее возделывания регуляторов роста / Д.Н. Запиоцкий, А.Я. Барчукова // Плодородие. – 2018. – № 6 (105). – С. 26–28.
8. Линников П.И. Российский рынок сои: тенденции, перспективы развития // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 10. – С. 81–86.
9. Михайлова М.П. Роль биологически активных веществ в повышении качества семян сои / М.П. Михайлова, В.Т. Синеговская // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2018. – № 72. – С. 280–283.
10. Попова Н.П. Особенности белкового комплекса семян сои северного экотипа / Н.П. Попова, М.Е. Бельштина, Т.П. Кобозева // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 1. – С. 104–108.
11. Роль некорневых подкормок в продукционном процессе агрофитоценозов сои и формировании жизнеспособности семян / В.Ф. Баранов, В.Л. Махонин, А.Т.К. Уго, А.В. Щегольков // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2013. – № 1 (153–154). – С. 40–48.
12. Синеговская В.Т. Влияние гербицидов на фотосинтетическую деятельность и ферментативную активность листового аппарата сои / В.Т. Синеговская, О.С. Душко, Е.В. Журавлева // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2019. – № 132. – С. 149–156.
13. Урожай и качество зернопродукции сои в зависимости от удобрений и норм высева семян / В.А. Федотов, Н.А. Макарова, Т.П. Некрасова, Н.В. Подлесных // Аграрная наука. – 2017. – № 9–10. – С. 20–23.
14. Эффективность экологически безопасных агроприемов при возделывании сои / Е.В. Головина, В.И. Зотиков, С.Н. Агаркова, В.В. Гришечкин // Земледелие. – 2015. – № 4. – С. 21–23.
15. Egli D.B. Soybean reproductive sink size and short-term reductions in photosynthesis during flowering and pod set / D.B. Egli // Crop Science. – 2010. – Vol. 50. – Pp. 1971–1977.
16. Modeling biometric traits, yield and nutritional and antioxidant properties of seeds of three soybean cultivars through the application of biostimulant containing seaweed and amino acids / S. Kocira, M. Koszel, A. Szparaga, A. Kocira, E. Czerwińska, A. Wójtowicz, U. Bronowicka-Mielniczuk, P. Findura // Frontiers in Plant Science. – 2018. – Vol. 9. – Pp. 388.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Марина Евгеньевна Бельштина – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории прогнозирования развития систем машин и технологий в АПК ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Россия, г. Москва, e-mail: bely-mari@yandex.ru.

Виктор Александрович Шевченко – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, профессор кафедры растениеводства и луговых экосистем ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: vimsoya@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 12.11.2020

Дата принятия к печати 26.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Marina E. Belyshkina, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Scientist, Laboratory for Forecasting the Development of Machinery and Technology Systems in Agriculture, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia, Moscow, e-mail: vimsoya@yandex.ru.

Viktor A. Shevchenko, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, the Dept. of Crop Production and Grassland Ecosystems, Russian Timiryazev State Agrarian University, Russia, Moscow, e-mail: vimsoya@yandex.ru.

Received November 12, 2020

Accepted after revision December 26, 2020

ВЛИЯНИЕ СРОКОВ СЕВА И ГЕРБИЦИДОВ НА ЗАСОРЁННОСТЬ ПОДСОЛНЕЧНИКА, ВОЗДЕЛЫВАЕМОГО БЕЗ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

**Виктор Корнеевич Дридигер
Наталья Александровна Горшкова**

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр

При возделывании подсолнечника без обработки почвы (технология No-till, прямой посев) для получения высокой урожайности культуры очень важна эффективная борьба с сорняками. Поэтому целью проведённых исследований является установление влияния сроков сева и использования гербицидов на засорённость и урожайность подсолнечника, возделываемого без обработки почвы в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Исследования проводили в 2018–2020 гг. В опыте подсолнечник высевали в 3 срока: 5–10 апреля, 25–30 апреля и 15–20 мая. На всех вариантах применяли гербициды по следующей схеме: 1) опрыскивание всхошедших сорняков гербицидом сплошного действия из группы глифосатов за 5–7 дней до посева подсолнечника (глифосат); 2) опрыскивание делянок от посева до появления всходов культуры глифосатом + почвенный гербицид; 3) допосевная обработка + гербицид Евро-Лайтнинг в фазе 3–4 пар настоящих листьев (контроль – без применения гербицидов). Установлено, что в среднем за 3 года исследований больше всего сорняков в течение вегетации подсолнечника было на контрольном варианте. Допосевное опрыскивание глифосатом существенно уменьшало количество и массу сорняков, но меньше всего их было при допосевном применении глифосата в сочетании с почвенным гербицидом и гербицидом Евро-Лайтнинг. Засорённость от первого к третьему сроку сева снижалась с 62 до 54 и 45 шт./м². Самая высокая урожайность подсолнечника получена при севе во второй декаде мая на варианте допосевого применения глифосата в сочетании с опрыскиванием посевов гербицидом Евро-Лайтнинг (2,34 т/га) и на варианте применения глифосата в сочетании с почвенным гербицидом (2,32 т/га). Применение одного глифосата, как и отказ от гербицидов, приводило к достоверному снижению урожайности культуры.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подсолнечник, технология No-till, срок сева, гербицид, засорённость, урожайность.

EFFECT OF SOWING TERMS AND APPLICATION OF HERBICIDES ON WEED INFESTATION OF SUNFLOWER PLANTING CULTIVATED WITHOUT TILLAGE

**Victor K. Dridiger
Natalia A. Gorshkova**

North Caucasus Federal Agricultural Research Centre

In order to obtain high crop yields in the cultivation of sunflower without soil tillage (No-till technology, direct sowing) it is very important to control weeds efficiently. Therefore, the objective of the presented research was to establish the effect of sowing terms and herbicides on the infestation and yield of sunflower cultivated without soil tillage in the zone of unstable humidification of Stavropol Krai. Research was performed in 2018–2020. Within the experiment sunflower was sown at 3 terms: April 5–10; April 25–30, and May 15–20. Within all sowing terms herbicides were applied according to the following scheme: spraying of sprouted weeds with a non-selective glyphosate-based herbicide 5–7 days prior to sunflower sowing (glyphosate); spraying of the plot from sowing to the emergence of crop sprouts with glyphosate and soil herbicide; spraying with glyphosate and Euro-Lightning herbicide in the phase of 3–4 pairs of true sunflower leaves; no use of herbicides (control). It is established that the highest average weed infestation during the sunflower growing season over 3 years of research was observed in the control variant. Presowing spraying with glyphosate significantly reduced the number and mass of weeds, but the least amount of them was recorded with the presowing treatment with glyphosate in combination with soil herbicide and Euro-Lightning herbicide. Weed infestation decreased from 62 to 54 and 45 units/m² from the first to the third sowing term. The highest yield of sunflower was obtained as a result of sowing in the second decade of May in the variant of presowing application of glyphosate in combination with crop spraying with Euro-Lightning herbicide (2.34 t/ha), and in the variant of using glyphosate in combination with soil herbicide (2.32 t/ha). The use of glyphosate alone, as well no herbicide application, resulted in a significant decrease in crop yield.

KEYWORDS: sunflower, technology, No-till, sowing terms, herbicide, infestation, yield.

Введение

Большой интерес у производителей растениеводческой продукции вызывают энерго- и ресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур [6]. К таким технологиям относится возделывание полевых культур, в том числе подсолнечника, без обработки почвы, позволяющее накопить и сохранить дополнительную влагу в почве, что является особенно важным для регионов с дефицитом атмосферных осадков [8, 9]. Так, в засушливой зоне Ставропольского края дополнительно накопленная влага при возделывании подсолнечника по этой технологии позволила увеличить урожайность культуры с 1,5–1,6 до 2,0–2,8 т/га [10].

Для уничтожения сорняков в данной технологии не используются основные и предпосевные обработки почвы, поэтому применять в ней механические способы борьбы с сорной растительностью невозможно [3]. В этой связи важную роль в регулировании засорённости посевов подсолнечника играют агротехнические и химические способы борьбы с сорняками, которые до настоящего времени в технологии возделывания культуры без обработки почвы не изучены. Поэтому целью наших исследований является установление влияния сроков сева и гербицидов на засоренность и урожайность подсолнечника, возделываемого без обработки почвы в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края.

Методика эксперимента

Исследования проводили в 2018–2020 гг. на полях Северо-Кавказского ФНАЦ, находящихся в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края, характеризующейся неустойчивым увлажнением по годам и неравномерным выпадением осадков в течение года.

Среднегодовое количество осадков составляет 511–636 мм, из которых 400–450 мм выпадает за вегетационный период. Гидротермический коэффициент равен 1,0–1,1, сумма температур выше 10°C составляет 3300–3650°C [1].

Почва опытного поля – чернозём обыкновенный среднесиловый слабогумусированный тяжелосуглинистый, благоприятный для возделывания сельскохозяйственных культур по технологии без обработки почвы [11].

Погодные условия во время вегетации подсолнечника в 2018 и 2020 гг. были очень засушливыми (ГТК = 0,68 и 0,66), в 2019 г. – засушливыми с ГТК = 0,73. Но в 2018 и 2019 гг. засуха наблюдалась в первой половине вегетации (апрель, май, июнь), в 2020 г. – во второй половине вегетации (август и сентябрь).

Подсолнечник в опыте возделывали без обработки почвы по озимой пшенице. Раннеспелый гибрид подсолнечника Тристан высевали в три срока (фактор А):

- первый – при температуре почвы на глубине заделки семян 6–8°C, что по календарным срокам приходится на 5–10 апреля;
- второй – при температуре почвы 10–12°C (25–30 апреля);
- третий – при температуре почвы 14–16°C (15–20 мая).

Посев производили сеялкой прямого сева Gimetal с шириной междурядий 70 см, нормой посева 65 тыс. семян на 1 га и их заделкой на глубину 6–8 см. Доза внесения припосевного удобрения в физическом весе составила 150 кг/га нитроаммофоски, или N₂₄P₂₄K₂₄ в действующем веществе.

Фактор Б (гербициды) включает следующие варианты:

без применения гербицидов (контроль);

1) опрыскивание всхошедших сорняков гербицидом сплошного действия из группы глифосатов за 5–7 дней до посева подсолнечника (глифосат);

2) опрыскивание полянок от посева до появления всходов культуры глифосатом + почвенный гербицид;

3) допосевная обработка + гербицид Евро-Лайтнинг в фазе 3–4 пар настоящих листьев.

На всех вариантах опыта, кроме контроля, за 5–7 дней до посева подсолнечника проводили опрыскивание взошедших сорняков гербицидом сплошного действия из группы глифосатов Истребитель с нормой расхода 3 л/га.

В качестве почвенного гербицида применяли баковую смесь двух препаратов – Фронтьер Оптима и Прометрин (0,8 и 2 л/га), которой опрыскивали деланки в период от посева до появления всходов.

В фазе 3–4 пар настоящих листьев посева подсолнечника опрыскивали гербицидом Евро-Лайтнинг с нормой расхода 1,2 л/га.

Уборку урожая осуществляли комбайном Сампо 2010.

Полевые исследования проводили общепринятыми методами согласно методическим рекомендациям по разработке минимальных систем обработки почвы и прямого посева [4], учет засорённости посевов – количественно-весовым методом [5], статистическую обработку полученных данных – методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [2] и В.П. Томилову [7].

Результаты и их обсуждение

Посевы подсолнечника, возделываемые без применения гербицидов (контроль), на протяжении всего вегетационного периода были наиболее засорёнными: во время всходов, 3–4 пар настоящих листьев и цветения в посевах подсолнечника в среднем по всем срокам сева за 3 года исследований произрастало 80–94 шт./м² сорных растений.

Допосевное опрыскивание деланок гербицидом сплошного действия существенно уменьшало количество произрастающих сорняков на начальных этапах роста и развития подсолнечника во все сроки сева. Однако меньше всего сорняков было при допосевном применении гербицида сплошного действия в сочетании с почвенным гербицидом и гербицидом по вегетирующим растениям подсолнечника. При этом применение почвенного гербицида сдерживало появление всходов сорняков и обеспечивало снижение засорённости в начальный период вегетации культуры, в результате засорённость во второй половине вегетации не увеличивалась вследствие хорошего развития и высокой конкурентоспособности растений подсолнечника по отношению к сорнякам.

На варианте допосевного применения гербицида сплошного действия и гербицида Евро-Лайтнинг наблюдалось появление всходов сорняков и увеличение засорённости посевов до фазы 3–4 пар листьев подсолнечника. Только после применения гербицида Евро-Лайтнинг регистрировали гибель сорняков и уменьшение их численности, но тем не менее показатели засорённости этого варианта были выше показателей варианта 2 (табл. 1).

Срок сева также оказал существенное влияние на засорённость посевов подсолнечника. При раннем сроке сева в первой декаде апреля в среднем за 3 года на всех вариантах применения гербицидов во время вегетации в посевах подсолнечника произрастало в среднем 62 шт./м² сорных растений, при посеве в третьей декаде апреля – 54, во второй декаде мая – 45 шт./м².

Это связано с тем, что к моменту позднего срока сева в среднем всходило существенно больше сорняков (130 шт./м²), чем при раннем сроке сева (80 шт./м²), которые уничтожались применением гербицида сплошного действия (глифосат) перед посевом подсолнечника. По этой причине при позднем сроке сева в почве оставалось существенно меньше жизнеспособных семян сорняков, что и привело к уменьшению засорённости посевов из-за меньшего количества их всходов. То есть перенесение срока сева на более позднее время приводит к достоверному уменьшению численности сорняков в посевах подсолнечника.

Таблица 1. Влияние сроков сева и гербицидов на динамику засорённости посевов подсолнечника в 2018–2020 гг., шт./м²

Срок сева	Фенологическая фаза подсолнечника				Среднее
	всходы	3–4 пары листьев	цветение	полная спелость	
Контроль					
05–10.04	80	82	78	71	78
25–30.04	124	100	87	66	94
15–20.05	77	72	74	43	67
Среднее	94	85	80	60	80
1. Глифосат					
05–10.04	47	82	75	72	69
25–30.04	43	48	59	49	50
15–20.05	32	48	69	49	50
Среднее	41	59	68	57	56
2. Глифосат + почвенный гербицид					
05–10.04	35	56	40	55	47
25–30.04	26	43	35	28	33
15–20.05	8	14	19	13	14
Среднее	23	38	31	32	31
3. Глифосат + Евро-Лайтнинг					
05–10.04	49	75	39	48	53
25–30.04	27	51	42	32	38
15–20.05	44	53	62	32	48
Среднее	40	60	48	37	46
НСР ₀₅ для срока сева	2,8	2,8	4,5	3,2	1,8
НСР ₀₅ для гербицида	3,2	3,2	5,2	3,6	2,1
НСР ₀₅ для частных средних	5,5	5,6	9,0	6,3	3,6

При смешанной засорённости посевов подсолнечника на всех вариантах опыта сроки сева и применяемые гербициды оказали существенное влияние на видовой состав сорных растений. При раннем сроке сева больше всего было амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) – 45 шт./м² в среднем за вегетацию подсолнечника. Перенос срока сева на третью декаду апреля приводил к уменьшению количества растений амброзии полыннолистной до 38 шт./м², и достоверно меньше всего их было при позднем сроке сева в третьей декаде мая – 18 шт./м².

От раннего к позднему срокам сева уменьшалось также количество следующих сорных растений:

- зимующих – василёк синий (*Centaurea cyanus* L.), латук компасный (*Lactuca serriola* L.), ярутка полевая (*Thlaspi arvense* L.), консолида великолепная (*Consolida regalis* Gray), мак самосейка (*Papaver rhoeas* L.), подмаренник цепкий (*Galium aparine* L.), лисохвост мышехвостниковидный (*Alopecurus myosuroides* Huds.) и фиалка полевая (*Viola arvensis* Murr.);

- яровых ранних – гречишка вьюнковая (*Fallopia convolvulus* (L.) A. Love) и дымянка Шлейхера (*Fumaria schleicheri* Soy.).

Одновременно с этим наблюдалось увеличение засорённости посевов яровыми поздними сорными растениями: ежовником обыкновенным (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.), щетинником сизым (*Setaria glauca* (L.) Beauv.), портулаком огородным (*Portulaca oleracea* L.), щирицей запрокинутой (*Amaranthus retroflexus* L.) и щирицей жминдовидной (*Amaranthus blitoides* S. Wats).

Помимо сроков сева на видовой состав сорной растительности оказывали влияние применяемые гербициды. На контрольном варианте произрастало в 1,9–2,4 раза больше растений амброзии полыннолистной, чем при применении гербицидов. Также на контроле наблюдалась наибольшая засорённость зимующими сорными растениями – консолидой великолепной, маком самосейкой, подмаренником цепким, лисохвостом мышехвостниковидным и фиалкой полевой.

Применение гербицида сплошного действия обеспечило уменьшение количества зимующих, яровых ранних и яровых средних сорных растений. Однако при этом в посевах подсолнечника в больших количествах стали произрастать яровые поздние сорняки, среди которых преобладающими были портулак огородный, щирица запрокинутая, щирица жминдовидная, ежовник обыкновенный и щетинник сизый. Послепосевное применение почвенного гербицида позволило сдержать появление всходов этих сорняков в начале вегетации подсолнечника, вследствие чего наблюдалась наименьшая засорённость посевов на этом варианте опыта.

Евро-Лайтнинг, применяемый в фазе 3–4 пар настоящих листьев подсолнечника, уничтожал практически все виды сорных растений. Вегетирующими остались лишь растения амброзии полыннолистной и единичные экземпляры вьюнка полевого (*Convolvulus arvensis* L.). Из-за негативного воздействия гербицида они прекратили расти, но не остановили свое развитие и впоследствии обсеменились. Во второй половине вегетации подсолнечника, посеянного в третьей декаде апреля и второй декаде мая, в посевах, возделываемых с применением Евро-Лайтнинга, происходит увеличение количества яровых поздних сорных растений, среди которых преобладающим был портулак огородный. Это связано с наступлением благоприятных условий для прорастания имеющихся в почве семян из-за обильных атмосферных осадков, выпавших в период бутонизации – цветения растений подсолнечника.

Гербициды оказывали влияние не только на количество и видовой состав сорных растений, но и на их сырую надземную массу, которая была существенно больше на контрольном варианте, где гербициды не применялись. Применение гербицида сплошного действия перед посевом подсолнечника приводит к достоверному уменьшению надземной массы сорняков в течение всего периода вегетации культуры, дополнительное внесение почвенного гербицида и гербицида по вегетации растений также приводит к существенному уменьшению их массы (табл. 2).

Таблица 2. Влияние сроков сева и гербицидов на динамику сырой массы сорных растений в 2018–2020 гг., г/м²

Срок сева	Фенологическая фаза подсолнечника				Среднее
	всходы	3–4 пары листьев	цветение	полная спелость	
Контроль					
05–10.04	113	380	1022	1136	663
25–30.04	280	437	1033	1375	781
15–20.05	498	955	1697	1104	1064
Среднее	297	591	1251	1205	836
1. Глифосат					
05–10.04	12	121	858	798	447
25–30.04	19	85	887	966	489
15–20.05	11	53	927	635	407
Среднее	14	86	891	800	448
2. Глифосат + почвенный гербицид					
05–10.04	8	93	735	1004	460
25–30.04	18	82	830	734	416
15–20.05	7	20	328	216	143
Среднее	11	65	631	651	340
3. Глифосат + Евро-Лайтнинг					
05–10.04	17	102	171	259	137
25–30.04	19	76	150	219	116
15–20.05	12	46	278	173	127
Среднее	16	75	200	217	127
НСР ₀₅ для срока сева	6,6	14,5	31,0	32,2	11,9
НСР ₀₅ для гербицида	7,6	16,7	35,8	37,2	13,8
НСР ₀₅ для частных средних	13,2	29,0	62,0	64,4	23,9

На варианте применения почвенного гербицида совместно с глифосатом наблюдается наибольшее снижение надземной массы сорных растений в начале вегетации подсолнечника, когда гербицид предотвращал появление всходов сорняков. После прекращения действия почвенного гербицида выпадающие осадки способствовали увеличению надземной биомассы сорных растений до 631–651 г/м², которая, тем не менее, была достоверно ниже, чем на контроле. Только при позднем сроке сева в середине мая на этом варианте наблюдается самая низкая масса сорняков, что обусловлено уничтожением большого количества взошедших до посева сорняков допосевным опрыскиванием гербицидом сплошного действия и соответственно меньшим количеством оставшихся в почве семян сорняков.

Применение гербицида Евро-Лайтнинга в фазе 3–4 пар листьев подсолнечника привело к гибели или сильному подавлению взошедших к этому времени сорняков. Поэтому в фазе цветения и полной спелости их вегетативная масса была в 3,2–3,0 раза меньше, чем при применении почвенного гербицида. Однако этот гербицид не уничтожал амброзию полыннолистную, которая во время обработки находилась в менее уязвимой для этого гербицида фазе – фазе ветвления. По этой причине растения сорняка приостановились в росте и развитии, но после выпавших осадков возобновили вегетацию. Поэтому на первых двух сроках сева наблюдается увеличение надземной массы сорных растений в фазе цветения и полной спелости семян подсолнечника, из которых основную долю составляла амброзия полыннолистная. При позднем сроке сева увеличение массы сорных растений к фазе цветения подсолнечника происходило за счёт произрастания в посевах портулака огородного.

Сроки сева не оказали столь существенного влияния на вегетативную массу сорняков, как на их численность. На контроле масса сорняков от первого к третьему сроку сева увеличивалась в течение всего вегетационного периода подсолнечника. Обусловлено это тем, что перенос срока сева на более позднее время приводит к увеличению массы сорняков ещё до посева подсолнечника, и они становятся более конкурентоспособными по отношению к только взошедшим культурным растениям. Это создаёт условия для более мощного развития вегетативной массы, чем на вариантах применения гербицидов, подавляющих рост и развитие сорных растений.

При применении гербицида сплошного действия (глифосат) и гербицида Евро-Лайтнинг вегетативная масса сорняков во все сроки сева не была одинаковой, так как при подавлении одних видов сорных растений большую надземную массу развивали другие виды, менее подверженные воздействию этого гербицида. Только при послепосевном внесении почвенного гербицида наблюдается существенное снижение массы сорняков от первого к третьему сроку сева. Объясняется это тем, что при переносе срока сева на более позднее время допосевным опрыскиванием гербицидом сплошного действия уничтожается больше взошедших сорняков и соответственно в почве остаётся меньше семян сорняков, способных взойти после прекращения действия почвенного гербицида. И чем позже срок сева, тем сорняков до посева уничтожается больше, тем засорённость посевов меньше.

Засорённость посевов подсолнечника оказала существенное влияние на его урожайность. Установлена корреляционная зависимость урожайности от количества и массы сорных растений. При этом в начальный период вегетации во время всходов и 3–4 пар листьев наблюдается более тесная отрицательная зависимость урожайности культуры от количества произрастающих в посевах сорняков ($r = -0,523$ и $-0,544$), чем от их надземной массы ($r = -0,285$ и $-0,395$). В течение вегетации усиливается отрицательная зависимость урожайности от массы сорняков и снижается от их количества, и в фазе полной спелости коэффициенты корреляции по обоим показателям составляют соответственно $-0,670$ и $-0,554$.

В среднем за 2018–2020 гг. исследований самая низкая урожайность во все сроки посева получена на контрольном варианте, где гербициды не применяли – 1,04 т/га (табл. 3).

Таблицы 3. Влияние сроков сева и гербицидов на урожайность подсолнечника, т/га (среднее за 2018–2020 гг.)

Гербицид	Срок сева			Среднее
	05–10.04	25–30.04	15–20.05	
Контроль	1,02	0,84	1,27	1,04
Глифосат	1,26	1,19	1,96	1,47
Глифосат + почвенный гербицид	1,38	1,32	2,32	1,67
Глифосат + Евро-Лайтнинг	1,50	1,61	2,34	1,82
Среднее	1,29	1,24	1,97	1,50
НСР ₀₅ для срока сева	0,09			
НСР ₀₅ для гербицида	0,11			
НСР ₀₅ для частных средних	0,18			

Достоверно большая урожайность (на 0,43 т/га) получена при допосевном применении гербицида сплошного действия из группы глифосатов. Математически достоверную прибавку на этом варианте обеспечило дополнительное применение почвенного гербицида до появления всходов культуры – 1,67 т/га. Однако самая высокая урожайность подсолнечника получена при опрыскивании участков перед посевом глифосатом, а затем в фазе 3–4 пар листьев – гербицидом Евро-Лайтнинг – 1,82 т/га, при этом превышение показателя варианта применения почвенного гербицида математически доказуемо.

На урожайность подсолнечника кроме засорённости посевов существенное влияние оказали погодные условия в годы исследований, когда в мае и июне наблюдались сильные атмосферные и почвенные засухи. В это время растения подсолнечника первых двух сроков сева страдали от недостатка влаги в течение фаз бутонизации, цветения и в начале налива семян, что отрицательно сказалось на их урожайности, тогда как растения третьего срока сева легче перенесли засуху, так как в это время были в фазе всходов и 3–4 пар листьев. Поэтому самая высокая урожайность в опыте получена при севе подсолнечника во второй декаде мая на варианте допосевого применения гербицида сплошного действия из группы глифосатов в сочетании с почвенным гербицидом и на варианте применения глифосата совместно с опрыскиванием посевов подсолнечника гербицидом Евро-Лайтнинг в фазе 3–4 пар листьев. Применение в борьбе с сорняками одного глифосата, как и отказ от гербицидов, приводило к достоверному снижению урожайности культуры.

Выводы

Самая низкая засорённость и самая высокая урожайность подсолнечника получены при его посеве во второй декаде мая на варианте допосевого применения гербицида сплошного действия из группы глифосатов в сочетании с почвенным гербицидом – 2,32 т/га и на варианте применения глифосата совместно с опрыскиванием посевов подсолнечника гербицидом Евро-Лайтнинг в фазе 3–4 пар листьев – 2,34 т/га.

Библиографический список

1. Антонов С.А. Тенденции изменения климата и их влияние на земледелие Ставропольского края / С.А. Антонов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4 (66). – С. 43–46.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник / Б.А. Доспехов. – 6-е изд., стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. – Москва : Альянс, 2011. – 350 с.
3. Корчагин В.А. Ресурсосберегающие технологические комплексы возделывания зерновых культур : науч.-практ. пособие / В.А. Корчагин. – Самара : Самарский НИИСХ, 2005. – 83 с.
4. Методические рекомендации по разработке минимальных систем обработки почвы и прямого посева : монография / В.И. Кирюшин, В.К. Дридигер, А.Н. Власенко и др. – Москва : Издательство МБА, 2019. – 136 с.
5. Методические указания по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве / А.А. Петунова, Т.А. Маханькова, Е.И. Кириленко и др. – Санкт-Петербург : ВНИИ защиты растений РАСХН, 2013. – 280 с.
6. Савенко О.В. Простой способ увеличения урожайности подсолнечника от ГК «Агролига России» // АГРО XXI : агропромышленный портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/zurnal-agromir-xxi/stati-rastenievodstvo/prostoi-sposob-uvlichenie-urozhainosti-podsolnechnika-ot-gk-agroliga-rossii.html> (дата обращения: 20.08.2020).
7. Томилов В.П. О статистической обработке данных полевых опытов / В.П. Томилов // Земледелие. – 1987. – № 3. – С. 48–51.
8. Турин Е.Н. Преимущества и недостатки системы земледелия прямого посева (обзор) в мире // Таврический вестник аграрной науки. – 2020. – № 2 (22). – С. 150–168.
9. Хасанова Г.Р. Оценка уровня засоренности агрофитоценозов при системе нулевой обработки почвы / Г.Р. Хасанова, Х.М. Сафин, С.М. Ямалов // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31, № 11. – С. 26–30.
10. Экономическая эффективность технологии No-till в засушливой зоне Ставропольского края / В.К. Дридигер, А.Ф. Невечеря, И.Д. Токарев, С.С. Вайцеховская // Земледелие. – 2017. – № 3. – С. 16–19.
11. Эффективность применения технологии No-till в различных почвенно-климатических зонах Ставропольского края / А.Н. Есаулко, Е.Б. Дрепа, А.Ю. Ожередова, Е.В. Голосной // Земледелие. – 2019. – № 7. – С. 28–31.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Принадлежность к организации

Виктор Корнеевич Дридигер – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, руководитель научного направления ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Россия, г. Михайловск, e-mail: dridiger.victor@gmail.com.

Наталья Александровна Горшкова – аспирант лаборатории технологий возделывания сельскохозяйственных культур ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Россия, г. Михайловск, e-mail: natalya.gorshkov@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 18.11.2020

Дата принятия к печати 26.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS
Affiliations

Viktor K. Dridiger, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Scientific Direction of the North Caucasus Federal Agricultural Research Centre, Russia, Mikhailovsk, e-mail: dridiger.victor@gmail.com.

Natalia A. Gorshkova, Postgraduate Student, Laboratory of Crop Cultivation Technologies of the North Caucasus Federal Agricultural Research Centre, Russia, Mikhailovsk, e-mail: natalya.gorshkov@mail.ru.

Received November 18, 2020

Accepted after revision December 26, 2020

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ НА ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ПЛОДОРОДИЕ ЧЕРНОЗЁМА ОБЫКНОВЕННОГО В УСЛОВИЯХ КАМЕННОЙ СТЕПИ

**Александра Михайловна Саинчук
Константин Егорович Стекольников**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Наиболее характерным признаком чернозёмов является хорошо развитый органофильный, характеризующийся интенсивной темной окраской, высоким содержанием и запасами гумуса фульватно-гуматного или гуматного типа. Благодаря этому чернозёмы отличаются высоким уровнем потенциального плодородия, заметно превосходящим уровень плодородия почв других типов. Однако показатели эффективного плодородия пахотных чернозёмов часто довольно низкие, поскольку в результате длительного экстенсивного использования в сельском хозяйстве их органическая часть претерпела заметную трансформацию, преимущественно дегумификационного характера. Поэтому в последнее время большое внимание уделяется агроэкологической оценке антропогенной эволюции чернозёмов. Преобразование степного ландшафта в лесостепной за счёт посадки лесных полос кардинально изменило гидрологический режим территории. Избыточное увлажнение территории обусловило развитие декарбонизации почвенного профиля чернозёма обыкновенного и его эволюцию в типичный и выщелоченный. Результатом трансформации карбонатно-кальциевой системы стало существенное преобразование гранулометрического состава. Приводятся оригинальные экспериментальные данные, характеризующие общие закономерности структурных изменений гумусовых веществ чернозёмов под влиянием деятельности человека. Выявлено влияние антропогенной эволюции на трансформацию карбонатно-кальциевой системы и гранулометрический состав чернозёма обыкновенного. Более существенные изменения в пахотных чернозёмах произошли с содержанием и запасами гумуса. Наблюдается активная дегумификация обыкновенного чернозёма, сопровождающаяся расширением соотношения $C_{\text{гф}}:C_{\text{фк}}$, с возрастанием роли гуматов кальция и негидролизуемого остатка в формировании гумуса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидроморфизм, карбонатно-кальциевая система, антропогенная эволюция чернозёма обыкновенного, декарбонизация, гранулометрический состав, гидроморфизм.

IMPACT OF ANTHROPOGENIC EVOLUTION ON POTENTIAL FERTILITY OF ORDINARY CHERNOZEM IN THE STONE STEPPE

**Aleksandra M. Sainchuk
Konstantin E. Stekolnikov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The most specific feature of chernozems is a well-developed organic profile characterized by intense dark color, and high content and reserves of humus of fulvate-humate or humate type. Due to this fact chernozems are distinguished by a high level of potential fertility, which significantly exceeds the level of fertility of other soil types. However, the values of effective fertility parameters of arable chernozems are often quite low, since their organic component has undergone a noticeable transformation (mainly of a degradation nature) as a result of long-term extensive use in agriculture. Therefore, in recent years much attention has been paid to the agroecological assessment of anthropogenic evolution of chernozems. The transformation of steppe landscape into forest-steppe due to forest belt planting has radically changed the hydrological regime of the territory. Excessive moisture in this territory caused the development of soil profile decalcification of ordinary chernozem and its evolution into typical and leached chernozem. The transformation of carbonate-calcium system resulted in a significant transformation of granulometric composition. The authors present the original experimental data that characterize the general patterns of structural changes in humic substances in chernozems under the influence of anthropogenesis. The authors have also revealed the impact of anthropogenic evolution on the transformation of carbonate-calcium system and granulometric composition of ordinary chernozem. More significant changes in arable chernozems concerned the content and reserves of humus. An active dehumification of ordinary chernozem is observed together with the expansion of the $C_{\text{bh}}:C_{\text{fa}}$ ratio with an increasing role of calcium humates and non-hydrolyzable residue in the formation of humus.

KEYWORDS: hydromorphism, carbonate-calcium system, anthropogenic evolution of ordinary chernozem, decalcification, granulometric composition.

Принято считать, что хозяйственная деятельность человека негативно влияет на окружающую среду, ведёт к деградации естественных экосистем и их замене искусственными, не обладающими необходимыми функциями жизнеобеспечения. Подобное природопользование таит в себе угрозу социально-экологического кризиса. И всё чаще звучат призывы к его разумному ограничению. Неслучайно многие авторы предлагают избрать новую стратегию, например внедрять технологии, имитирующие природные процессы. Не менее популярны требования сохранять экосистемы нетронутыми. Однако специалисты по-разному понимают, что такое естественные экосистемы. Не вполне ясно, насколько они отличаются от изменённых людьми, каковы реальные механизмы их функционирования.

Современная степная экосистема – это природная совокупность живых и косных компонентов, сформированная в условиях аридного климата при абсолютном господстве травяных форм растений с участием кустарничков, полукустарничков и степных кустарников. Доминирование трав – необходимый атрибут степной экосистемы.

В своё время В.В. Докучаевым была сформулирована идея устойчивости агроландшафта: соотношение пашня : лес : вода. По мнению В.В. Докучаева, общая площадь лесов должна составлять не менее 10–20%, ширина лесных полос – 20, 100 и более метров, а площадь полей – 7–20 га. Эта программа была воплощена в жизнь в Каменной степи. Облесённость современной территории достигла 8,9%. В условиях степи создан лесостепной ландшафт. Вряд ли сам В.В. Докучаев предвидел последствия такого облесения. В условиях степи в среднем не менее 60% талых вод в сумме с атмосферными осадками весной уходит боковым стоком по склону по неоттаявшей поверхности пахотных почв, к тому же у них хуже водопроницаемость вследствие их уплотнения в процессе сельскохозяйственного использования. На весеннюю влагозарядку почв пашни остается около 40% поступающей воды (в лесу – около 70%) [1].

Под влиянием лесных полос изменяются морфология, состав и свойства почв. Изменение условий почвообразования под влиянием лесных полос проявляется в формировании периодически промывного типа водного режима, свойственного условиям лесостепи. Следствием повышения гидроморфизма территории является трансформация карбонатно-кальциевой системы и органофилия изучаемых почв, что и обуславливает эволюцию чернозёма обыкновенного [7, с. 145], т. е. она имеет ярко выраженный антропогенный характер.

Почвенный покров Каменной степи изучен недостаточно [7, с. 142]. Это касается эволюции почв, обусловленной прежде всего антропогенным фактором – уровнем облесения территории. Первые исследования влияния лесных полос на почвы выполнил Б.П. Ахтырцев [2]. Этим вопросом занимались и другие исследователи, которые приходили иногда к прямо противоположным заключениям [3, с. 80; 4, с. 115]. Проблемы остаются и требуют решения.

Цель исследований – выявить влияние антропогенной эволюции на трансформацию карбонатно-кальциевой системы и гранулометрический состав чернозёма обыкновенного в условиях Каменной степи.

Объект и методы исследования. Объектом исследования является чернозём обыкновенный стационара А.Ф. Витера, заложенного в 1968 г. в трёхкратной повторности [6]. В течение последних 25–30 лет опытный участок использовался в полевом севообороте без применения удобрений.

Территория Каменной степи представляет собой изборозждённую пологими балками и неоформленными степными западинами слабоволнистую равнину. Нередки здесь и ветвистые овраги, местами глубоко врезаемые в толщу подпочвенных пород. На недренированных, представленных равными плакорными участками элементами рельефа встречаются многочисленные блюдцеобразные понижения, западинки, небольшие

бугорки и всхолмления зоогенной природы, вызывающие неравномерное распределение атмосферных осадков на поверхности почв, особенно при весеннем таянии снега и летом при интенсивных ливневых дождях. Создавая лесостепной ландшафт в степной зоне, В.В. Докучаев вряд ли мог предвидеть те изменения почвенного покрова, которые неизбежно должны были проявиться согласно им же открытым законам почвообразования.

Методы исследований

В ходе проведения исследований определяли:

- гранулометрический состав – по Качинскому;
- рН, рСа – потенциометрически в насыщенных водой пастах;
- $S_{\text{карб}}$ и $S_{\text{орг}}$ – на анализаторе Vario max CNS;
- известковый потенциал расчётным методом.

Результаты и их обсуждение

Системной работы за более чем вековой период исследований почв Каменной степи не проводилось. Отсутствует и база данных по почвам и почвенному покрову. Первые почвенные изыскания в Каменной степи были выполнены Н.М. Сибирцевым и К.Д. Глинкой под руководством В.В. Докучаева. Материалы исследований практически недоступны исследователям. Об уровне изученности почв в смежных областях можно судить по работам земледелов, которые мы вынуждены использовать для характеристики исходного состояния объекта исследований (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика почвы опытного участка (по Витеру, 1974)

Слой, см	рН _{KCl}	Гумус %	Н	S	V, %
			мг-экв/100 г почвы		
0–10	6,83	8,60	1,03	56,20	98
10–20	6,86	8,58	1,12	56,28	98
20–30	7,02	8,54	0,93	58,08	98
30–40	7,14	6,45	0,56	76,86	99
0–40	6,96	8,04	0,91	61,84	98

К сожалению, земледелы даже не задумывались, на каких почвах они выполняют свои исследования. В диссертации А.Ф. Витера [6] отсутствуют данные о типе почвы, на которой был заложен опыт. На территории НИИСХ ЦЧП им. В.В. Докучаева преобладали чернозёмы обыкновенные. Это подтверждается и данными таблицы 1. На это указывает высокое содержание гумуса в верхней части гумусового горизонта, особенно низкая величина гидролитической кислотности и очень высокая величина рН солевой вытяжки. При таких значениях рН солевой вытяжки почва должна вскипать в пределах пахотного слоя, что вполне вероятно для чернозёма обыкновенного, сформировавшегося на лёссе, почвообразующей породе, содержащей в своём составе до 40% карбонатов. О высокой исходной карбонатности свидетельствует и очень высокая сумма обменных оснований, тем более что она возрастает по мере углубления, что несколько противоестественно, так как содержание гумуса уже в слое 30–40 см резко (более чем на 2%) снижается, несмотря на то что эти показатели тесно связаны.

Исследованиями Н.Б. Хитрова [9, с. 905] выявлены существенные изменения морфологии всех почв Каменной степи, обусловленные усилением гидроморфизма территории. Таким образом, в исходном состоянии, 50 лет назад, почва участка относилась к чернозёмам обыкновенным. Все автоморфные почвы Каменной степи эволюционировали вследствие усиления гидроморфизма территории. Основной причиной является высокий уровень лесистости изучаемой территории. Происходит формирование несвойственных для степных условий агроландшафтов и трансформация почв автоморфного ряда в гидроморфные. Это подтверждается и данными собственных исследований, результаты

которых приведены в таблицах 2–3 и на рисунках 1–3. Считаем, что для чернозёмов, как это было показано ранее [10, с. 9–10], декальцирование является своеобразным пусковым механизмом деградации и/или эволюции. Мы понимаем, что наши данные не совсем корректно сравнивать с данными таблицы 1, но это вынужденный приём за неимением достоверных данных по исходному состоянию почвы стационара. Тем не менее основания для выявления эволюционного тренда у нас есть. Для определения процесса трансформации карбонатно – кальциевой системы нами определены параметры состояния карбонатно-кальциевой системы. Данные приведены в таблице 2.

Таблица 2. Состояние карбонатно-кальциевой системы изучаемых почв

№ разреза	Слой, см	pH	pCa	K _{изв}	C _{карб} , %	C _{орг} , %
3	0–12	6,86	3,23	5,25	0,08	4,33
	12–22	6,76	2,94	5,29	0,08	4,58
	22–33	6,93	3,14	5,36	0,08	3,23
	33–66	7,14	2,94	5,67	0,08	1,93
	66–82	7,87	2,95	6,40	8,27	1,31
	82–121	7,81	2,52	6,55	11,34	0,79
	121–140	7,88	2,72	6,52	10,49	0,63
5	0–10	6,33	2,96	4,85	0,16	4,79
	10–37	6,40	3,15	4,83	0,16	4,44
	37–59	6,93	3,01	5,43	0,16	4,31
	59–74	6,98	2,76	5,60	0,16	3,24
	74–109	7,73	3,07	6,20	7,26	1,76
	109–133	7,31	3,55	5,54	10,90	0,88

Считаем, что профиль изучаемой почвы подвержен активному процессу декальцирования. Прежде всего отметим низкую величину pH в пределах верхней части органо-профиля – 6,86 и 6,33. По параметрам, предложенным Г.М. Туминым [8, с. 920], она оценивается как слабокислая (5,6–6,9). О дефиците свободных катионов кальция свидетельствует и величина pCa, которая варьирует в пределах органо-профиля 3,23–2,95 и 3,15–2,76 соответственно в разрезах 3 и 5, а о низкой прочности связи их с минеральной матрицей можно судить по величине известкового потенциала, возрастающего вниз по профилю. В органо-профиле изучаемой почвы мало карбонатов, их содержание варьирует в пределах 0,08–8,27% (разрез 3) и 0,16–7,26% (разрез 5). При этом именно на нижней границе органо-профиля отмечается резкое повышение содержания карбонатов, что совершенно нетипично для чернозёма обыкновенного, но зато соответствует характеру их распределения по профилю в чернозёме типичном. Распределение их по профилю почвы элювиально-иллювиальное, что свидетельствует о развитии процесса декальцирования. Подтверждением этого вывода являются формы выделения видимых карбонатов, вместо типичной для обыкновенного чернозёма белоглазки мы наблюдаем псевдомицелий, а белоглазка приобретает диффузную форму. Только на глубине свыше 100–110 см встречается относительно плотная белоглазка.

Трансформация карбонатно-кальциевой системы чернозёма обуславливает все почвенные процессы [10, с. 9–10], в том числе и процессы деструкции минеральной матрицы. Процесс затрагивает даже относительно стабильные крупные фракции – песок и крупную пыль. Нами это было в своё время выявлено [7, с. 9–10] и показано, что декальцирование профиля обуславливает глубокую трансформацию минеральной матрицы, которая проявляется в изменении содержания гранулометрических фракций. Наличие подобного процесса в изучаемых почвах подтверждается данными гранулометрического анализа (табл. 3) на примере разрезов 3 и 5. Выбор этих разрезов

обусловлен примерно одинаковой глубиной залегания карбонатов – ниже границы органо-профиля, т. е. одинаковой степенью выщелоченности и одинаковой физико-химической обстановкой, в т. ч. величиной рН и известкового потенциала. Но эти разрезы весьма существенно различаются по содержанию лёссовой фракции (0,01–0,05 мм), что и определило их выбор для анализа.

Данные гранулометрического состава позволяют понять процессы, протекающие в почве, так и в целом генезис почв. Ведь важно знать не только содержание отдельных гранулометрических фракций, но и характер их распределения и степень дифференциации профиля. Для выявления эволюционных процессов в профиле изучаемых почв нами были рассчитаны коэффициенты элювиирования тонкодисперсных фракций по формуле

$$Kэ = a/b,$$

где $Kэ$ – коэффициент элювиирования;

a – содержание ила (или любой другой фракции) в горизонте А, %;

b – содержание ила (или любой другой фракции) в горизонте С, %.

При $Kэ < 1$ имеет место элювиирование фракции, а при $Kэ > 1$ она аккумулируется. Нами выполнены расчёты для тонкой пыли и ила по отношению к горизонту С. Качество глины ($K_{гл}$) показывает долю ила в физической глине и может быть выражено в процентах или долях единицы. Оценка идентична $Kэ$ (табл. 3).

Таблица 3. Гранулометрический состав разрезов 3 и 5

№ разреза	Слой, см	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	< 0,01	Кэ1	Кэ2	К _{гл}	Гранулометрический состав
3	0–12	0,92	4,48	33,98	14,76	26,44	19,42	60,62	1,05	0,54	0,82	Легко глинистый
	12–22	1,22	0,10	37,08	12,02	37,36	12,22	61,60	1,48	0,34	0,84	–“–
	22–33	0,48	2,46	42,24	11,66	21,96	21,20	54,82	0,87	0,56	0,74	–//–
	33–66	1,41	4,29	35,28	11,90	22,06	25,06	59,02	0,87	0,70	0,80	–//–
	66–82	0,81	4,03	29,96	10,72	23,04	32,44	66,20	0,91	0,90	0,90	Средне глинистый
	82–121	0,29	5,07	25,58	8,24	25,62	35,24	69,10	1,01	0,98	0,94	–//–
	121–140	0,36	4,20	22,84	12,52	25,24	35,84	73,60	–	–	–	–//–
5	0–10	0,48	3,60	24,74	12,21	17,17	42,00	71,38	1,81	0,90	1,05	Средне глинистый
	10–37	1,16	16,48	9,56	14,70	19,92	38,18	72,80	2,10	0,82	1,07	–//–
	37–59	1,41	16,76	9,05	20,77	14,59	37,42	72,78	1,54	0,80	1,07	–//–
	59–74	1,34	21,18	6,56	17,35	11,85	41,72	70,92	1,25	0,89	1,04	–//–
	74–109	0,96	20,28	2,44	17,80	14,00	44,52	77,32	1,48	0,95	1,14	–//–
	109–133	1,68	26,14	4,13	11,84	9,46	46,75	68,05	–	–	–	–//–

Примечание: Кэ1 – коэффициент элювиирования тонкой пыли; Кэ2 – коэффициент элювиирования ила; К_{гл} – качество физической глины.

По результатам анализа гранулометрического состава изучаемые почвы по единой шкале, предложенной в работе В.И. Кирюшина [5, с. 50], являются легко- и средне-глинистыми. Вниз по профилю гранулометрический состав утяжеляется. Сравнение результатов гранулометрического состава разрезов 3 и 5 выявляет существенные различия как по содержанию гранулометрических фракций, так и по характеру их распределения по профилю. Наиболее существенны они для фракций крупной и тонкой пыли и ила (рис. 1).

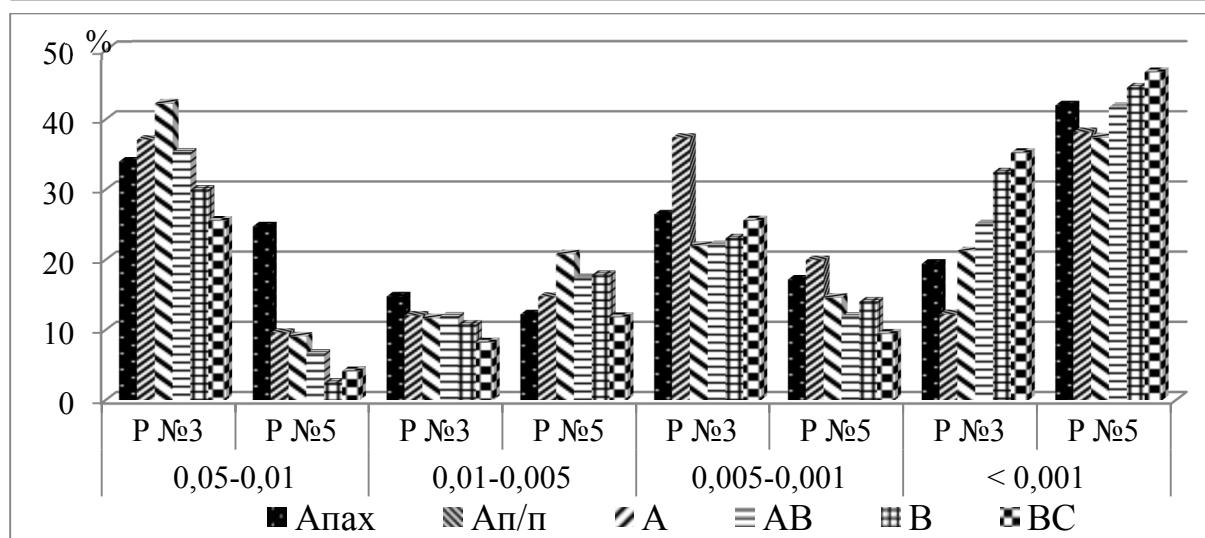


Рис. 1. Содержание и характер распределения гранулометрических фракций по профилю разрезов 3 и 5

Так, в разрезе 3 содержание крупной пыли по профилю изменяется от 33,98 в пахотном слое до 42,24 в горизонте А и снижается до 22,84% в горизонте ВС. Характер распределения – модальный. Содержание этой фракции в разрезе 5 существенно ниже и изменяется по профилю от 24,74 в пахотном слое до 2,44% в горизонте С, а характер распределения по профилю – элювиально-иллювиальный. Наибольший интерес представляет содержание и характер распределения по профилю фракции ила. Если в разрезе 3 наблюдается увеличение содержания ила с глубиной в 1,8 раза, то в разрезе 5 его содержание существенно выше, а характер распределения по профилю элювиально-иллювиальный. Характер изменений этих величин наглядно представлен на рисунке 2.

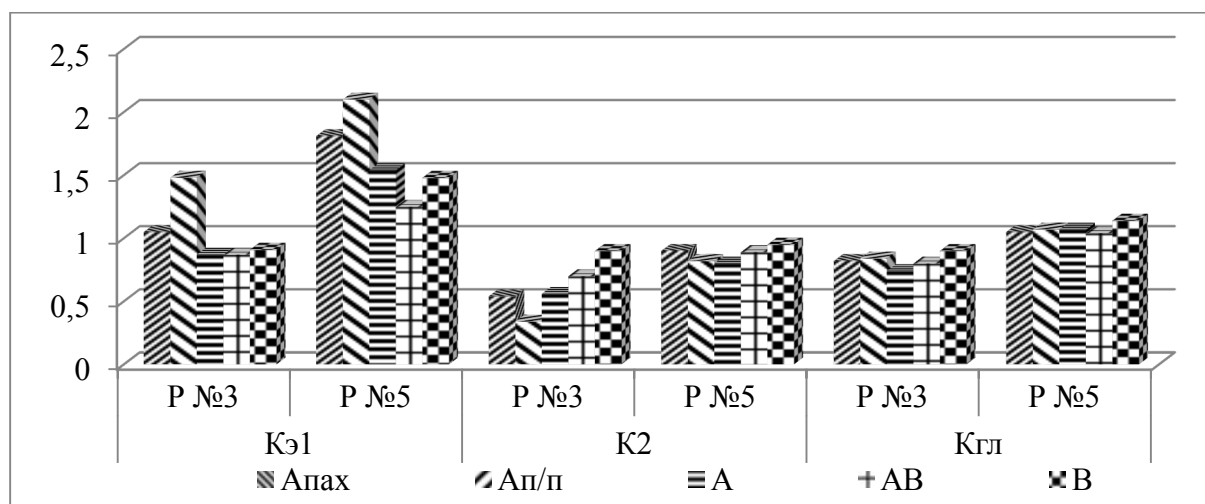


Рис. 2. Изменение величин Kэ1 (коэффициент элювиирования тонкой пыли), Kэ2 (коэффициент элювиирования ила), Kгп (качество физической глины по профилю)

Величина коэффициента элювиирования тонкой пыли (Kэ1) в разрезе 3 существенно ниже, чем в разрезе 5. И если аккумуляция фракции тонкой пыли в разрезе 3 наблюдается только в горизонте Ап/п, то в разрезе 5 – по всему профилю. Однако характер изменения величины Kэ1 в изучаемых разрезах одинаковый – элювиально-иллювиальный. Несколько иная закономерность наблюдается в изменении величины коэффициента элювиирования ила (Kэ2). В разрезах 3 и 5 она заметно ниже единицы,

что указывает на элювиирование профиля по илу, однако этот процесс более выражен в разрезе 3. Снижение содержания ила по всему профилю разреза 3 – 1,5- или 2-кратное по сравнению с его содержанием в разрезе 5. Развивается процесс активного обезиливания средней части профиля. По сравнению с величиной $K_{э1}$ характер изменения величины $K_{э2}$ в изучаемых разрезах одинаковый – элювиальный.

Существенные различия наблюдаются и по величине качества глины ($K_{гп}$). Судя по величине $K_{гп}$, в разрезе 3 наблюдается устойчивое снижение доли ила в физической глине, а в разрезе 5 развивается процесс аккумуляции его по всему профилю. Характер изменения величины $K_{гп}$ по профилю в разрезах 3 и 5 одинаков и соответствует элювиально-иллювиальному типу.

Считаем, что между процессами деструкции и элювиирования гранулометрических фракций и содержанием карбонатов существует корреляционная связь, что подтверждается определением коэффициентов корреляции. Данные расчётов коэффициентов корреляции представлены на рисунке 3.

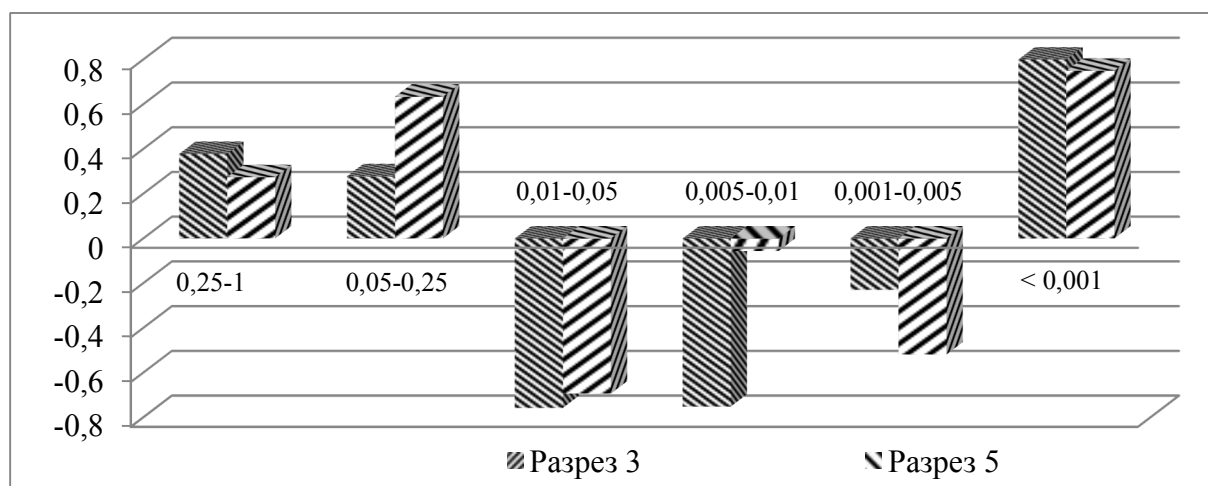


Рис.3. Коэффициенты корреляции содержания углерода карбонатов с содержанием гранулометрических фракций

Установлена слабая связь содержания карбонатов с содержанием фракции среднего песка, слабая (разрез 3) и средняя (разрез 5) – с содержанием мелкого песка. Связь содержания карбонатов с содержанием фракции крупной пыли – тесная отрицательная, с содержанием средней пыли – тесная отрицательная в разрезе 3, а в разрезе 5 она отсутствует. Связь содержания карбонатов с содержанием фракции тонкой пыли слабая отрицательная в разрезе 3 и средняя отрицательная в разрезе 5, а с содержанием ила тесная.

Установлено, что усиление гидроморфизма изучаемой территории обуславливает процесс декарбонизации профиля чернозёма обыкновенного, следствием которого является деструкция гранулометрических фракций, обезиливание органофилия и огливание нижней части профиля.

Библиографический список

1. Адерихин П.Г. Изменение почв под влиянием лесных полос в Каменной степи / П.Г. Адерихин // Преобразование природы в Каменной степи. – Москва : Россельхозиздат, 1970. – С. 78–88.
2. Ахтырцев Б.П. Почвы и их изменение под влиянием лесных полос : монография / Б.П. Ахтырцев // Каменная степь: лесоаграрные ландшафты. – Воронеж : Изд-во Воронежского государственного университета, 1992. – С. 94–115.
3. Витер А.Ф. Обработка почвы в сочетании с применением удобрений в условиях Центрально-Чернозёмной зоны : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / А.Ф. Витер. – Воронеж, 1975. – 20 с.
4. Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь / В.В. Докучаев. – Москва ; Ленинград : Сельхозгиз, 1936. – 116 с.
5. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение : учебник / В.И. Кирюшин. – Санкт-Петербург : КВАДРО, 2013. – 678 с.
6. Орлов Д.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, М.С. Розанова // Почвоведение. – 2004. – № 8. – С. 918–926.
7. Стекольников К.Е. Карбонатно-кальциевый режим и гумусовое состояние чернозёмов лесостепи ЦЧЗ : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 03.02.13 / К.Е. Стекольников. – Воронеж, 2011. – 48 с.
8. Тумин Г.М. Влияние лесных полос на почву в Каменной степи / Г.М. Тумин. – Воронеж : Коммуна, 1930. – 40 с.
9. Хитров Н.Б. Подход к ретроспективной оценке изменения состояния почв во времени / Н.Б. Хитров // Почвоведение. – 2008. – № 8. – С. 899–912.
10. Хренова Н.В. Спектральная характеристика гумусовых кислот чернозёма обыкновенного Каменной степи / Н.В. Хренова, К.Е. Стекольников // Вестник студенческого научного общества. – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 59–62.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Принадлежность к организации

Александра Михайловна Саинчук – аспирант кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agrohimi@agronomy.vsau.ru.

Константин Егорович Стекольников – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: agrohimi@agronomy.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 21.11.2020

Дата принятия к печати 26.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS
Affiliations

Aleksandra M. Sainchuk, Postgraduate Student, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agrohimi@ag.vsau.ru.

Konstantin E. Stekolnikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: agrohimi@ag.vsau.ru.

Received November 21, 2020

Accepted after revision December 26, 2020

ПРОИЗВОДСТВО ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ СОВРЕМЕННЫХ ПРИЁМАХ ЗАЩИТЫ КАРТОФЕЛЯ

**Алексей Владимирович Бутов¹
Владимир Григорьевич Ширококов²
Анатолий Владимирович Дедов²
Анна Алексеевна Мандрова³**

¹Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина

²Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

³Липецкий институт переподготовки и повышения квалификации
кадров агропромышленного комплекса

Представлены результаты исследований, выполненных в учебно-опытном хозяйстве Елецкого госуниверситета в Липецкой области (2015–2017 гг.) с целью разработки приёмов эффективной защиты растений картофеля от вредителей и болезней. Использовали инсектицид Актара, КС; инсектофунгицид Престиж, КС; фунгициды Ридомил Голд МЦ, ВДГ; Ревус, КС; Ширлан, СК; Селест Топ, КС; биопрепараты Альбит, ТПС и Силиплант, ВР. Предложены приёмы нейтрализации накопления токсичных пестицидов в клубнях картофеля за счёт использования инсектофунгицида Селест Топ, КС в уменьшенной на 25% норме, сниженных на 40% нормах современных фунгицидов в сочетании с биопрепаратами Силиплант, ВР или Альбит, ТПС. Пестициды в клубнях к уборке отсутствовали при следующей системе защиты: обработка клубней инсектофунгицидом Селест Топ, КС 0,3 л/т совместно с одним из биопрепаратов (Альбит, ТПС 0,1 л/т) или с жидким удобрением Силиплант, ВР 0,04 л/т; 1-я обработка для защиты растений картофеля от фузариоза и альтернариоза фунгицидом Ридомил Голд, МЦ 1,5 кг/га; 2-я и 3-я обработки против болезней фунгицидом Ревус, КС 0,36 л/га; 4-я и 5-я обработки для профилактики фитофтороза фунгицидом Ширлан, СК 0,24 л/га совместно с одним из биопрепаратов Силиплант, ВР 1,0 л/га или Альбит, ТПС 0,05 л/га 2 раза за вегетацию. В рекомендованной системе защиты полностью исключено использование инсектофунгицида Престиж, КС. Урожайность составила 31,5–33,1 т/га (23,5 т/га на контроле) при содержании нитратов в клубнях (фон – N₇₅P₁₅₀K₁₂₀ кг/га д.в.) 71,9 мг/кг (ПДК в РФ 80 и 250 мг/кг соответственно для продукции, предназначенной для детей и взрослых). Использование современных средств защиты картофеля и биопрепаратов в сочетании с уменьшенными нормами инсектофунгицидов и фунгицидов позволяет получить экологически безопасную продукцию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: картофель, современные пестициды, биопрепараты, нитраты, экологически безопасная продукция.

CULTIVATION OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PRODUCTS WITH MODERN METHODS OF POTATO PROTECTION

**Alexey V. Butov¹
Vladimir G. Shirobokov²
Anatoliy V. Dedov²
Anna A. Mandrova³**

¹Bunin Yelets State University

²Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

³The Lipetsk Institute of the Personnel Qualification Upgrade of Agro-Industrial Complex

The authors present the results of research performed in order to develop methods of efficient protection of potato plants from pests and diseases allowing to reduce the pesticide load on the crop and to obtain environmentally safe products. Field experiments were conducted in 2015–2017 in the scientific experimental farm of Yelets State University in Lipetsk Oblast. The soil in the plots was leached medium loamy chernozem with the humus content of 5.8%. The following treatment was applied: Actara SC insecticide; Prestige SC insectofungicide; Ridomil Gold MZ WG, Revus SC, Shirlan SC, and Celest Top SC fungicides; Albite TRP and Siliplant WS biological preparations. As a result,

the authors have proposed the methods for neutralizing the accumulation of toxic pesticides in potato tubers by using the Celest Top insectofungicide (Hazard Class 2) at the rate reduced by 25% in combination with modern fungicides at the rate reduced by 40%, and Siliplant or Albite biological preparations. By the time of harvesting pesticides in tubers were absent within the following protection system: treatment of tubers with Celest Top SC 0.3 L/ha and Albite TRP 0.1 L/t; treatment of haulms with Ridomil Gold MZ WG 1.5 kg/ha for the 1st treatment, Revus SC 0.36 L/ha for the 2nd and 3rd treatments, Shirlan SC 0.24 L/ha for the 4th and 5th treatments + Albite TRP 0.05 L/ha or Siliplant WS 1.0 L/ha 2 times per growing season. Within the recommended protection system the use of Prestige insectofungicide is completely excluded. The yield of tubers was 31.5-33.1 t/ha compared to 23.5 t/ha in the control variant. The content of nitrates in tubers ($N_{75}P_{150}K_{120}$ kg/ha a.i. background) was 71.9 mg/kg (with the MPC in the Russian Federation of 80 and 250 mg/kg, respectively, for products intended for children and adults). The use of modern potato plant protection products and biological preparations in combination with insectofungicides at the rates reduced by 25% and fungicides at the rates reduced by 40% ensures the production of environmentally safe product.

KEYWORDS: potato, modern pesticides, biological preparations, nitrates, environmentally safe products.

Введение

Для России картофель является стратегически важной продовольственной культурой, «вторым хлебом», доступным широким слоям населения для питания. Эта культура сильно повреждается вредителями и болезнями. Существуют вредоносные объекты, борьба с которыми стала необходимым атрибутом возделывания картофеля. К ним, в первую очередь, относятся колорадский жук, проволочник, опасные грибковые болезни (фитофтороз), бактериальные гнили, вирусные заболевания. Ежегодный недобор урожая этой культуры от действия данных факторов в период вегетации зависит от сорта и составляет от 20 до 30%, а в неблагоприятные годы может быть более 50% [13].

Интегрированная система защиты картофеля от болезней, вредителей и сорняков предполагает осуществление комплекса мер, среди которых значительную долю занимает химический метод [8, 9]. Усиленная химизация производства картофеля позволяет получать высокие урожаи, но при этом может сильно страдать биологическое качество продукции. На прилавки торговых сетей нередко поступают занитраченные партии клубней, содержащие при этом так называемые «долгоиграющие» пестициды [16]. Попадая в организм человека с продукцией, отравляющие вещества вызывают тяжёлые заболевания [5]. Они обладают также аллергенным, канцерогенным действием, разрушают иммунитет человека [17]. Среди населения активно развивается хемофобия. Не вникая в сущность технологических процессов, но зная о применении в сельском хозяйстве пестицидов и удобрений, люди с опасением относятся к продуктам, выращенным промышленным способом [8]. Так подрывается не только физическое, но и духовное здоровье человека [7].

Ещё одной актуальной проблемой является низкая сохранность таких клубней в поствегетационный период [4]. Полный отказ от применения пестицидов в промышленных масштабах на данном уровне развития агрономической науки невозможен. Однако вполне возможно значительно ослабить их негативное влияние [15]. В Центрально-Чернозёмном регионе РФ технология возделывания картофеля из года в год становится все более сложной и требует серьёзных мер и затрат для борьбы с вредителями и болезнями [14]. Наиболее опасными врагами картофельных посадок из вредителей является колорадский жук, из болезней – фитофтороз. Если не принимать должных мер по защите растений, они могут нанести огромный ущерб урожаю – снизить его на 60–70%, а иногда уничтожить полностью [18].

В настоящее время появились новые высокоэффективные пестициды классом опасности ниже предыдущих. Назрела необходимость в разработке новой системы защиты растений картофеля от болезней и вредителей со сниженными нормами пестицидов [18]. В Западной Европе и в Северной Америке еще 30 лет назад сформировался опережающий рост спроса у населения на экологически безопасные продукты [6]. В нашей стране отсутствует законодательство, сертификация и политика финансовой поддержки производства экологически безопасной продукции. Производителям биологически качественного картофеля требуются чёткие рекомендации по гарантированному получению достаточно хорошего, экологически безопасного урожая клубней [1].

Цель исследований:

- разработать приёмы эффективной защиты картофеля от вредителей и болезней, позволяющие снизить пестицидную нагрузку на культуру и получить экологически безопасную продукцию;
- обосновать схему применения нового инсектофунгицида классом опасности ниже ранее используемого в сочетании с препаратами Альбит и Силиплант для получения экологически безопасной продукции;
- определить содержание нитратов при используемой дозе минеральных удобрений в опыте.

Объекты и методы исследований

Полевые опыты проводили в 2015–2017 гг. в учебно-опытном хозяйстве Елецкого государственного университета имени И.А. Бунина (ЕГУ им. И.А. Бунина), Липецкая область. Почва участков – чернозём выщелоченный среднесуглинистый с содержанием гумуса (по Тюрину) 5,8%.

Схема опыта.

1. Контроль. Клубни и ботва фунгицидами не обрабатывались. Инсектицид Актара, КС применяли в период вегетации картофеля 2–3 раза при обработке ботвы для защиты от колорадского жука в дозе 0,06 л/га.

2. Клубни картофеля обрабатывали инсектофунгицидом Престиж, КС в дозе 0,7 л/т. Первая обработка проводится для защиты картофеля от фузариоза и альтернариоза, применяют фунгицид Ридомил Голд МЦ, ВДГ в дозе 2,5 кг/га; 2-я и 3-я обработки – против болезней – фунгицид Ревус, КС в дозе 0,6 л/га; 4-я и 5-я обработки – для профилактики фитофтороза – фунгицид Ширлан, СК в дозе 0,4 л/га.

3. Клубни картофеля обрабатывали инсектофунгицидом Селест Топ, КС в дозе 0,4 л/т, остальные обработки – как на варианте 2.

4. Клубни картофеля обрабатывали инсектофунгицидом Селест Топ, КС в дозе 0,4 л/т совместно с регулятором роста Альбит, ТПС в дозе 0,1 л/т. Первая обработка проводится для защиты картофеля от фузариоза и альтернариоза, применяют фунгицид Ридомил Голд МЦ, ВДГ в дозе 2,5 кг/га; 2-я и 3-я обработки – против болезней – фунгицид Ревус, КС в дозе 0,6 л/га; 4-я и 5-я обработки – для профилактики фитофтороза – фунгицид Ширлан, СК в дозе 0,4 л/га совместно с регулятором роста Альбит, ТПС в дозе 0,05 л/га 2 раза за вегетацию.

5. Клубни картофеля обрабатывали инсектофунгицидом Селест Топ, КС в дозе 0,3 л/т совместно с регулятором роста Альбит, ТПС в дозе 0,1 л/т. Первая обработка проводится для защиты картофеля от фузариоза и альтернариоза, применяют фунгицид Ридомил Голд МЦ, ВДГ в дозе 1,5 кг/га; 2-я и 3-я обработки – против болезней – фунгицид Ревус, КС в дозе 0,36 л/га; 4-я и 5-я обработки – для профилактики фитофтороза – фунгицид Ширлан, СК в дозе 0,24 л/га совместно с регулятором роста Альбит, ТПС в дозе 0,05 л/т 2 раза за вегетацию.

6. Клубни картофеля обрабатывали инсектофунгицидом Селест Топ, КС в дозе 0,4 л/т совместно с жидким кремнийсодержащим удобрением Силиплант, ВР в дозе 0,04 л/т. Первая обработка проводится для защиты картофеля от фузариоза и альтернариоза, применяют фунгицид Ридомил Голд МЦ, ВДГ в дозе 2,5 кг/га; 2-я и 3-я обработки – против болезней – фунгицид Ревус, КС в дозе 0,6 л/га; 4-я и 5-я обработки – для профилактики фитофтороза – фунгицид Ширлан, СК в дозе 0,4 л/га совместно с Силиплантом, ВР в дозе 1,0 л/га 2 раза за вегетацию.

7. Клубни картофеля обрабатывали инсектофунгицидом Селест Топ, КС в дозе 0,3 л/т совместно с жидким кремнийсодержащим удобрением Силиплант, ВР в дозе 0,04 л/т. Первая обработка проводится для защиты картофеля от фузариоза и альтернариоза, применяют фунгицид Ридомил Голд МЦ, ВДГ в дозе 1,5 кг/га; 2-я и 3-я обра-

ботки – против болезней – фунгицид Ревус, КС в дозе 0,36 л/га; 4-я и 5-я обработки – для профилактики фитофтороза – фунгицид Ширлан, СК в дозе 0,24 л/га совместно с Силиплантом, ВР в дозе 1,0 л/га 2 раза за вегетацию.

Площадь опытной делянки – 54 м², повторность вариантов – 4-кратная. Сорт картофеля – среднеранний Невский. Густота посадки клубней – 54–55 тыс./га, при междурядьях картофеля – 75 см. Предшественник картофеля – озимая пшеница.

Минеральные удобрения в дозе N₇₅P₁₅₀K₁₂₀ общим фоном вносили весной после разбивки опытов в соответствии с программой исследований. Доза по азоту (N₇₅) в полном минеральном удобрении взята с учётом предыдущих наших исследований по нитратам в опытах с удобрениями [19].

При наступлении физической спелости почвы проводили её предпосадочную обработку. Посадку картофеля в годы проведения опытов осуществляли в зависимости от погодных условий в период с 11 по 14 мая. Уборку проводили в третьей декаде августа.

Концентрацию пестицидов в клубнях картофеля определяли в технологической аналитической лаборатории филиала ФГБУ «Россельхозцентр по Липецкой области» инверсионно-вольтамперометрическим методом (ГОСТ Р 51301-99) [2].

Нитраты определяли в агрохимической лаборатории сельскохозяйственного факультета ЕГУ им. И.А. Бунина по методике [10] с помощью прибора рН-метр-иономер «Эксперт-001» анализатор жидкости.

Клубни для анализов на остаточное количество фунгицидов отбирали на варианте 3 с полными нормами пестицидов.

Математическую обработку данных по урожаю, содержанию нитратов проводили методом дисперсионного анализа по Доспехову [3].

Краткая характеристика применяемых препаратов.

Ридомил Голд МЦ, ВДГ – системный высокоэффективный фунгицид от болезни картофеля.

Ревус, КС – эффективный трансламинарный фунгицид для защиты картофеля от заболеваний, вызванных оомицетами (фитофтороз, пероноспороз и др.).

Ширлан, КС – контактный фунгицид для уничтожения грибковой инфекции (фитофтороз, альтернариоз и др.).

Престиж, КС – инсектофунгицидный препарат, который уже много лет используется для протравливания клубней перед посадкой от вредителей и болезней. В состав его входят инсектицид Имдаклоприд (140 г/л) и фунгицид Пенцикурон (150 г/л). Класс опасности пестицида по Имдаклоприду самый высокий – первый. Пенцикурин в составе препарата Престиж – контактный фунгицид с длительным защитным действием.

Селест Топ, КС – современный комбинированный инсектофунгицидный протравитель семенных клубней картофеля. В составе препарата один инсектицид и два фунгицида: инсектицид Тиаметоксам (262,5 г/л) и фунгициды Флудиоксанил (25 г/л), Дифеноконазол (25 г/л). Тиаметоксам – химический инсектицид против колорадского жука и проволочников. Флудиоксанил и дифеноконазол – фунгициды для борьбы с болезнями картофеля. Класс опасности препарата Селест Топ, КС – второй, то есть ниже, чем у Престижа.

Альбит, ТПС – эффективный комплексный биопрепарат, универсальный регулятор роста растений, со свойствами фунгицида и комплексного удобрения.

Силиплант, ВР – комплексное удобрение. Действующее вещество – биоактивный кремний в хелатной форме, дополненный микроэлементами (железо, цинк, магний, медь, бор и др.).

Опрыскивание семенных клубней протравителями осуществляли непосредственно в комбинированной сажалке Гримме во время посадки. По вегетирующим растениям в соответствии со схемой исследований для обработки изучаемыми препаратами использовали ранцевые опрыскиватели.

Результаты и их обсуждение

Экономически значимые вредители и патогены болезней могут значительно снижать потенциальную урожайность картофеля [18]. Проведённый учёт урожая клубней в опыте при уборке показал, что изучаемые современные средства и приёмы защиты растений оказали заметное влияние на его величину (см. табл.).

Урожайность и остаточное количество инсектицидов в клубнях картофеля на различных вариантах защиты от вредителей и болезней (фон – N₇₅P₁₅₀K₁₂₀, 2015–2017 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Остаточное количество инсектицидов в клубнях. Числитель: число дней от обработки. Знаменатель: содержание инсектицидов в клубнях, мг/кг (МДУ = 0,05 мг/кг)			
		Тиаметоксим (Актара)			
1. Контроль	23,5	10 / 0,081	20 / 0,028	30 / 0,0027	40 / не обнар.
2. Престиж	29,0	Имидаклоприд (Престиж)			
		65 / 0,087	75 / 0,038	85 / 0,016	95 / 0,007
3. Селест Топ	30,7	Тиаметоксам (Селест Топ)			
		65 / 0,073	75 / 0,032	85 / 0,017	95 / 0,0023
4. Альбит (+)	34,1	Тиаметоксам (Селест Топ)			
		65 / 0,071	75 / 0,027	85 / 0,015	95 / 0,0012
5. Уменьшенные нормы пестицидов по клубням и ботве	31,5	Тиаметоксам (Селест Топ)			
		65 / 0,053	75 / 0,020	85 / 0,011	95 / не обнар.
6. Силиплант (+)	34,9	Тиаметоксам (Селест Топ)			
		65 / 0,070	75 / 0,028	85 / 0,013	95 / не обнар.
7. Уменьшенные нормы пестицидов	33,1	Тиаметоксам (Селест Топ)			
		65 / 0,051	75 / 0,017	85 / 0,010	95 / не обнар.
НСР ₀₅	1,6				

Исследования показали, что на контрольном варианте с применением защиты растений только от колорадского жука (от болезней фунгициды не использовались) получено 23,5 т/га картофеля. При интенсивной системе защиты растений от вредителей и болезней в сочетании с полными нормами пестицидов и современными биопрепаратами на вариантах 4 и 6 урожайность клубней возросла соответственно до 34,1 и 34,9 т/га. На этих и всех других вариантах, кроме контрольного, меры борьбы с колорадским жуком предусмотрены при обработке посадочных клубней инсектофунгицидами.

Современный инсектофунгицид Селест Топ оказался эффективнее препарата Престиж. Прибавка урожая на варианте 3 (Селест Топ) составила 1,7 т/га в сравнении с вариантом 2 (Престиж). Добавление препарата Альбит в систему защиты растений с полными нормами пестицидов на варианте 4 увеличивало прибавку урожая на 3,4 т/га в сравнении с аналогичным вариантом 3, но без биопрепаратов. На варианте 6 (Силиплант) урожайность получена несколько выше (на 0,8 т/га), чем на варианте 4 (Альбит). Однако эта разница не превышала ошибку опыта (1,6 т/га), то есть не является достоверной. На вариантах 5 и 7 с уменьшенными нормами пестицидов на 40% и инсектофунгицида Селест Топ на 25% урожайность была ниже, чем на вариантах 4 и 7. На варианте 5 урожайность была ниже на 2,6 т/га по сравнению с вариантом 4 (Альбит), на варианте 7 (уменьшенные нормы пестицидов) – на 1,8 т/га по сравнению с вариантом 6 (Силиплант).

Однако, несмотря на достоверное снижение, урожайность при уменьшенных нормах пестицидов, но в сочетании с биопрепаратами Альбит или Силиплант оставалась на достаточно высоком уровне – 31,5–33,1 т/га против 23,5 т/га на контроле. Незначительным снижением урожая можно пренебречь, когда в производстве будет ставиться задача получения экологически безопасной (от пестицидов) продукции картофеля для детского и диетического питания.

Результаты лабораторных исследований показали, что остаточное количество инсектицида в клубнях на контрольном варианте при обработке только по ботве не обнаруживалось через 40 дней после последнего опрыскивания (см. табл.).

В связи с высокой стоимостью проведения анализов на остаточное содержание пестицидов в клубнях такие исследования проводились 4 раза за вегетационный период с интервалом через 10 дней на всех вариантах. Поэтому очевидно, что остаточное количество инсектицида Тиаметоксам в клубнях могло отсутствовать в промежутке между тридцатым и сороковым днями. Применявшийся ранее повсеместно препарат Престиж (вариант 2) из-за содержащегося в его составе Имидаклоприда относится к первому, самому высокому классу опасности. К тому же при определении его остаточных количеств в клубнях оказалось, что содержание данного инсектицида во все сроки было существенно выше, чем инсектицида Тиаметоксам (Селест Топ) на варианте 3. Так, при определении через 65–75 дней после обработки клубней в пробах на варианте 2 Имидаклоприда содержалось на 16,1 и 15,8% больше, чем в те же периоды инсектицида на варианте 2 (Селест Топ). Через 95 дней после обработки клубней, в конце вегетации перед уборкой содержание Имидаклоприда (вариант 2) в пробах было хотя и небольшим, но оно оказалось в 3 раза больше, чем содержание инсектицида Тиаметоксам на варианте 3.

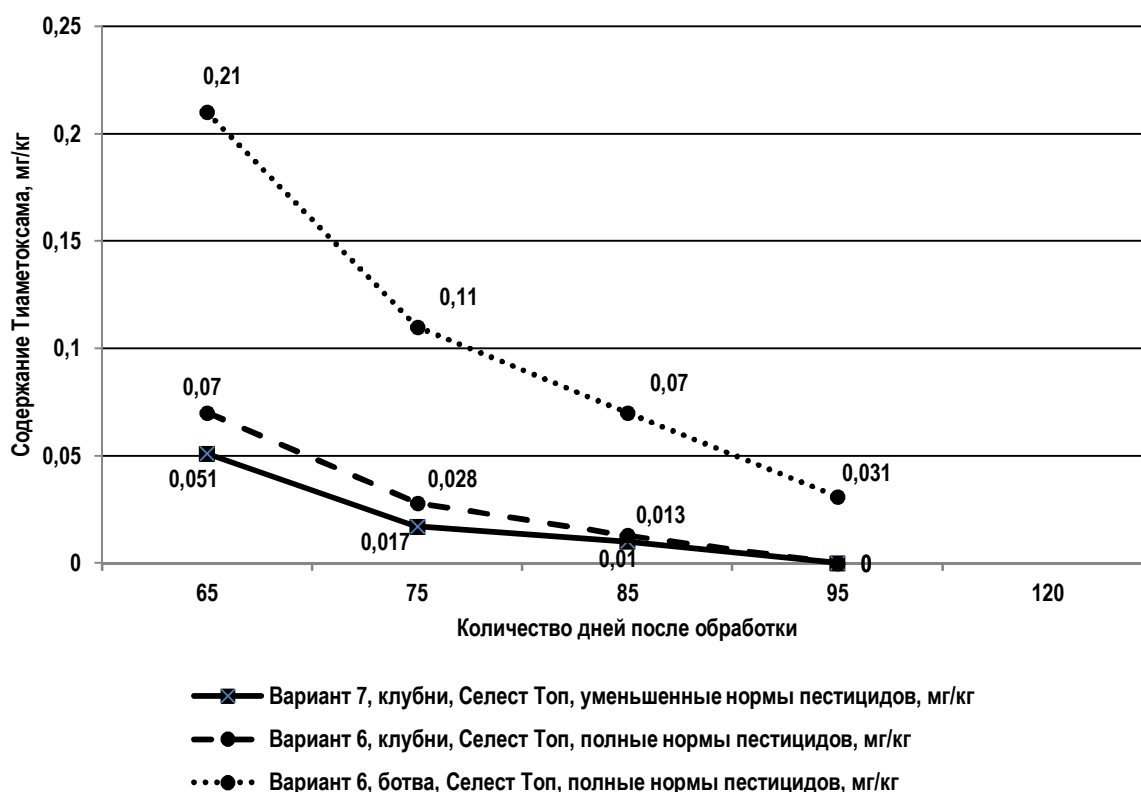
Таким образом, на варианте с применением препарата Престиж, КС остаточное количество инсектицида в клубнях на протяжении всей вегетации было на порядок больше, чем при использовании препарата Селест Топ. В соответствии с полученными данными Престиж КС (Имидаклоприд) является «долгоиграющим» пестицидом, что свидетельствует о недопустимости его использования при производстве экологически безопасного картофеля.

Добавление в систему защиты растений к современному поколению инсектофунгицидов (Селест Топ) высокоэффективных биопрепаратов Альбит и Силиплант положительно сказалось не только на повышении урожайности, но и на уменьшении накопления токсических веществ в клубнях. Биопрепараты Альбит и Силиплант в сочетании с современным инсектофунгицидом Селест Топ эффективно нейтрализуют уровень накопления токсичных веществ в клубнях. Особенно это заметно при уменьшенных на 25% дозах Селест Топ и на 40% фунгицидов различного класса. При обработке препаратом Альбит, ТПС семенных клубней и последующих двух обработках по вегетирующим растениям на варианте 4 уровень остаточного количества инсектицида Тиаметоксам снизился по сравнению с вариантом 3 без препарата Альбит, ТПС. Так, на 65-й день после обработки клубней снижение составило 2,7%; на 75-й день после обработок по ботве – на 15,4%. Перед уборкой на 95-й день после завершения обработок биопрепаратом концентрация инсектицида на варианте 4 уменьшилась на 47,8% в сравнении с вариантом 3 – без обработок Альбитом. Уменьшение норм пестицидов (на 25% инсектицида и на 40% фунгицидов) на варианте 5 в сочетании с препаратом Альбит способствовало более значимому снижению содержания Тиаметоксама в клубнях картофеля. В первые сроки определения, через 65 и 75 дней после обработки клубней на варианте 5 количество инсектицида Тиаметоксам было на 25,4–25,9% меньше, чем при использовании полной нормы инсектицидов в те же сроки на варианте 4.

Подобная тенденция сохранялась и дальше по срокам определения. На 95-й день на варианте 5 с уменьшенными нормами инсектицида Тиаметоксам не был обнаружен в клубнях совсем. При уменьшенных нормах пестицидов в сочетании с биопрепаратом Альбит, ТПС к моменту уборки урожая отмечается полное отсутствие в продукции картофеля инсектицида Тиаметоксам, что полностью соответствует строгим требованиям [11] для экологически безопасной продукции картофеля, предназначенной для детских и лечебных учреждений.

Система защиты растений на вариантах 6 и 7 с включением в схему опыта препарата Силиплант, ВР оказалась самой удачной не только по уровню урожайности, но и по наименьшему содержанию вредных веществ в клубнях во все сроки определения. На варианте 7 (Силиплант и уменьшенные нормы пестицидов), также как и на варианте 5, перед уборкой (95-й день) инсектицидов в клубнях гарантированно отсутствовал. Что же касается варианта 6 (Селест Топ и полные нормы пестицидов), то на 95-й день перед уборкой были обнаружены лишь «следы» инсектицида Тиаметоксам только в 2015 г. В 2016–2017 гг. инсектицидов в клубнях на варианте 6 перед уборкой отсутствовал. Следует отметить, что, начиная с 75-го дня после обработки клубней пестицидами, остаточное количество инсектицидов (от 0,038–0,032 до 0,028–0,017 мг/кг) почти на всех вариантах (2–7) не превышало МДУ 0,05 мг/кг сырых клубней. Однако перед уборкой их концентрации на вариантах 2, 3 и 4 были значительно ниже МДУ – от 0,007 до 0,0012 мг/кг. Полученный урожай на указанных вариантах соответствует санитарно-гигиеническим требованиям и нормам [19] как экологически безопасная продукция картофеля для питания взрослого населения. На вариантах 5, 6 и 7 токсичных веществ в продукции к моменту уборки не обнаружено, поэтому изученная на этих вариантах система защиты растений от вредителей и болезней может рекомендоваться производству для получения экологически безопасной продукции картофеля для детского и диетического питания.

На рисунке представлена динамика разложения инсектицида Тиаметоксам в ботве и клубнях при использовании инсектофунгицида Селест Топ. Как следует из приведённых данных, инсектицид Тиаметоксам в ботве картофеля после обработки клубней при посадке препаратом Селест Топ сохраняется на уровне 0,069–0,031 мг/кг в течение 85–95 суток. Это обеспечивает длительный защитный эффект инсектицида Тиаметоксам от экономически значимого вредителя – колорадского жука. Такой защиты вегетирующих растений от вредителя вполне достаточно для среднераннего сорта Невский.



Динамика разложения инсектицида Тиаметоксам, входящего в состав препарата Селест Топ, в ботве и клубнях картофеля. МДУ – 0,05 мг/кг

Одновременно два фунгицида, входящие в состав препарата Селест Топ, защищают молодые проростки от ризоктониоза и других болезней культуры со дня посадки клубней. Динамика распада инсектицида Тиаметоксам проходила параллельно разложению токсиканта в ботве, хотя и не строго пропорционально. Так, например, на 95-й день в ботве на варианте 6 ещё остаётся 0,031 мг/кг инсектицида, а в клубнях он уже отсутствовал. В первый срок определения, через 65 дней после посадки, на варианте 6 с полными нормами пестицидов содержание инсектицида в клубнях было на 28,6% больше значений МДУ (0,05 мг/кг). В то же время на варианте 7 с уменьшенной на 25% нормой препарата Селест Топ остаточное количество инсектицида Тиаметоксам было фактически на уровне МДУ (превышение всего на 2%). Положительная разница в сторону более низкого содержания остаточного количества инсектицида при уменьшенных нормах препарата Селест Топ (вариант 7) сохранялась в течение всей вегетации.

При анализах проб, взятых через 95 дней после обработки, в представленных на рисунке вариантах в клубнях инсектицид Тиаметоксам не был обнаружен, что свидетельствует о полном его разложении.

Таким образом, нашими исследованиями показан вариант решения важной задачи по нейтрализации накопления токсичных инсектицидов в клубнях к началу уборки при возделывании среднераннего сорта картофеля. Это достигается при использовании препарата Селест Топ в уменьшенных на 25% дозах в сочетании с применением биопрепаратов Силиплант или Альбит и сниженными на 40% нормами фунгицидов.

Для гарантированного получения экологически безопасного картофеля должна использоваться система защиты растений, изученная на вариантах 5 и 7. В течение вегетации для защиты картофеля от болезней по ботве использовали три вида фунгицидов в рекомендованных [12] и уменьшенных на 40% нормах в соответствии со схемой опытов: системный препарат Ридомил Голд МЦ, ВДГ, трансламинарный Ревус, КС и контактный Ширлан, СК.

Ридомил Голд МЦ, ВДГ – токсичный фунгицид по Манкоцебу: 2-й класс опасности для человека, 3-й класс для пчёл. Остаточное количество Манкоцеба в образцах клубней, отобранных через 5 суток после обработки ботвы картофеля, составило 0,024 мг, через 10 суток – 0,002 мг и через 20 суток данный фунгицид не обнаруживался. При этом допустимый уровень значения по Манкоцебу составляет 0,1 мг/кг. Фунгицид Ревус, содержащий два действующих вещества (Мандипропамид 25% и Дифеноконазол 25%), не опасен для среды, человека, пчёл ввиду низкой токсичности. Класс опасности для млекопитающих и для пчёл – 3-й. Нет ограничений по применению его в санитарной зоне вокруг рыбохозяйственных водоёмов. Быстро разлагается в растениях (7–10 дней) [12]. Ввиду низкой токсичности и быстрого разложения анализы на остаточное количество данного фунгицида не проводили.

Ширлан – действующее вещество Флуазинам (500 г/л) для человека относится ко 2-му классу опасности, для пчёл – к 3-му. Однако препарат вреден для обитателей водоёмов. МДУ для картофеля – 0,05 мг/кг. В наших исследованиях в образцах клубней, отобранных через 5 суток после обработки, содержание Флуазинама составило 0,031 мг/кг, через 10 суток – 0,003 мг/кг, через 20 суток фунгицид не был обнаружен. Полученные результаты анализов на остаточное количество фунгицидов свидетельствуют об относительно быстром их разложении в клубнях. Уже через 10 дней после последней обработки их количество составляло всего 0,002–0,003 мг/кг, а через 20 дней они полностью отсутствуют. К тому же изученные нами фунгициды относятся к средне- или малотоксичным классам опасности (2-му, 3-му). В результате применяемые нами в опытах фунгициды не создавали явного напряжения по выполнению задачи получения экологически безопасной продукции картофеля. Однако для гарантированного качества продукции, поставляемой в детские и лечебные учреждения, целесообразно уменьшать нормы фунгицидов на 40%,

как это сделано на вариантах 5 и 7. В целом уровень химизации возделывания культуры должен быть существенно снижен при выполнении такой задачи, чтобы избежать неувязок и ошибок, возникающих в крупном производстве.

Для более полной характеристики качества урожая перед уборкой в опыте проводили отбор проб клубней для анализов на содержание нитратов (а также крахмала, сырого протеина, витамина С). Это было связано с тем, что общим фоном минеральных удобрений в опытах являлась доза $N_{75}P_{150}K_{120}$. В 2015 г. в среднем по опыту содержание нитратов составило 71,7 мг, в 2016 г. – 65,4 мг, в 2017 г. – 78,5 мг/кг сырых клубней. В среднем за три года при преобладании в полном минеральном удобрении ($N_{75}P_{150}K_{120}$) доли фосфора над азотом в 2 раза и калия в 1,6 раза содержание нитратов в клубнях составило 71,9 мг/кг при МДУ, равном 80 мг/кг для детских и лечебных учреждений.

Выводы

В Центрально-Чернозёмном регионе РФ разработаны приёмы защиты среднераннего сорта картофеля от вредителей и болезней, обеспечивающие получение экологически безопасной продукции и уровня урожая 31,5–33,1 т/га против 23,5 т/га на контрольном варианте (содержание нитратов – 71,9 мг/кг). Для достижения этой цели необходимо использовать современные средства защиты растений, классом опасности ниже предыдущих, в сочетании с новыми биопрепаратами Альбит, Силиплант и уменьшенными нормами пестицидов.

Пестициды в клубнях к уборке отсутствовали при следующей системе защиты:

- обработка клубней инсектофунгицидом Селест Топ, КС в норме 0,3 л/т совместно с одним из биопрепаратов (Альбит, ТПС 0,1 л/т) или с жидким кремнийсодержащим удобрением Силиплант, ВР в дозе 0,04 л/т;
- 1-я обработка для защиты вегетирующих растений картофеля от фузариоза и альтернариоза – фунгицид Ридомил Голд МЦ, ВДГ в дозе 1,5 кг/га;
- 2-я и 3-я обработки – против болезней – фунгицид Ревус, КС в дозе 0,36 л/га;
- 4-я и 5-я обработки – для профилактики фитофтороза – фунгицид Ширлан, СК в дозе 0,24 л/га совместно с одним из биопрепаратов (Силиплант, ВР в дозе 1,0 л/га или Альбит, ТПС в дозе 0,05 л/га) 2 раза за вегетацию.

Использование современных средств защиты растений картофеля и биопрепаратов в сочетании с уменьшенными нормами инсектофунгицидов (на 25%) и фунгицидов (на 40%) обеспечивает получение экологически безопасной продукции.

Библиографический список

1. Бутов А.В. Экологически безопасный картофель / А.В. Бутов, О.Ю. Боева // Картофель и овощи. – 2013. – № 5. – С. 25–26.
2. ГОСТ Р 51301-99. Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрические методы определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка). – Введ. 2000–07–01. – Москва : ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 21 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям / Б.А. Доспехов. – 6-е изд., стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. – Москва : Альянс, 2011. – 350 с.
4. Индустрия картофеля : справочник / Е.А. Симак и др. ; под ред. В.И. Старовойтова. – 2-е изд., доп. – Москва : НПФ АгроНИР, 2013. – 272 с.
5. Каплин В.Г. Основы экотоксикологии : учеб. пособие / В.Г. Каплин. – Москва : КолосС, 2007. – 232 с.
6. Кочурко В.И. Основы органического земледелия : практическое пособие / В.И. Кочурко, Е.Э. Абарова, В.Н. Зуев. – Минск : Донарит, 2013. – 176 с.
7. Лысенко Н.Н. Основы экотоксикологии : учеб. пособие / Н.Н. Лысенко, М.А. Догадина. – Орел : Изд-во Орловского ГАУ, 2015. – 460 с.
8. Основы экологии и экотоксикологии : учеб. пособие / Д.А. Еделев, Н.Н. Гребёнкин, А.Н. Баранов, Н.Н. Роева. – Рязань : Рязанский издательский дом, 2013. – 82 с.

9. Перспективы развития экологических приемов защиты картофеля от болезней и вредителей / В.Н. Зейрук, С.В. Васильева, И.И. Новикова, Н.А. Белякова, М.К. Деревягина, Г.Л. Белов // *Аграрная наука*. – 2019. – № S3. – С. 54–59.
10. Практикум по агрохимии : учеб. пособие ; под ред. академика В.Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во Московского университета, 2001. – 689 с.
11. СанПин 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования и нормы безопасности пищевой ценности пищевых продуктов. Введ. в действие Главным государственным врачом Российской Федерации. Постановление от 14 ноября 2001 года № 36 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901806306> (дата обращения: 10.06.2020).
12. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2015/2016/2017 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agrovista.ru/magazin/product/spravochnik-pestitsidov-i-agrokhimikatov-2015/2016/2017> (дата обращения: 10.06.2020).
13. Тульчев В.В. Мировой рынок картофеля / В.В. Тульчев, О.М. Ягфоров // *АПК: Экономика и управление*. – 2014. – № 5. – С. 57–64.
14. Федотов В.А. Картофель в Черноземной лесостепи : монография / В.А. Федотов, А.В. Бутов, С.В. Гончаров. – Воронеж : Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2005. – 312 с.
15. Химические основы экотоксикологии : учеб. пособие / А.И. Фокина, С.Ю. Огородникова, А.С. Олькова, С.Г. Скугорева, Е.И. Лялина. – Киров : Типография ООО «Лобань», 2015. – 266 с.
16. Химия пищевых продуктов ; ред.-сост. Ш. Дамодаран, К.Л. Паркин, О.Р. Феннема ; перевод с англ. 4-го издания. – Санкт-Петербург : Профессия, 2012. – 1040 с.
17. Черников В.А. Стратегия получения экологически безопасной продукции / В.А. Черников, В.А. Соколов // *Агроэкология*. – 2014. – № 1. – С. 13–18.
18. Экологические приемы защиты картофеля от болезней и вредителей / В.Н. Зейрук, С.В. Васильева, М.К. Деревягина, Г.Л. Белов, И.И. Новикова, Н.А. Белякова // *Фитосанитарные технологии в обеспечении независимости и конкурентоспособности АПК России : сборник тезисов конференции IV Всероссийского съезда по защите растений с международным участием (Россия, г. Санкт-Петербург, 09–11 сентября 2019 г.)*. – Санкт-Петербург : Изд-во ВНИИ защиты растений. – Санкт Петербург (Пушкин) : ВИЗР, 2019. – 120 с.
19. Biological quality and preservation of Potato under drip irrigation and different fertilizers / A. Butov, V. Zakharov, T. Zubkova // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. – 2019. – Vol. 25 (2). – Pp. 37–44.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Алексей Владимирович Бутов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет имени И.А. Бунина», Россия, г. Елец, e-mail: butov.a.v@yandex.ru.

Анатолий Владимирович Дедов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: dedov050@mail.ru.

Владимир Григорьевич Ширококов – доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой бухгалтерского учёта и аудита ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, Воронеж, e-mail: ssn3@bk.ru.

Мандрова Анна Алексеевна – старший преподаватель кафедры экономики и коммерческой деятельности ФГБОУ ДПО «Липецкий институт переподготовки и повышения квалификации кадров агропромышленного комплекса», Россия, г. Липецк, e-mail: annaelets@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 03.10.2020

Дата принятия к печати 16.11.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Alexey V. Butov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Technology of Storage and Processing of Agricultural Products, Bunin Yelets State University, Russia, Yelets, e-mail: butov.a.v@yandex.ru.

Anatoliy V. Dedov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, the Dept. of Soil Management, Crop Science and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: dedov050@mail.ru.

Vladimir G. Shirobokov, Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Dept. of Accounting and Audit, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: ssn3@bk.ru.

Anna A. Mandrova, Senior Lecturer, the Dept. of Economics and Commercial Activities, The Lipetsk Institute of the Personnel Qualification Upgrade of Agro-Industrial Complex, Russia, Lipetsk, e-mail: annaelets@yandex.ru.

Received October 03, 2020

Accepted after revision November 16, 2020

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

**Марина Александровна Жукова
Андрей Валерьевич Улезько**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Представлен критический анализ нормативно-правовых документов, определяющих особенности цифровой трансформации сельского хозяйства. Отмечается, что в настоящее время сложилось несколько подходов к определению приоритетов цифровизации системы аграрного производства, в качестве которых выделяются: цифровизация производственных процессов, позволяющая автоматизировать управление ими; создание цифровых экосистем, объединяющих хозяйствующих субъектов на основе принципиально иной системы межсубъектных взаимодействий; разработка специализированных цифровых платформ, обеспечивающих эффективное использование сквозных технологий, общих онтологических моделей и типовых информационных систем на основе единых стандартов. Делается вывод о том, что в условиях быстрого развития цифровых технологий, но при отсутствии единой концепции цифровой трансформации сельского хозяйства хозяйствующие субъекты аграрного сектора в своём большинстве вынуждены ориентироваться на реализацию модели фрагментарной цифровизации, при этом потенциал их цифрового развития в значительной мере ограничен как суженными финансовыми возможностями по внедрению цифровых технологий, так и неразвитостью информационной инфраструктуры сельских территорий. Обосновывается тезис о том, что в основе всех сложившихся подходов к цифровой трансформации сельского хозяйства должна лежать идея разработки единой цифровой платформы, позволяющей обеспечить интеграцию всех субъектов аграрного сектора в единое информационное пространство отрасли, унификацию и стандартизацию информационной среды программно-аппаратных средств, использующихся для решения отдельных функциональных задач, а также формирование цифровой экосистемы агропродовольственного комплекса, обеспечивающей оптимизацию межсубъектных и межзвенных взаимодействий в рамках цепочек создания добавленной стоимости и минимизацию транзакционных издержек.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цифровая экономика, цифровая трансформация, цифровизация, цифровая платформа, цифровые технологии.

CONCEPTUAL APPROACH TO CREATING A DIGITAL PLATFORM FOR THE AGRO-FOOD COMPLEX

**Marina A. Zhukova
Andrey V. Ulez'ko**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The article provides a critical analysis of regulatory documents that define the features of digital transformation of agriculture. It is noted that at present there are several approaches to determining the priorities of digitalization of the agricultural production system. They include digitalization of production processes, which allows automating their management; creation of digital ecosystems that unite economic entities on the basis of a fundamentally different system of intersubject interactions; development of specialized digital platforms that ensure the efficient use of end-to-end technologies, common ontological models and standard information systems on the basis of unified standards. It is concluded that in the conditions of rapid development of digital technologies, but in the absence of a unified concept of digital transformation of agriculture the majority of agricultural entities are forced to focus on the implementation of the model of fragmented digitalization, while the potential for their digital development is largely limited by both the narrowed financial opportunities for implementing digital technologies and the underdeveloped information infrastructure of rural areas. The authors substantiate the thesis that all existing approaches to the digital transformation of agriculture should be based on the idea of developing a unified digital platform that allows the integration of all subjects of the agricultural sector into a single information space of the industry, unification and standardization of the information environment of software and hardware used to solve certain functional tasks, as well as the formation of a digital ecosystem of the agro-food complex that would ensure the optimization of intersubject and interlink interactions within the value chains and minimization of transaction costs.

KEYWORDS: digital economy, digital transformation, digitalization, digital platform, digital technologies.

Одним из первых документов, в котором были систематизированы и довольно подробно описаны задачи цифровой трансформации аграрного сектора, можно считать Пояснительную записку к предложению о реализации нового направления программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [15], в которой описывается сущность предложения о необходимости цифровизации сельского хозяйства как ещё одного направления программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Ключевые задачи этого направления были связаны с:

- обоснованием приоритетных процессов цифровой трансформации и формированием методологии цифровизации системы аграрного производства;
- разработкой и широким внедрением цифровых платформ, способствующих интеграции сельскохозяйственных производителей в единое информационное пространство, повышению эффективности управления системами инфраструктурного обеспечения;
- стандартизацией функциональных возможностей систем дифференциального позиционирования, связанных с реализацией технологий «точного» земледелия;
- развитием инновационной и информационной инфраструктуры АПК;
- внедрением цифровых технологий управления производственными процессами, материальными и денежными потоками;
- развитием систем телеметрического контроля и цифрового анализа больших данных и локализацией результатов контроля и анализа всех процессов деятельности хозяйствующих субъектов аграрного сектора;
- развитием отечественной материальной базы для реализации цифровых технологий аграрного производства;
- унификацией и стандартизацией форматов и протоколов обмена данными в рамках развития единого информационного пространства на основе приоритетности отечественных разработок в области IT-технологий;
- развитием системы подготовки работников и специалистов, способных использовать цифровые технологии в профессиональной деятельности;
- созданием универсальной цифровой платформы управления процессами обмена, распределения и потребления сельскохозяйственной продукции, включая системы электронных торгов, обеспечения экспортно-импортных операций, организации социальной поддержки населения и др.

По мнению разработчиков данного документа, до 2024 г. должно произойти смещение государственной поддержки в пользу хозяйствующих субъектов, инициировавших процессы своей цифровой трансформации посредством масштабного внедрения уже апробированных цифровых технологий. Объектами цифровой трансформации должны стать, в первую очередь, крупные и средние сельскохозяйственные предприятия, входящие в состав интегрированных агропромышленных формирований, в рамках которых будут оптимизироваться цепочки формирования добавленной стоимости, модернизироваться технико-технологическая база производителей и переработчиков сельскохозяйственной продукции, реорганизоваться система интеграционных взаимодействий технологически, организационно и экономически взаимосвязанных хозяйствующих субъектов.

Использование единых цифровых платформ позволит создать эффективные цифровые экосистемы, обеспечивающие кратный рост эффективности межсубъектных и межсистемных взаимодействий. После реализации данного этапа появляется возможность создания комплексной системы информационного обеспечения цифрового сельского хозяйства, характеризующейся оцифровкой всех процессов и технологий аграрного производства, возможностью цифровой фрагментации и интеграции всех процессов

воспроизводственного цикла, способностью комбинирования использования универсальных и специализированных цифровых платформ и их интеграции в метасистемы и платформы государственного уровня, наличием надежных систем информационной безопасности в условиях открытости данных и интеграции в множество цифровых экосистем.

Поскольку предлагаемые дополнения к государственной программе «Цифровая экономика Российской Федерации» приняты не были, то Министерством сельского хозяйства РФ в 2019 г. был разработан ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство» [6], предполагающий реализацию трёх этапов. На первом этапе планируется создание и внедрение национальной цифровой платформы, реализующей функции государственного управления системой аграрного производства, которая будет формировать единое информационное пространство и обеспечивать взаимодействие с прочими платформами более низкого уровня, используемыми для управления этой отраслью. Основная цель второго этапа заключается в разработке и внедрении специализированного модуля «Агрорешения», позволяющего обеспечить решение следующих задач: совершенствование системы межсубъектных взаимодействий в сфере производства и переработки сельскохозяйственной продукции, а также системы информационного обеспечения процессов функционирования хозяйствующих субъектов аграрного сектора и внедрения цифровых технологий во все сферы их деятельности; модернизация системы кадрового обеспечения сельского хозяйства в соответствии с требованиями цифровой экономики; обеспечение поэтапного внедрения базовых элементов данного модуля в опытную и промышленную эксплуатацию. Третий этап связан с формированием системы непрерывной подготовки работников сельского хозяйства, обладающих необходимыми компетенциями в сфере цифровой экономики.

По заказу МСХ РФ в конце 2019 г. компания «ЛАНИТ-Интеграция» разработала концептуальные основы национальной платформы «Цифровое сельское хозяйство» [17], предусматривающие разработку и внедрение шести платформ более низкого уровня, ориентированных на решение таких задач, как формирование единой базы данных о функционировании хозяйствующих субъектов и отраслей агропродовольственного комплекса, развитие технологий цифрового землепользования и землеустройства, создание единой системы агрометеопрогнозирования, формирование системы информационного обеспечения субъектов АПК и процессов управления системой аграрного производства, мониторинг процессов движения сельскохозяйственной продукции и продуктов её переработки по всей цепочке создания добавленной стоимости и доведения до конечного потребителя. Для реализации функционала этих платформ планируется создание более 50 сервисов, связанных как с государственным, так и частным управлением сельским хозяйством. Исходя из данной концепции именно национальная платформа «Цифровое сельское хозяйство» в будущем станет фундаментом формирования масштабной цифровой экосистемы, предоставляющей широкий спектр дополнительных услуг и сервисов для хозяйствующих субъектов аграрного сектора.

Следует отметить, что в основе идеологии цифровой трансформации лежит использование так называемых сквозных технологий. Национальная технологическая инициатива [16] определяет сквозные технологии как ключевые направления научно-технического развития, оказывающие наиболее значимое влияние на систему общественного производства. К категории сквозных принято относить цифровые технологии, охватывающие одновременно отрасли народного хозяйства и формирующие устойчивые тренды их развития.

В первой редакции программы «Цифровая экономика РФ», принятой в 2017 г., но отменённой менее чем через два года, в перечень базовых сквозных технологий цифрового развития были включены:

- технологии работы с большими данными;
- технологии искусственного интеллекта;
- технологии блокчейна;
- квантовые технологии;
- инновационные технологии цифровизации производственных процессов;
- глобальные компьютерные сети высокой производительности;
- технологии робототехники и сенсорики;
- технологии беспроводного обмена информацией;
- технологии работы с объектами виртуальной и дополненной реальностей.

В качестве приоритетов цифровой трансформации системы аграрного производства ряд исследователей [2, 3, 11, 12] предлагает выделять цифровизацию производственных процессов, позволяющую автоматизировать управление ими с целью обеспечения минимизации объемов потребляемых ресурсов и повышения эффективности их использования; вторая группа авторов [9, 14, 18, 24] видит глобальную цель в создании цифровых экосистем, которые объединяют хозяйствующие субъекты на основе принципиально иной системы межсубъектных взаимодействий; сущность третьего подхода [2, 4, 5, 21] состоит в использовании специализированных цифровых платформ, позволяющих обеспечить эффективное использование сквозных технологий, общих онтологических моделей и типовых информационных систем на основе единых стандартов.

На наш взгляд, именно третий подход является базовым при решении задач цифровой трансформации сельского хозяйства, поскольку именно цифровые платформы являются перспективным инструментом, позволяющим реализовать системный подход как при цифровизации производственных процессов и цифрового управления ими, так и при интеграции отдельных хозяйствующих субъектов в цифровые экосистемы различного уровня и в единое информационное пространство агропродовольственного комплекса.

В настоящее время начались процессы выработки общей концепции формирования единой цифровой платформы сельского хозяйства. При этом отмечаются существенные различия методологических подходов к обоснованию её базового функционала и приоритетных направлений развития, обусловленные различным пониманием сущности процессов цифровой трансформации системы аграрного производства со стороны хозяйствующих субъектов, активно внедряющих цифровые технологии во все сферы своей деятельности, экономических агентов, интегрированных в цепочки создания добавленной стоимости продукции агропродовольственного комплекса, органов государственной власти, инициирующих процессы цифровизации в масштабах макроэкономической системы, и субъектов, исследующих теоретические аспекты цифровизации агропродовольственных систем.

С позиций сельскохозяйственных производителей цифровая платформа должна быть ориентирована на интеграцию отдельных цифровых технологических решений, позволяя формировать единое пространство управления взаимодействием структурных подразделений хозяйствующего субъекта и обеспечивать оптимизацию процессов распределения и перераспределения ресурсов в рамках решения задач стратегического, тактического и оперативного управления.

Широко применяемый до настоящего времени подход к информатизации системы аграрного производства через автоматизацию отдельных производственно-технологических и организационно-экономических задач объективно породил проблемы, связанные с:

- фрагментарностью процессов информатизации, обусловленной отсутствием единой политики внедрения информационных технологий и ограниченными финансовыми возможностями значительной части сельскохозяйственных производителей;
- низким уровнем унификации информационной деятельности и отсутствием системы стандартов данных, формирующих информационные потоки в рамках единого информационного пространства;
- гетерогенностью программных средств, используемых отдельными субъектами для решения частных задач информатизации;
- отсутствием общей системы нормативной и справочной информации при практически полном самоустранении государства от процессов её актуализации.

О масштабности задач комплексной автоматизации системы аграрного производства свидетельствуют результаты исследований сотрудников Всероссийского научно-исследовательского института кибернетики АПК, которые, используя метод синтеза оптимальных информационных систем, разработали комплекс концептуальных и логических моделей баз данных для решения типовых задач управления сельскохозяйственным производством. Только концептуальная модель информатизации описывает 946 атрибутов, отражающих различные аспекты функционирования отрасли растениеводства в разрезе таких блоков, как атмосфера (климатические условия, температура почвы, тепловой поток в почву, влажность, глубина промерзания и оттаивания, снежный покров), земля (хозяйство, севооборот, поле, агрометеорологическая характеристика поля, почва, участок) и организмы (биологический классификатор, сельскохозяйственные культуры, болезни, вредители, сорняки, семена, посевы, состояние растений, продукция).

Предлагая признать данный подход к формированию единой цифровой платформы сельского хозяйства приоритетным, Ф.И. Ерешко, В.И. Меденников и В.В. Кульба [8] отмечают, что использование единой типовой модели оптимальной информационной системы всеми сельскохозяйственными производителями страны позволит объединить их в рамках единой цифровой платформы агропродовольственного комплекса, реализующей на основе использования облачных технологий интеграцию функций управления и всего стандартизированного комплекса технологических баз данных, что обеспечит не только унификацию информационных процедур, переход к единой системе классификаторов, нормативов и справочников, но и создаст условия разработки и широкого внедрения типовой информационно-управляющей системы. По их мнению, информации, фиксируемой на уровне сельскохозяйственных производителей, будет достаточно для решения задач государственного управления отраслью на муниципальном, региональном и федеральном уровнях.

Реализация методологии информатизации, базирующейся на массовом обязательном использовании типовых информационных систем, может быть осуществлена лишь в рамках централизованного подхода, предполагающего формирование единой базы данных и осуществление транзакций неким субъектом, которому делегировано право управления информационными потоками и обеспечения информационной безопасности. Данная методология будет наиболее эффективно использоваться при активном участии государства в процессах цифровой трансформации сельского хозяйства, а государство может стать заказчиком на разработку единой цифровой платформы отрасли, субъектом, осуществляющим стратегическое управление распределенной информационной системой и гарантирующим базовый уровень информационной безопасности сельскохозяйственных производителей.

В условиях снижения роли государства в процессах формирования цифровой экономики и возникновения на рынке цифровых технологий крупных игроков, способных самостоятельно разрабатывать и внедрять перспективные цифровые платформы, всё большую привлекательность приобретает децентрализованный подход, позволяющий рационально сочетать принципы реализации сквозных цифровых технологий и технологий блокчейн (организация хранения информации отдельными блоками на устройствах, не подключенных к общему серверу), что создаёт условия резкого повышения уровня информационной безопасности субъектов цифровых экосистем, но, в определённой мере, ограничивает как масштаб самой цифровой экосистемы, так и степень интеграции процессов управления сельскохозяйственным производством в системы более высокого уровня [4].

Н.М. Абдикеев и Е.Л. Морева [1] особое внимание обращают на использование цифровых технологий в рамках цепочек воспроизводства добавленной стоимости, подчёркивая наличие сложных взаимосвязей между самими технологиями и формами их совместного использования в процессе интеграционных взаимодействий, а также способность хозяйственных форм самоорганизовываться и трансформироваться под воздействием новых технологий межсубъектных взаимодействий. Акцентируя внимание на доминировании в цепочках создания добавленной стоимости крупного бизнеса, они подчеркивают их роль в инновационном развитии всех звеньев этих цепочек и субъектов, интегрированных в них. Стремясь повысить уровень синхронизации межсубъектных и межзвенных взаимодействий, крупные бизнес-структуры стимулируют развитие таких направлений развития цифровых технологий, как организация сквозного мониторинга производственно-технологических процессов и воспроизводства добавленной стоимости, создание единого информационного фонда интегрированных формирований и использование технологий Big Data, реализация принципов организации единого бэк-офиса, специализирующегося на обслуживании всех информационных потоков в рамках цепочек создания добавленной стоимости, управление цепями поставок, обеспечение непрерывности технологических процессов, оптимизация процессов товародвижения, минимизация затрат на обработку и хранение информации за счёт использования облачных технологий и др. То есть в цифровых платформах, ориентированных на обслуживание интегрированных формирований, образующихся в рамках локализованных цепочек создания (воспроизводства) добавленной стоимости, приоритет отдаётся цифровизации систем межсубъектных и межзвенных взаимодействий, позволяющих принципиально изменить уровень координации деятельности организационно и технологически взаимосвязанных субъектов и минимизировать логистические и транзакционные издержки в масштабах интеграционных объединений.

При этом инициаторы интеграционных процессов стремятся использовать комплексные цифровые решения на всех этапах формирования добавленной стоимости: от производства сельскохозяйственного сырья до реализации конечной продукции. Данные цифровые решения могут быть с минимальными затратами интегрированы в единую цифровую платформу, реализующую функцию системного интегратора и обеспечивающую взаимодействие всех цифровых технологий, определяющих направления цифровой трансформации субъектов агропромышленной интеграции.

Но особо быстрые темпы демонстрируют инвестиции в цифровизацию так называемых агрофуд-технологий, причём в основном фокусе инвесторов находятся, как правило, онлайн-каналы движения сельскохозяйственной продукции и продуктов её переработки, продаж и биотехнологии. По данным М. Никиточкина [13], в развитие системы электронной коммерции и платформ электронной торговли только в 2018 г. было инвестировано около \$9,2 млрд, что в значительной мере обусловило опережающее

развитие онлайн-форм организации межвенных связей в цепочках добавленной стоимости. Основные инвестиции в создание цифровых агрофуд-стартапов приходятся на долю США (\$7,9 млрд), Китай (\$3,5 млрд) и Индия (\$2,4 млрд).

Продолжающиеся дискуссии о функционале универсальных цифровых платформ, ориентированных на комплексное обслуживание сельскохозяйственных производителей и взаимодействующих с ними субъектов агропродовольственного комплекса, объективно обуславливают разнообразие подходов к массовому внедрению цифровых технологий в систему аграрного производства. Боясь выпасть из тренда цифровизации, крупные агрохолдинги начали активно, но довольно бессистемно, инвестировать средства в масштабные проекты по цифровизации отдельных производственно-технологических и организационно-управленческих процессов. Наиболее значимые успехи цифровой трансформации сельскохозяйственного производства были достигнуты в освоении технологий точного земледелия, связанные, в первую очередь, с широким использованием систем спутникового позиционирования и геоинформационных систем, позволяющих обеспечить непрерывность и высокое качество мониторинга технологических процессов на основе постоянного контроля за качеством работ и использования техники, с попытками автоматизации процессов управления на основе внедрения различного рода ERP-систем, систем поддержки принятия управленческих решений и контроля за их исполнением. Ещё одним быстро развивающимся направлением цифровизации в аграрном производстве является использование беспилотных летательных аппаратов и беспилотной сельскохозяйственной техники.

В условиях быстрого развития цифровых технологий, но при отсутствии единой концепции цифровой трансформации сельского хозяйства российские сельскохозяйственные производители в своём большинстве вынуждены ориентироваться на реализацию модели фрагментарной цифровизации [20]. При этом потенциал их цифрового развития в значительной мере ограничен как их суженными финансовыми возможностями по внедрению цифровых технологий, так и неразвитостью информационной инфраструктуры сельских территорий.

С целью выработки единых подходов к цифровизации аграрного сектора страны под эгидой Министерства сельского хозяйства РФ в соответствии с разработанной Концепцией научно-технологического развития цифрового сельского хозяйства [10] было подготовлено официальное издание «Цифровая трансформация сельского хозяйства России» [23], в рамках которого были сформулированы задачи, определяющие содержание двух основных целей цифровой трансформации отрасли: цифровизации сельскохозяйственного производства и цифровизации процессов государственного управления в сфере сельского хозяйства.

К задачам реализации первой цели разработчики этого документа относят:

- определение приоритетных сквозных цифровых технологий аграрного производства;
- кадровое обеспечение процессов цифровой трансформации;
- разработку автоматизированных рабочих мест и специализированных сервисов для решения прикладных задач отрасли;
- массовое внедрение цифровых платформ, обеспечивающих интеграцию сельскохозяйственных производителей в цифровые экосистемы различного уровня;
- разработку средств роботизации и автоматизации производственных процессов в сельском хозяйстве;
- внедрение цифровых технологий управления товародвижением и запасами продовольственных ресурсов;

- организацию эффективного цифрового взаимодействия хозяйствующих субъектов аграрного сектора между собой и с государством:

- реализацию цифровых технологий непрерывного образования и профессионального консультирования;

- развитие информационной инфраструктуры и др.

Для достижения второй цели ими предлагается:

- идентификация каждого сельскохозяйственного производителя в глобальной сети через создание системы личных кабинетов;

- развитие Единой федеральной информационной системы управления землями сельскохозяйственного назначения и совершенствование инструментов её наполнения;

- формирование Единого информационного фонда об объектах сельскохозяйственных ресурсов (продуктивные земли, сельскохозяйственные культуры, сельскохозяйственные животные и птица, сельскохозяйственная техника и др.);

- внедрение технологий прогнозирования развития агропродовольственных систем различного уровня и агропродовольственных рынков;

- разработка технологий цифрового обслуживания сельскохозяйственных производителей и др.

Рассматриваемый в данном издании сценарий цифровой трансформации предусматривает ускоренную цифровизацию системы сельскохозяйственного производства и предполагает реализацию нескольких базовых этапов. На первом этапе (до 2021 г.) предполагалось определить совокупность функциональных и технических требований, предъявляемых к единому цифровому информационному ресурсу, обеспечивающему государственное управление аграрным сектором, осуществить выбор разработчиков универсальной цифровой платформы отрасли, обосновать объём и источники финансирования мероприятий по цифровой трансформации. На втором этапе (2021–2024 гг.) ожидается широкое внедрение апробированных цифровых технологий на базе крупных и средних сельскохозяйственных производителей за счёт государственной поддержки субъектов, активно участвующих в процессах цифровой трансформации отрасли. Особое внимание на этом этапе будет уделяться цифровизации системы селекционной и генетической работы, развитию системы управления обеспечением продовольственной безопасности страны, созданию платформы непрерывного обучения работников агропродовольственного комплекса и др. На третьем этапе ожидается создание сквозной системы информационного обеспечения аграрного сектора страны, завершение оцифровки всех элементов системы сельскохозяйственного производства, углубление процессов цифровой фрагментации (разделения труда), произойдет окончательное формирование единого информационного пространства системы аграрного производства и агропродовольственного комплекса, системы цифрового государственного управления отраслью. По мнению разработчиков концепции цифровой трансформации, третий этап может протекать параллельно второму этапу и быть реализованным в 2022–2024 гг.

В качестве альтернативной точки зрения на развитие цифровизации агропродовольственного комплекса страны можно отметить трёхступенчатую модель цифровой трансформации [13], согласно которой на первой ступени цифровой трансформации находятся устойчиво эффективные сельскохозяйственные производители, способные организовать единый цифровой бэк-офис и использовать универсальные цифровые платформы для решения типовых задач аграрного производства. Вторую ступень представляют высокотехнологичные бизнес-структуры, широко использующие такие цифровые решения, как технологии точного земледелия, искусственного интеллекта, компьютерного зрения, машинного обучения и др. Их интеграция в цепочки создания до-

бавленной стоимости осуществляется через онлайн-каналы, а использование облачных технологий позволяет объединить их в единое информационное пространство, формирующееся в рамках цепочек создания добавленной стоимости. К третьей ступени относятся локализованные полномасштабные экосистемы интегрированных формирований холдингового или кластерного типов, использующие общую цифровую платформу, позволяющую обеспечить эффективное горизонтальное и вертикальное межсубъектное взаимодействие в рамках продуктовых цепочек, минимизировать транзакционные издержки и реализовать экономические интересы всех субъектов агропромышленной интеграции.

М.Н. Осовин [14] предлагает вести речь о цифровой среде агропродовольственного комплекса, выделяя в качестве её основных компонентов стандартизированную систему инфраструктурного обеспечения, законодательное обеспечение защиты интеллектуальной собственности; развитие инфраструктуры беспроводной связи, кадровое обеспечение информационно-коммуникационных технологий, переход на инновационно-инвестиционную модель развития, использование сервисно-ориентированных сетевых подходов к изучению потребностей потребителей; формирование системы опережающей модернизации технико-технологической базы и используемых цифровых технологий. При этом в качестве ключевых элементов цифровизации агропродовольственного комплекса он определяет: цифровизацию сбора данных, цифровизацию управления, цифровизацию производства и реализации продукции, считая, что именно данный подход позволит обеспечить сбалансированность развития цифровой экосистемы агропродовольственного комплекса страны.

В основе всех сложившихся подходов к цифровой трансформации сельского хозяйства лежит идея разработки единой цифровой платформы, позволяющей обеспечить интеграцию всех субъектов аграрного сектора в единое информационное пространство отрасли, унификацию и стандартизацию информационной среды программно-аппаратных средств, использующихся для решения отдельных функциональных задач, а также формирование цифровой экосистемы агропродовольственного комплекса, при оптимизации межсубъектных и межзвенных взаимодействий в рамках цепочек создания добавленной стоимости и минимизации транзакционных издержек. При этом данная цифровая платформа должна быть многоуровневой и интегрированной с платформой государственного управления развитием агропродовольственного комплекса и обеспечения продовольственной безопасности страны.

Следует отметить, что на формирование системы цифровых платформ объективно влияет качество цифровой среды, уровень развития которой определяется наличием адекватных институтов развития цифровой экономики, степенью соответствия информационной инфраструктуры цифровым потребностям физических и юридических лиц и способностью государства обеспечить информационную безопасность субъектов цифровой экономики.

Ю.И. Грибанов [7] считает, что цифровую экономику формируют три базовые компоненты, реализующие функции развития и поддержки информационной инфраструктуры (модернизация системы аппаратного и программного обеспечения, телекоммуникационных систем и сетей); автоматизации и компьютеризации бизнес-процессов на основе использования сетевых технологий, создание систем онлайн-торговли и онлайн-взаимодействий. В качестве субъектов отраслевых цифровых платформ он предлагает рассматривать компании, формирующие отрасль, и их ассоциации, учреждения и организации, представляющие отраслевую науку, компании, специализирующиеся на

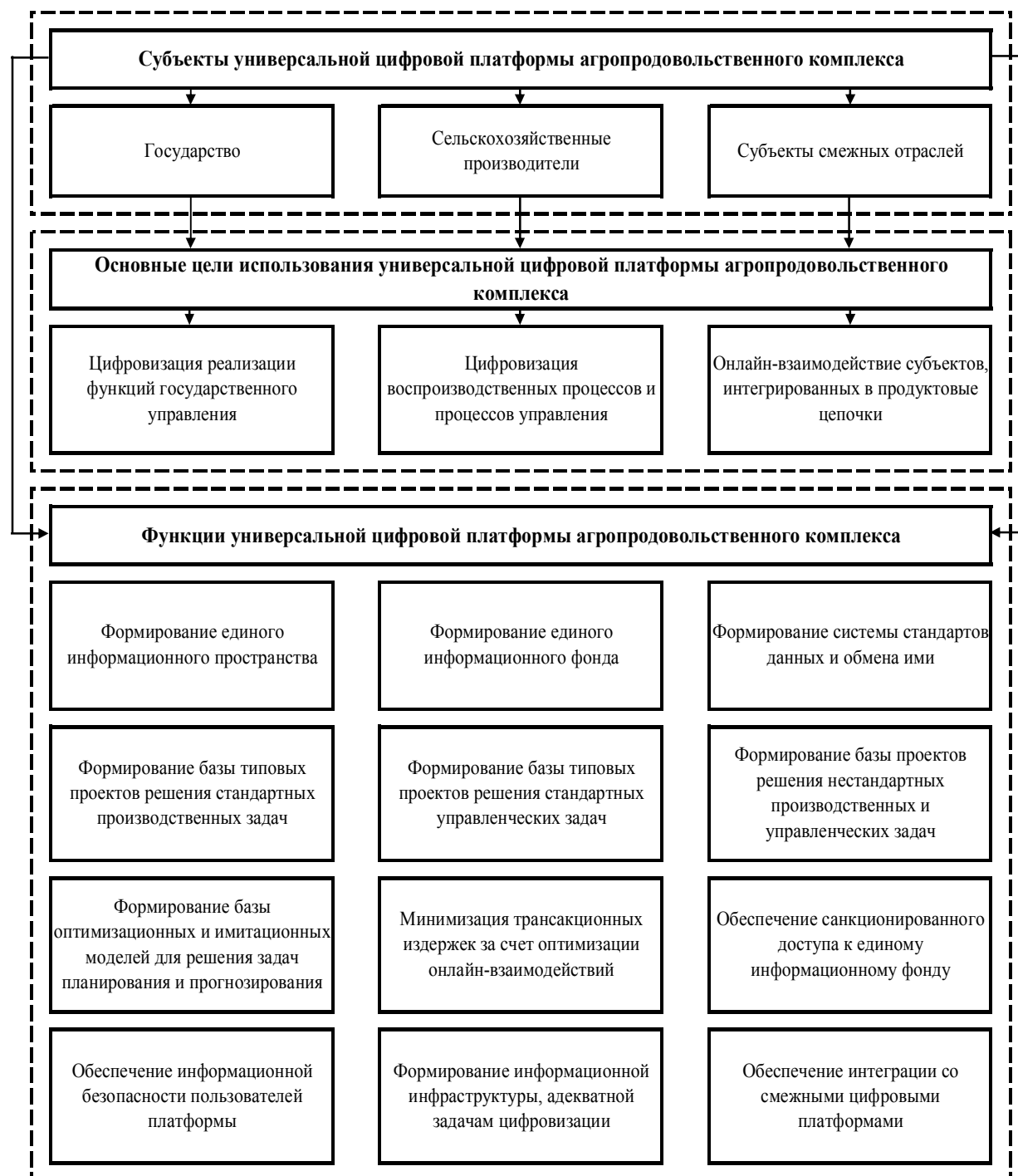
информационном обслуживании отрасли, операторов взаимодействующих отраслевых платформ и конечных потребителей продукции отрасли. Рассматривая содержание процессов формирования системы цифровых платформ, Ю.И. Грибанов акцентирует внимание на моделях коммуникации бизнес-структур, потребителей и государства, предполагая, что именно цифровые взаимодействия составляют базис цифровой экономики и нуждаются в приоритетном развитии. На наш взгляд, данный подход к формированию отраслевых и межотраслевых цифровых платформ может привести к фрагментации процессов цифровой трансформации, локализации отдельных задач, реализуемых в рамках обеспечения единого воспроизводственного процесса, и концентрации усилий на развитии онлайн-взаимодействий в ущерб цифровизации производственных процессов и развитию цифровых инструментов управления ими.

В качестве одного из методологических принципов формирования цифровых платформ можно использовать подход к рассмотрению цифровой экономики как многоаспектного явления, предложенный И.М. Степновым и Ю.А. Ковальчук [19]. В рамках данного подхода цифровая экономика рассматривается, во-первых, как специфическое технико-технологическое явление (источником экономического развития являются процессы использования цифровых технологий); во-вторых, как особого рода информационная система (обеспечивается хранение и системная интеграция большого объема данных об экономических субъектах и процессах их функционирования); в-третьих, как специфическая среда (обеспечивается онлайн-взаимодействие экономических субъектов и создание условий реализации новых моделей бизнеса). Универсальная цифровая платформа должна гармонично сочетать в себе эти три аспекта, поддерживая собственную сбалансированность, и сохранять эти свойства, представляя собой одновременно и особую бизнес-модель, ориентированную на масштабное использование цифровых технологий, и совокупность аппаратно-программных решений, обеспечивающих онлайн-взаимодействие экономических субъектов, и своего рода технико-технологический базис, позволяющий эффективно использовать современные инструменты решения производственных и организационно-управленческих задач, и некий интеграционный комплекс, организованный на принципах «платформенности» и функционирования субъектов в виртуальной среде. При этом всё разнообразие цифровых платформ может быть сведено к их трём базовым группам: общеотраслевым платформам, имеющим открытый интерфейс и обеспечивающим онлайн-взаимодействие субъектов, платформам продуктовых цепочек, связанным с координацией деятельности субъектов, интегрированных в цепочки создания добавленной стоимости, и платформам, организующим виртуальную среду как пространство обмена.

При обосновании архитектуры цифровых платформ необходимо также учитывать и множество реализуемых функций, что позволяет различать несколько их классов в зависимости от реализуемого функционала. По мнению Т.А. Федоровой [22], в зависимости от функционала следует выделять такие классы цифровых платформ, как: технологические (ориентированы на обеспечение доступа к IT-технологиям); функциональные (обеспечивают доступ к специальным инструментам реализации функциональных задач); инфраструктурные (обеспечивают доступ к информационной инфраструктуре); корпоративные (реализуют функцию оптимизации бизнес-процессов и управления ими); информационные (обеспечивают доступ к информационным ресурсам); маркетплейсы (обеспечивают онлайн-взаимодействие рыночных агентов); интеграционные (обеспечивают оптимизацию межсубъектных взаимодействий участников цепочек создания добавленной стоимости).

На основе оценки содержания исследованных подходов к определению состава и структуры цифровых платформ предлагается авторская концептуальная модель универсальной цифровой платформы агропродовольственного комплекса (см. рис.).

В качестве сущностных характеристик данной модели предлагается выделять совокупность субъектов универсальной цифровой платформы, основные цели, реализуемые данными субъектами, и совокупность ключевых функций, реализуемых универсальной цифровой платформой.



Сущностные характеристики концептуальной модели универсальной цифровой платформы агропродовольственного комплекса

Функционал данной универсальной цифровой платформы соответствует совокупности сквозных технологий, предусмотренных Концепцией цифровой трансформации сельского хозяйства, и позволяет реализовать систему задач, связанных с цифровизацией функций государственного управления и воспроизводственных процессов сельскохозяйственных производителей и управления ими, а также обеспечивает онлайн-взаимодействие хозяйствующих субъектов аграрного сектора с субъектами смежных отраслей, интегрированных в цепочки создания добавленной стоимости.

Библиографический список

1. Абдикеев Н.М. Основные тренды развития методов и моделей использования цифровых технологий при создании цепочек воспроизводства добавленной стоимости / Н.М. Абдикеев, Е.Л. Морева // Мир новой экономики. – 2019. – Т. 13, № 3. – С. 71–80.
2. Агрокультура 4.0: синергия системы – систем, онтологии, интернета вещей и космических технологий / В.П. Куприяновский, Ю.П. Липунцов, О.В. Гринько, Д.Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6, № 10. – С. 46–67.
3. Анищенко А.Н. «Умное» сельское хозяйство как перспективный вектор роста аграрного сектора экономики России / А.Н. Анищенко // Продовольственная политика и безопасность. – 2019. – Т. 6, № 2. – С. 97–108.
4. Астахова Т.Н. Децентрализованная цифровая платформа сельского хозяйства / Т.Н. Астахова, М.О. Колбанев, А.А. Шамин // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 6 (85). – С. 5–17.
5. Быков С.Н. Цифровые платформы для сельского хозяйства / С.Н. Быков, Н.А. Стенина // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике : матер. XVIII международной науч.-практ. конф. (Россия, г. Кемерово, 03–04 декабря 2019 г.) ; под ред. Е.А. Ижмулкина. – Кемерово : ФГБОУ ВО Кузбасская ГСХА, 2019. – С. 178–186.
6. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство» : официальное издание. – Москва : ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 48 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/900/900863fae06c026826a9ee43e124d058.pdf> (дата обращения: 24.10.2020).
7. Грибанов Ю.И. Основные модели создания отраслевых цифровых платформ / Ю.И. Грибанов // Вопросы инновационной экономики. – 2018. – Т. 8, № 2. – С. 223–234.
8. Ерешко Ф.И. Сквозные технологии в АПК на основе цифровых стандартов / Ф.И. Ерешко, В.И. Меденников, В.В. Кульба // Мягкие измерения и вычисления. – 2019. – № 10 (23). – С. 29–36.
9. Иванов А.Л. Исследование цифровых экосистем как фундаментального элемента цифровой экономики / А.Л. Иванов, И.С. Шустова // Креативная экономика. – 2020. – Т. 14, № 5. – С. 655–670.
10. Концепция «Научно-технологического развития цифрового сельского хозяйства «Цифровое сельское хозяйство» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/RhDtL> (дата обращения: 25.08.2020).

11. Коротченя В.М. Цифровизация технологических процессов в растениеводстве России / В.М. Коротченя, Г.И. Личман, И.Г. Смирнов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13, № 1. – С. 14–20.
12. Кульба В.В. Эволюция проектирования информационных систем: от синтеза на отдельных предприятиях к синтезу оптимальных отраслевых цифровых платформ / В.В. Кульба, В.В. Медеников, Ю.И. Микулец // Вестник Московского гуманитарно-экономического института. – 2020. – № 1. – С. 132–148.
13. Никиточкин М. Цифровизация АПК. Модный «хайп» или реальный бизнес-инструмент для отрасли / М. Никиточкин // Агроинвестор. – 2020. – № 5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/QbAkA> (дата обращения: 25.08.2020).
14. Осовин М.Н. Обоснование алгоритма сбалансированного развития цифровой экосистемы агропродовольственного комплекса России / М.Н. Осовин // Островские чтения. – 2019. – № 1. – С. 166–172.
15. Пояснительная записка к предложению о реализации нового направления программы «Цифровая экономика Российской Федерации» // Ассоциация участников рынка интернета вещей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/QXGiG> (дата обращения: 25.08.2020).
16. Правила разработки и реализации планов мероприятий («дорожных карт») Национальной технологической инициативы : Постановление Правительства РФ от 18 апреля 2016 г. № 317 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/71380666/> (дата обращения: 25.08.2020).
17. Разработана концепция создания в России платформы цифрового сельского хозяйства // Портал: TAdviser [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/QbAhd> (дата обращения: 25.08.2020).
18. Розанова Н. Цифровая экосистема как новая конфигурация бизнеса в XXI веке / Н. Розанова // Общество и экономика. – 2019. – № 2. – С. 14–29.
19. Степнов И.М. Цифровые платформы как новый экономический агент в открытой модели экономики / И.М. Степнов, Ю.А. Ковальчук // Дружковский вестник. – 2019. – № 2 (28). – С. 5–13.
20. Улезько А.В. Трансформационные эффекты перехода к цифровой экономике / А.В. Улезько, М.А. Жукова, В.В. Реймер // Экономика сельского хозяйства России. – 2019. – № 2. – С. 14–21.
21. Улезько А.В. Цифровизация как этап эволюции социально-экономических систем / А.В. Улезько, М.А. Жукова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 1 (60). – С. 169–179.
22. Федорова Т.А. Цифровые бизнес-модели: цифровые платформы, разновидности и функции / Т.А. Федорова // Znanstvena Misel. – 2019. – № 8–2 (33). – С. 28–33.
23. Цифровая трансформация сельского хозяйства России / А.Г. Архипов, С.Н. Косогов, О.А. Моторин и др. – Москва : Росинформагротех, 2019. – 78 с.
24. Цифровые экосистемы для Industry 5.0 / В.Б. Ларюхин, И.В. Майоров, Е.В. Симонова, П.О. Скобелев // Материалы XII мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2019) : материалы XII мультikonференции (Россия, Дивноморское, Геленджик, 23–28 сентября 2019 г.) : в 4 т. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного Федерального округа, 2019. – Т. 3. – С. 188–191.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Марина Александровна Жукова – старший преподаватель кафедры земельного кадастра ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: marinazhukova8484@mail.ru.

Андрей Валерьевич Улезько – доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой информационного обеспечения и моделирования агроэкономических систем ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: arle187@rambler.ru.

Дата поступления в редакцию 18.11.2020

Дата принятия к печати 26.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Marina A. Zhukova, Senior Lecturer, the Dept. of Land Cadastre, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: marinazhukova8484@mail.ru.

Andrey V. Ulez'ko, Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Dept. of Information Support and Modeling of Economic Systems in Agriculture, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: arle187@rambler.ru.

Received November 18, 2020

Accepted after revision December 26, 2020

ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА

**Иван Михайлович Четвертаков¹
Валентина Петровна Четвертакова²**

¹Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

²Воронежский институт экономики и социального управления

Необходимость ускорения темпов экономического и социального развития России на фоне отсутствия прироста населения за последние 30 лет и прогноза его дальнейшего существенного снижения повышает актуальность формирования и развития человеческого капитала, что особенно важно для динамично прогрессирующих отраслей, таких как сельское хозяйство. Проблема заключается в необходимости достижения соответствия размера человеческого капитала огромным земельным и ископаемым ресурсам страны и усугубляется сложностью решаемых социально-экономических и геополитических задач. Цель исследования состоит в определении эффективных направлений формирования и совершенствования человеческого капитала для ускорения темпов социального и экономического развития страны. В ходе выполнения исследований применяли системный подход, абстрактно-логический, диалектический, экономико-статистический и другие методы экономических исследований, а также метод социологического опроса. Предложено уточнённое определение человеческого капитала, выделены составляющие его подсистемы, а также условия повышения эффективности использования. Дана оценка значимости факторов роста человеческого капитала. Раскрыты проблемы, причины, динамика и тенденции роста численности населения России в целом, более подробно – населения, проживающего в сельской местности, и сформировавшие их условия. Сделано заключение о существенном снижении прироста человеческого капитала в последние годы не только за счёт сокращения численности населения, но и уменьшения количества выпускников колледжей и вузов. Выявлены тенденции изменения численности и структуры трудовых ресурсов сельского хозяйства. Раскрыты проблемы и определены основные пути ускорения темпов формирования и развития человеческого капитала сельских территорий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: человеческий капитал, численность населения, профессиональное обучение, меры по совершенствованию, развитие сельских территорий.

PROBLEMS AND PATTERNS OF DEVELOPMENT OF HUMAN CAPITAL IN RUSSIA

**Ivan M. Chetvertakov¹
Valentina P. Chetvertakova²**

¹Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

²Voronezh Institute of Economics and Social Management

The need to accelerate the pace of economic and social development of Russia against the background of the lack of population growth over the past 30 years and the forecast for its further significant decline increases the relevance of the formation and development of human capital, which is especially important for dynamically progressing industries such as agriculture. The problem lies in the need to match the size of human capital to the country's vast land and mineral resources and is compounded by the complexity of socio-economic and geopolitical challenges being solved. The objective of this study is to determine efficient directions for the formation and improvement of human capital in order to accelerate the pace of social and economic development of the country. In the course of research the authors used systematic approach, abstract-logical, dialectical, economic-statistical and other methods of economic research, as well as the method of sociological survey. A refined definition of human capital is proposed and its constituent subsystems are identified together with the conditions for improving the efficiency of use. The significance of factors of human capital growth has been assessed. The authors have also revealed the problems, causes, dynamics and trends of population growth in Russia as a whole and rural population in particular. It is concluded that the growth of human capital has significantly decreased in recent years not only due to population decline, but also due to the decrease in the

number of college and university graduates. The authors have revealed the trends in the number and structure of agricultural labor resources, as well as the problems and main ways to accelerate the formation and development of human capital in rural areas.

KEYWORDS: human capital, population, occupational training, improvement measures, rural development.

В последнее десятилетие в теории и практике всё большее внимание уделяется трудовым ресурсам, поскольку они по своей значимости выходят на ведущие позиции среди производственных факторов. В связи с возвращением России к капиталистическому способу производства в отечественной экономической литературе наряду с понятием трудовые ресурсы и трудовой потенциал всё чаще начали рассматривать понятие «человеческий капитал».

Подавляющее большинство авторов подразумевает под человеческим капиталом совокупность знаний, умений и навыков, сформированных в результате инвестиций в человека и позволяющих получить доход в будущем [1, 3, 4, 8, 9]. Отдельные авторы дополнительно включают сюда здоровье, личные качества, мотивацию [11, 12]. И в этом есть достаточно большая доля истины, но не учитывается определение категории капитала К. Маркса, что это стоимость, которая в результате эксплуатации наёмной рабочей силы приносит прибавочную стоимость, то есть самовозрастает [5].

Отрицать эту важнейшую характеристику капитала нет оснований. Поэтому мы определяем человеческий капитал как динамичную систему физических, интеллектуальных и социально-психологических возможностей человека производить новые продукты (услуги) и создавать при этом прибавочную стоимость. Все эти три подсистемы, а также входящие в них элементы находятся в тесной взаимосвязи и влияют друг на друга, что дало нам основание определить человеческий капитал как систему, элементы которой подвержены изменениям, что меняет величину и качество индивидуального человеческого капитала. Например, он возрастает и становится качественно более совершенным в процессе накопления знаний, умений и навыков при обучении или работе, и в то же время может уменьшаться при ухудшении здоровья человека с возрастом, что и определяет динамический характер этой системы. На наш взгляд, такое понятие чётче отражает суть данной сложной категории, всё многообразие которой можно выявить при более глубоком исследовании и подробном описании.

Отмеченная выше проблема состоит в несоответствии очень больших размеров земельных и ископаемых ресурсов и имеющегося в стране человеческого капитала, которого, по мнению авторов, в целом меньше необходимого, и он часто недостаточно высокого качества (по уровню квалификации, трудовой дисциплине, профессиональному мастерству). Также следует подчеркнуть, что проблема усугубляется сложностью социально-экономических и геополитических задач, стоящих перед страной.

В связи с вышеизложенным цель исследования заключалась в определении эффективных направлений развития человеческого капитала для ускорения темпов экономического и социального развития России.

В ходе выполнения исследований применяли системный подход, абстрактно-логический, диалектический, экономико-статистический и другие методы экономических исследований, а также метод социологического опроса.

В рамках системного подхода человеческий капитал, по нашему мнению, представляет сложную гетерогенную систему, в которой мы выделили три подсистемы.

Первая подсистема – физическая, то есть это совокупность антропометрических данных людей, их здоровья, типов темперамента, умений, навыков, уровня тренированности на выполнении трудовых операций и процессов.

Вторая подсистема – интеллектуальная. Она включает общий интеллектуальный уровень развития человека, профессиональные знания, творческий подход и потенциал,

реализуемый через рационализаторство, изобретательскую деятельность, решение сложных технических, технологических и организационно-экономических задач.

Третья подсистема – социально-психологическая, представляет собой социальные и личностные качества людей, имеющие важное значение для производственной деятельности: трудолюбие, ответственность, целеустремленность, дисциплинированность, инициативность, те или иные потребности, интересы, ценности, мотивы поведения.

Большое значение для повышения эффективности использования человеческого капитала имеют условия и характеристики производства: уровень механизации и автоматизации, совершенство технологии, уровень организации производства и труда, условия труда, уровень менеджмента и целый ряд других менее значимых факторов.

Формирование и развитие человеческого капитала начинается с появления зародыша человека и наиболее интенсивно идёт первые 16–24 года жизни. Издержки на его создание появляются с момента начала вынашивания и существенно увеличиваются с рождением ребёнка, то есть физического роста, развития, а затем общего и профессионального обучения человека. Их осуществляют прежде всего родители нового человека и государство, которое обеспечивает бесплатное медицинское обслуживание, образование, выплачивает пособия по рождению ребёнка и т. п. Приобретая двигательные и поведенческие навыки в раннем возрасте, а затем приступая к обучению в школе, занятиям физкультурой и спортом, уже каждый конкретный ребёнок осуществляет затраты физических и интеллектуальных сил на формирование своего человеческого капитала. В процессе начального, среднего и высшего профессионального обучения вложения родителей, государства и каждого молодого человека возрастают, особенно если это осуществляется на коммерческих условиях.

Для совершенствования и развития человеческого капитала во взрослом состоянии индивидуума в процессе самообучения или прохождения курсов переквалификации, повышения квалификации каждому человеку приходится нести как физические, психологические, интеллектуальные, так и материальные затраты. Размер и характер затрат на создание человеческого капитала отдельных граждан может существенно отличаться, поскольку люди имеют разные способности, живут в различных условиях, получают разное образование, и если к страховой медицине у кого-то подключаются платные медицинские услуги, то и существенно отличаются затраты на поддержание здоровья. Выравнивание уровня доходов граждан, по нашему мнению, будет способствовать увеличению человеческого капитала более высокими темпами, поскольку значительно большее количество людей улучшит свое питание, физическое и интеллектуальное развитие.

Возможность накопления человеческого капитала за счёт повышения рождаемости, снижения смертности и миграции населения в сложившейся в России ситуации есть, но весьма ограничена. Так, за последнюю четверть века с 1993 по 2019 г. численность населения России уменьшилась на 1,7 млн человек – с 148,6 до 146,9 млн [7].

При этом сокращение численности населения происходило за счёт сельских жителей – с 1995 по 2019 г. на 2,8 млн человек, при небольшом росте численности городского населения за эти же годы – на 1,1 млн. Сокращение численности населения определял отрицательный естественный прирост. Смертность превышала рождаемость в России практически все 90-е годы XX века. И если в 1992 и 1994 гг. отрицательный естественный прирост по стране был перекрыт положительным миграционным потоком, то в 1993 г. и с 1995 по 2008 г. полного перекрытия не было и население в России уменьшалось максимально в 2002 г. – до 685,7 тыс. человек (табл. 1).

Таблица 1. Компоненты изменения общей численности населения России, тыс. чел. [2]

Годы	Численность населения на 1 января	Изменения за год			Численность населения на 31 декабря	Общий прирост за год, %
		общий прирост	естественный прирост	миграционный прирост		
1990	147665,1	608,6	333,6	275,0	148273,7	0,41
1995	148459,9	-168,3	-822,0	653,7	148291,6	-0,11
1996	148291,6	-263,0	-776,5	513,5	148028,6	-0,18
1997	148028,6	-226,5	-740,6	514,1	147802,1	-0,15
1998	147802,1	-262,7	-691,5	428,8	147539,4	-0,18
1999	147539,4	-649,3	-918,8	269,5	146890,1	-0,44
2000	146890,1	-586,5	-949,1	362,6	146303,6	-0,40
2001	146303,6	-654,3	-932,8	278,5	145649,3	-0,45
2002	145649,3	-685,7	-916,5	230,8	144963,6	-0,47
2003	144963,6	-630,0	-888,5	258,5	144333,6	-0,43
2004	144333,6	-532,6	-793,0	260,4	143801,0	-0,37
2005	143801,0	-564,4	-846,5	282,1	143236,6	-0,39
2006	143236,6	-373,9	-687,1	313,2	142862,7	-0,26
2007	142862,7	-115,2	-470,3	355,1	142747,5	-0,08
2008	142747,5	-10,3	-362,0	351,7	142737,2	-0,01
2009	142737,2	96,3	-248,9	345,2	142833,5	0,07
2010	142833,5	31,9	-239,6	271,5	142865,4	0,02
2011	142865,4	191,0	-129,1	320,1	143056,4	0,13
2012	143056,4	290,7	-4,3	295,0	143347,1	0,20
2013	143347,1	319,8	24,0	295,8	143666,9	0,22
2014	143666,9	–	–	–	146267,3	–
2015	146267,3	277,4	32,0	245,4	146544,7	0,19
2016	146544,7	259,7	-2,3	262,0	146804,4	0,18
2017	146804,4	76,0	-135,8	211,8	146880,4	0,05
2018	146880,4	-99,7	-224,6	124,9	146780,7	-0,07

До 2012 г. включительно естественный прирост населения страны оставался отрицательным. Непродолжительно с 2013 по 2015 г. наблюдался небольшой естественный прирост, но с 2016 г. он опять стал отрицательным, что привело в 2018 г. к убыли 99,7 тыс. человек. В наибольшей степени это выражено в сельской местности, где общая убыль жителей за данный год составила 226,3 тыс. человек.

На начало 2019 г. на 68,1 млн мужчин в стране приходилось 78,7 млн женщин, то есть можно отметить ощутимый дисбаланс по полу. Если в 1960 г. на 1 тыс. россиян рождалось 23,2, а умирало 7,4 чел., то в 2018 г. рождалось 10,9, а умирало 12,5 чел., что и создало убыль населения. До 2015 г. рождаемость в сельской местности была выше, чем в городской. В 1960 г. на свет появилось 26,5 ребёнка на 1 тыс. жителей села и только 20,4 на 1 тыс. горожан. С 2015 г. рождаемость на селе стала меньше городской, что отрицательно отразится на размере человеческого капитала сельских территорий.

Увеличение продолжительности жизни и миграционный прирост замедляют темпы снижения численности населения, но влияние этих факторов несущественно. Так, по прогнозам демографов продолжительность жизни россиян за последующие 56 лет может увеличиться всего на 4,2 года. На 4,9 млн человек, прибывших в РФ в 2018 г., приходится 4,8 млн выбывших, то есть всего на 2,55% меньше прибывших.

Исходя из всей совокупности факторов демографы прогнозируют ежегодное снижение населения России от 203,8 тыс. человек в 2020 г. до 680,1 тыс. человек в 2035 г., а общая численность может уменьшиться с 146,6 млн жителей на начало 2020 г. до 138,1 млн в 2036 г. [2]. Таким образом, роста человеческого капитала за счёт роста количества жителей страны ожидать не приходится, более того данный компонент будет работать на его снижение.

Особенно внимательного изучения заслуживает изменение численности сельского населения из-за его значимости для страны и наличия неблагоприятной демографической ситуации (табл. 2).

Таблица 2. Компоненты изменения общей численности сельского населения России, тыс. чел. [2]

Годы	Численность населения на 1 января	Изменения за год				Численность населения на 31 декабря	Общий прирост за год, %
		общий прирост	естественный прирост	миграционный прирост	из-за перемены категории населённых пунктов		
1990	38928,9	-60,3	87,8	-74,2	-73,9	38868,6	-0,15
1995	40138,2	-157,2	-206,5	47,6	1,7	39981,0	-0,39
1996	39981,0	-140,2	-221,4	23,7	57,5	39840,8	-0,35
1997	39840,8	-149,5	-226,0	32,8	43,7	39691,3	-0,38
1998	39691,3	-205,1	-203,7	31,0	-32,4	39486,2	-0,52
1999	39486,2	-15,6	-265,1	49,9	199,6	39470,6	-0,04
2000	39470,6	-238,7	-274,2	-2,6	38,1	39231,9	-0,60
2001	39231,9	-307,9	-271,7	-51,9	15,7	38924,0	-0,78
2002	38924,0	-281,6	-281,9	-26,7	27,0	38642,4	-0,72
2003	38642,4	-348,3	-281,5	-90,5	23,7	38294,1	-0,90
2004	38294,1	324,8	-260,3	-108,8	693,9	38618,9	0,85
2005	38618,9	-200,9	-287,6	-117,4	204,1	38418,0	-0,52
2006	38418,0	-287,0	-230,4	-109,0	52,4	38131,0	-0,75
2007	38131,0	-248,6	-145,7	-50,9	-52,0	37882,4	-0,65
2008	37882,4	-60,7	-113,3	-60,6	113,2	37821,7	-0,16
2009	37821,7	-49,6	-88,9	-47,8	87,1	37772,1	-0,13
2010	37772,1	-327,9	-81,7	-228,8	-17,4	37444,2	-0,87
2011	37444,2	-129,8	-42,5	-149,9	62,6	37314,4	-0,35
2012	37314,4	-85,6	-6,3	-166,6	87,3	37228,8	-0,23
2013	37228,8	-110,6	-0,8	-176,8	67,0	37118,2	-0,30
2014	37118,2	-	-	-	-	37985,1	-
2015	37985,1	-97,8	-61,4	-46,8	10,4	37887,3	-0,26
2016	37887,3	-115,3	-74,0	-36,4	-4,9	37772,0	-0,30
2017	37772,0	-218,5	-95,1	-46,5	-76,9	37553,5	-0,58
2018	37553,5	-226,3	-112,1	-69,4	-44,8	37327,2	-0,60

Примечание: * – изменения численности городского (сельского) населения, произошедшие в результате преобразования сельских населённых пунктов в городские (или городских – в сельские) по решению органов власти.

Убыль населения на сельских территориях началась ранее, чем в целом по стране – с 1990 г., и сокращение было более существенным. Если в целом по стране численность максимально снижалась до 0,47% в год, то среди сельского населения такое снижение достигало 0,9% (в 2003 г.).

Общий прирост населения в России с 2009 по 2017 г. включительно был положительный, а в сельской местности в течение последних 30 лет – с 1990 по 2019 г. он постоянно отрицательный. Конечно, необходимо учитывать, что часть полученных статистических результатов объясняется преобразованием сельских населённых пунктов в городские или городских в сельские, но общих тенденций это не меняет. Снижение численности населения в сельской местности с 1990 г. усилилось и вышло на максимальное значение в 2003 г., затем до 2015 г. преобладает тенденция на абсолютное уменьшение – с 348,3 до 97,8 тыс. человек, и относительное сокращение населения снизилось с 0,9 до 0,26% в год. Но с 2016 г. сокращение численности сельского населения ускоряется как в абсолютном, так и относительном выражении.

Прогнозы на сохранение и развитие данной тенденции могут поставить перед сельским хозяйством и другими сферами деятельности сельских населённых мест серьёзные проблемы обеспечения рабочей силой. При этом численность городского населения России с 2007 г. до сегодняшнего времени постоянно волнообразно возрастает: минимальные показатели были в 2008 и 2018 гг., а максимальные – в 2013 г.

Постановления российского государства по поддержке семей с маленькими детьми, принятые в 2019–2020 гг., смогут несколько увеличить рождаемость в стране, но желание значительной части студенческой молодёжи (по нашим исследованиям – до 20%, а по данным других авторов – до 40%) уехать работать за границу не позволит увеличить количество занятых в экономике страны, даже если Россию покинут 10–12% от числа желающих.

Увеличению количества занятых в экономике страны будет способствовать проведение пенсионной реформы, которая на 5 лет увеличивает возраст выхода на пенсию. Но и здесь резервы невелики, поскольку значительная часть пенсионеров и сейчас продолжает трудиться. В то же время пенсия работающих пенсионеров 4 последних года не индексируется. Это заставляет многих работающих пенсионеров при невысоком уровне оплаты уволиться с работы и проиндексировать свою пенсию. Введение индексации пенсии работающих пенсионеров может удлинить срок их работы.

Трудовые ресурсы РФ в 2018 г. насчитывали 89,67 млн человек. Здесь тоже наблюдается отрицательная динамика, поскольку в 2010 г. этот показатель составил 93,11 млн человек. Несколько ухудшилась и их структура, так как в 2010 г. она на 91,8% состояла из трудоспособного населения, на 2,1% – из иностранных трудовых мигрантов и на 6,1% – из лиц старше трудоспособного возраста и подростков, занятых в экономике. Через 8 лет в 2018 г. количество трудоспособного населения в трудоспособном возрасте в составе трудовых ресурсов уменьшилось до 88,6%, но увеличилась доля иностранных трудовых мигрантов до 3% и лиц старше трудоспособного возраста с подростками до 8,4% [10]. Количество рабочих мест по формам трудовой деятельности и типу занятости за это время практически осталось неизменным.

Качество человеческого капитала в значительной мере определяется уровнем образования, который среди всех отраслей и видов деятельности России наиболее низкий в сельском, лесном хозяйстве, рыболовстве и рыбоводстве. Так, если доля работников с высшим образованием в экономике страны составляет 34,2%, то в сельском хозяйстве в 2,8 раза меньше – всего 12,1%. Удельный вес работников с высшим и средним профессиональным образованием в сельском хозяйстве в сумме достаточно высокий – 53,9%, в то время как по всем отраслям и сферам деятельности он выше на 25,3% (79,2%), а в предприятиях, добывающих полезные ископаемые, – на 27,5%. Очень высок в сельском хозяйстве удельный вес низкоквалифицированной рабочей силы (имеющей основное общее и не имеющей основного общего образования) – 13,6%, в то время как в целом по экономике (включая и аграрный сектор) удельный вес этой категории составляет всего 3,6%.

В трудовой деятельности за оплату или прибыль наибольшее количество рабочих мест в 2018 г. было в оптовой и розничной торговле, ремонте автотранспортных средств и мотоциклов – 19,0%, в обрабатывающем производстве – 13,5%, строительстве – 8,7%, в образовании – 7,8%, в сельском, лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве и рыбоводстве – 7,4% от всего по экономике. За 8 последних лет среднегодовая численность занятых в I группе увеличилась с 12,5 до 13,7 млн человек, или на 9,0%, а в обрабатывающем производстве и образовании уменьшилась соответственно на 4,4 и 7,1%. Среднегодовая численность работников сельского, лесного хозяйства, охоты, рыболовства и рыбоводства с 2010 по 2018 г. уменьшилась с 6,0 до 4,9 млн человек, или на 18,3% [10].

С одной стороны, это отражает быстрый рост производительности труда в аграрной сфере, с другой стороны, необходимость ввода в севооборот заброшенных в 90-е годы XX века площадей и освоение современных технологий производства требуют повышения качества человеческого капитала, используемого в отрасли.

Рост эффективности использования человеческого капитала в последние годы в РФ был не высоким. Так, с 2014 по 2018 г. производительность труда по всем видам экономической деятельности выросла на 3,3%, что не позволило полностью компенсировать сокращение за эти годы количества трудовых ресурсов на 3,7%. Высоким остаётся выбытие работников за год в целом по экономике страны – 28,5%, а в сельском, лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве и рыбоводстве даже 43,9% в 2018 г. Сохраняется существенная разница затрат по видам экономической деятельности на поддержание и развитие человеческого капитала. Так, среднемесячная номинальная начисленная заработная плата в 2018 г. в РФ колебалась от 127,8 тыс. руб. при добыче сырой нефти и природного газа до 19,8 при производстве одежды, 28,7 тыс. руб. – в сельском, лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве и рыбоводстве, что по отношению к среднероссийскому уровню составляло соответственно 292, 45 и 66%.

Наряду с приведёнными выше основными факторами на формирование и развитие человеческого капитала оказывает влияние и ряд других, не менее значимых. Так, физическую составляющую человеческого капитала можно улучшить на основе увеличения количества занимающихся физкультурой и спортом. Это должно достигаться комплексом мер, начиная от пропаганды здорового образа жизни до создания условий во дворах жилых домов для занятий на тренажёрах, строительства в каждом микрорайоне многопрофильных спортивных комплексов, а также улучшения системы здравоохранения.

Социально-психологическую часть человеческого капитала можно улучшить за счёт воспитания у детей и подростков в семье и школе трудолюбия, дисциплинированности, патриотизма, ответственности за дело, которому служишь, инициативного, творческого отношения к своей работе на фоне высокой оценки государством трудовых достижений человека.

Вне всякого сомнения, в России необходимо использовать все вышеприведённые способы увеличения человеческого капитала, но основным и наиболее весомым направлением, на наш взгляд, может стать повышение уровня профессиональной подготовки. На ведущую роль образования в создании человеческого капитала задолго до нас указывали такие известные экономисты мира, как Р. Лукас, Г. Менкью, Д. Ромер, С. Ребелло, Р. Барро и др.

С экономической точки зрения образование является источником экономического роста. В экономике, основанной на знаниях, производительные силы человека реализуются в форме человеческого капитала. Для использования образования как основного направления роста человеческого капитала необходимо определить и хотя бы частично решить его проблемы. Ценность самого образования, и в первую очередь высшего, в российском обществе остаётся высокой. В вузы стремятся поступить чуть ли не все получившие общее среднее или среднее профессиональное образование. И подавляющее большинство поступает как на условиях бюджетного финансирования, так и за относительно невысокую оплату на коммерческих условиях. К сожалению, как мы уже отмечали [13, 14], часть абитуриентов неспособна овладеть знаниями в объёме вузовской программы, и лучше было бы при проведении профориентационной работы убедить их поступать в колледжи и профтехучилища.

Приём на обучение по программам бакалавриата, специалитета и магистратуры с 2000 по 2018 г. уменьшился с 1292,5 до 1147,9 тыс. человек, что связано со значительным падением рождаемости в России соответственно с 1983 по 2001 г. Но при этом выпуск бакалавров, специалистов, магистров увеличился с 635 до 933 тыс. человек [7].

Такой результат роста отношения числа выпускников к количеству поступивших с 49,1 до 81,3% достоин углублённого анализа. С 2000 по 2018 г. выпуск обучающихся по образовательным программам среднего профессионального образования существенно уменьшился с 1342 тыс. до 531,5 тыс. человек, то есть в 2,5 раза за счёт поступивших в вузы [7]. В связи с этим прирост человеческого капитала в колледжах и вузах за последние 10–12 лет снизился. При этом падение шло прежде всего из-за сокращения количества выпускников колледжей и вузов на 512,5 тыс. чел., или 25,9%, с 2000 по 2018 г.

Стратегическая задача России выйти на среднемировые темпы экономического роста (примерно 3,3% в год вместо 1,8% в 2010–2017 гг.) требует существенного совершенствования формирования и развития человеческого капитала в стране с тем, чтобы получить из подрастающего поколения профессионалов высокого уровня с ответственным и творческим отношением к делу. Это позволит даже при постепенном сокращении количества занятых в экономике добиться прироста ВВП путём более высоких, чем сокращение занятых в экономике, темпов роста производительности труда. При этом можно будет повысить качество трудовой жизни населения страны за счёт творческого характера труда, улучшения его условий и оплаты. Повышение производительности труда будет способствовать росту доходов и качества жизни занятого в экономике населения.

Для создания действенных стимулов в развитии человеческого капитала каждого работника требуется усилить дифференциацию в оплате труда руководителей, специалистов и рядовых работников по уровню знаний, умений и навыков, сложности реально решаемых задач, проявлению творчества и инициативы, достигнутым в работе результатам.

Проблема увеличения прироста человеческого капитала является актуальной в целом для страны, но особенно острой она является для сельской местности. В России регулярно принимаются программы развития сельских территорий, но как показывает динамика демографического процесса (табл. 2) и структуры работников по квалификации, они лишь замедляют, но не останавливают негативные процессы и увеличивают разрыв между городом и деревней. По нашему мнению, требуются кардинальные и финансово более значимые меры по возрождению села, в связи с чем необходима корректировка рассчитанной на период до 2025 года государственной программы «Комплексное развитие сельских территорий» [6]. Увеличение инвестиций в основной капитал сельского хозяйства будет способствовать развитию отраслей, где ещё не достигнуты параметры самообеспеченности (молочное скотоводство, овощеводство, плодоводство), повышению занятости и уровня жизни, а также улучшению условий труда в сельской местности. Для этого необходимо не только возвращать в севооборот заброшенные земли, строить новые животноводческие комплексы, но и за счёт более дешёвых (по сравнению с городами) участков под строительство, относительно недорогой рабочей силы и налоговых льгот от государства размещать в сельской местности перерабатывающие предприятия, создавать современную социальную инфраструктуру, повышающую комфортность проживания.

Необходимо проводить экономические преобразования, делая сельскую местность привлекательной для проживания. Если мы говорим о развитии сельской местности, то в нее обязательно должна поступить «свежая кровь», трудовые ресурсы. А для этого необходимо создавать достойные условия проживания граждан, активизировать инвестиционную деятельность, повышать занятость на селе (в том числе через организацию высокотехнологичных рабочих мест), вовлекать проживающих в сельской местности в проведение социально-экономических и общественно значимых мероприятий, популяризировать образ жизни села путём формирования федеральных рекламных кампаний. Нужно демонстрировать ценности проживания в сельской местности: близость к природе, лучшие экологические условия, меньшая плотность населения, что немаловажно в современных условиях обострения эпидемиологической обстановки. Постепенное закрепление молодежи на селе будет способствовать улучшению демографической ситуации.

Таким образом, проблемы человеческого капитала требуют комплексного подхода к его формированию и развитию. Поскольку увеличение трудового потенциала за счёт роста численности населения в ближайшие 15 лет невозможно, то необходимо использовать другие направления, ведущим из которых является повышение уровня профессиональной подготовки. Особое внимание необходимо уделить развитию человеческого капитала в сельской местности в силу её особой уязвимости и значения для России.

Библиографический список

1. Головкова Е.В. Концепция «человеческого капитала» в рамках развития цифровой экономики / Е.В. Головкова // Инновационные доминанты социально-трудовой сферы: экономика и управление : матер. ежегодной международной науч.-практ. конф. по проблемам социально-трудовых отношений (Россия, г. Воронеж, 23 мая 2019 г.). – Воронеж : Истоки, 2019. – С. 54–57.
2. Демографический ежегодник России. 2019 : стат. сб. – Москва : Росстат, 2019. – 252 с.
3. Дятлов С.А. Человеческий капитал в транзитивной экономике: формирование, оценка, эффективность использования : монография / С.А. Дятлов, А.И. Добрынин, Е.Д. Цыренова. – Санкт-Петербург : Наука, 1999. – 309 с.
4. Корчагин Ю.А. Человеческий капитал и процессы развития на макро- и микроуровнях / Ю.А. Корчагин. – Воронеж : ЦИРЭ, 2004. – 140 с.
5. Маркс К. Капитал. Критика политической экономии / К. Маркс, предисловие Ф. Энгельса. Т. 1, кн. 1: Процесс производства капитала. – Москва : Политиздат, 1988. – 891 с.
6. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Комплексное развитие сельских территорий» и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации : Постановление Правительства Российской Федерации от 31 мая 2019 года № 696 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/554801411> (дата обращения: 12.07.2020).
7. Российский статистический ежегодник. 2019 : стат. сб. – Москва : Росстат, 2019. – 708 с.
8. Соболева И. Парадоксы измерения человеческого капитала / И. Соболева // Вопросы экономики. – 2009. – № 9. – С. 51–70.
9. Теленная Л.С. Развитие человеческого капитала в России / Л.С. Теленная, А.С. Бардина, В.А. Морозова // Современные проблемы экономики и менеджмента : матер. международной науч.-практ. конф. (Россия, г. Воронеж, 24 октября 2019 г. – Воронеж : Истоки, 2019. – С. 311–316.
10. Труд и занятость в России. 2019 : стат. сб. – Москва : Росстат, 2019. – 135 с.
11. Ходиев Д.А. Особенности развития человеческого капитала в условиях переходного периода : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Д.А. Ходиев. – Душанбе, 2010. – 159 с.
12. Человеческий капитал: содержание и виды, оценки и стимулирование : монография / В.Т. Смирнов, И.В. Сошников, В.И. Романчин, И.В. Скоблякова ; под ред. профессора В.Т. Смирнова. – Москва : Машиностроение-1; Орел : ОрелГТУ, 2005. – 513 с.
13. Четвертаков И.М. Мотивация современных вузов России и качество подготовки выпускников / И.М. Четвертаков // Гуманизация образования. – 2018. – № 2. – С. 4–7.
14. Четвертаков И.М. Современные проблемы социально-психологических отношений в трудовых коллективах вузов / И.М. Четвертаков, В.П. Четвертакова // Инновационные доминанты социально-трудовой сферы: экономика и управление : матер. ежегодной международной науч.-практ. конф. по проблемам социально-трудовых отношений (18 заседание) (Россия, г. Воронеж, 24 мая 2018 г.). – Воронеж : Истоки, 2018. – С. 266–269.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Иван Михайлович Четвертаков – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики АПК ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: 926559@list.ru.

Валентина Петровна Четвертакова – доктор экономических наук, профессор кафедры региональной экономики и менеджмента МОАУ ВО «Воронежский институт экономики и социального управления», Россия, г. Воронеж, e-mail: 4668899@list.ru.

Дата поступления в редакцию 16.09.2020

Дата принятия к печати 29.11.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Ivan M. Chetvertakov, Doctor of Economic Sciences, Professor, the Dept. of Economics of the Agro-Industrial Complex, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: 926559@list.ru.

Valentina P. Chetvertakova, Doctor of Economic Sciences, Professor, the Dept. of Regional Economics and Management, Voronezh Institute of Economics and Social Management, Russia, Voronezh, e-mail: 4668899@list.ru.

Received September 16, 2020

Accepted after revision November 29, 2020

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ООО «ЭкоНиваАгро» КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ НА РЫНКЕ МОЛОКА

**Сергей Михайлович Ляшко
Зинаида Петровна Меделеева**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Производство молока и молочной продукции региона во многом определяется результативностью молочного скотоводства в интегрированных формированиях, обеспечивающих более 40% всего объема сырого молока. Одним из крупных ИАПФ Воронежской области, специализирующихся на производстве молока, является ООО «ЭкоНиваАгро» с поголовьем дойного стада более 29 тыс. гол. Проведённые исследования свидетельствуют о рентабельности молочной отрасли, более высоких производственных и финансовых показателях в сравнении с другими товаропроизводителями и среднерегиональными данными. Однако повышение конкурентоспособности ИАПФ на рынке молочной продукции требует совершенствования организации инновационной деятельности, определения стратегических направлений, способствующих повышению эффективности отрасли на перспективу. Определены направления инновационного развития в сфере производства и переработки молока, которые позволят ООО «ЭкоНиваАгро» закрепить свои позиции на рынке молока и молочной продукции не только региона, но и страны с выходом на мировой рынок. Предлагаемые направления по решению задач стратегического развития отрасли в ИАПФ включают проекты, связанные с повышением эффективности производства молока (повышение продуктивности, качества молока за счёт модернизации системы ветеринарного и зоотехнического обслуживания), увеличением объёмов переработки и производства востребованных продуктов питания (детское питание, сыры), более полным использованием сопряжённой продукции (сыворотки для производства лактулозы, напитков), применением инновационных технологий утилизации побочной продукции (производство подстилки, биотоплива). Намеченная стратегия будет осуществляться путём реализации инновационно-инвестиционных мероприятий, при этом инновации должны носить постоянный характер, отличаться комплексностью, охватывать не только производственную, но и организационную, и социальную сферы предприятия и кроме экономической эффективности обеспечивать научно-технический, социальный и экологический эффекты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: производство молока и молочной продукции, переработка молока, рентабельность, ИАПФ, стратегическое развитие, инновационная деятельность, инновационно-инвестиционные мероприятия, рынок молока.

INNOVATIVE DEVELOPMENT OF ООО EkoNivaAgro AS A FACTOR OF INCREASING ITS COMPETITIVENESS IN THE MILK MARKET

**Sergey M. Lyashko
Zinaida P. Medelyaeva**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The production of milk and dairy products in the region is largely determined by the efficiency of dairy cattle breeding in integrated formations that provide more than 40% of the total volume of raw milk. One of the largest integrated agroindustrial formations (IAIF) in Voronezh Oblast that specializes in milk production is ООО EkoNivaAgro with the dairy herd of more than 29 thousand heads. The performed research shows the profitability of the dairy industry with higher production and financial indicators in comparison with other producers and average regional data. However, increasing the competitiveness of IAIF in the dairy market requires improving the organization of innovative activities and identifying strategic directions that contribute to improving the efficiency of the industry in the future. The authors have defined the directions for innovative development in the field of milk production and processing, which will allow ООО EkoNivaAgro to consolidate its position in the market of milk and dairy products not only within the region, but also in the country with the access to the world market. The proposed directions for solving the problems of strategic development of the industry in IAIF include projects related to increasing the efficiency of milk production (productivity and quality of milk due to the modernization of the system of veterinary and livestock service), increasing the volume of processing and production of high-demand food products (e.g. baby food, cheeses), more

complete use of related products (milk serum for the production of lactulose and drinks), and implementation of innovative technologies for the disposal of by-products (production of bedding and biofuels). The outlined strategy will be achieved by implementing innovative and investment measures using a project-based approach, which is characterized by the establishment of certain stages in the implementation of a specific project, clarification of the ways of implementing the specified parameters at each stage based on the changes in external and internal conditions of the industry, the measurability of the final result, and the analysis of implementation of the approved budget for each stage.

KEYWORDS: production of milk and dairy products, milk processing, profitability, integrated agroindustrial formations, strategic development, innovative activity, innovation and investment measures, milk market.

Интегрированные агропромышленные объединения играют важную роль в экономике региона [9]. ООО «ЭкоНиваАгро» является одним из структурных формирований агрохолдинга ООО «ЭкоНива-АПК Холдинг», расположенных в Воронежской области и осуществляющих деятельность на территории Лискинского, Каменского, Бобровского и Каширского районов Воронежской области (общая площадь сельхозугодий по состоянию на 01.07.2020 составляет 147 000 га).

Имея в структуре более 30 животноводческих подразделений, 15 из которых представляют крупные молочные комплексы с технологией беспривязного содержания (общее поголовье КРС – около 80 000 голов, из них фуражных коров – 41 400), ИАПФ производит более 350 т молока ежедневно, что составляет 30% от общеобластного показателя. На предприятии отмечается стабильная динамика роста всех показателей по молочному скотоводству, определяющих основные производственно-экономические показатели предприятия в целом (см. табл.).

Высокие производственные показатели во многом определяются инновационностью развития отрасли. Важным показателем, определяющим себестоимость 1 ц, сумму прибыли, является продуктивность дойного стада, рост которой за последние годы обусловлен следующими факторами:

- усиленное внимание уделяется селекционной работе с красно-пёстрой и симментальской породами животных (в стаде племенные животные составляют 94%);
- кормление коров осуществляется сбалансированными по питательности кормовыми смесями, что способствует их лучшему усвоению и повышению качества производимой продукции;
- осуществляемый на предприятии контроль за содержанием племенных коров позволяет получать здоровое потомство для формирования здорового молочного стада.

Основные производственно-экономические показатели ООО «ЭкоНиваАгро»

Показатели	Годы							
	2007	2010	2011	2013	2014	2015	2017	2019
Выручка, млн руб.	367,3	762,9	1308,0	2805,8	3184,7	4934,2	6674,5	13105,0
в т. ч. от молока	98,6	320,1	553,1	1340,2	2173,5	2788,0	4725,4	9081,5
Себестоимость проданной продукции, млн руб.	275,4	814,9	1362,9	2619,7	2879,4	4347,9	5502,4	11116,1
в т. ч. молока	81,7	287,0	486,8	782,5	1266,1	1758,6	2222,8	5522,0
Прибыль/ убыток от продаж, млн руб.	31,9	-52,0	-54,9	185,3	280,3	540,7	1506,3	1988,9
в т. ч. от молока	16,9	33,1	66,3	127,1	501,3	660,0	1617,8	3559,5
Рентабельность (окупаемость) животноводства, %	5,7	(93,6)	(96,0)	7,1	10,8	7,2	29,1	16,0
в т. ч. молока	21,0	11,5	13,6	11,0	29,9	31,0	52,0	64,5
Полная себестоимость 1 ц молока, руб.	943	1357	1397	1673	1844	2197	1481	1774
Средняя цена реализации 1 ц, руб.	1138	1513	1588	2175	2416	2583	2608	2918

Источник: [2].

На предприятии не только высокая продуктивность дойного стада, но и высокие показатели жирности (3,9%) и содержания белка (более 3,2%). На молочных комплексах интегрированного формирования в основном используется скот симментальской, швицкой, голштинской, красно-пёстрой пород, проводятся попытки адаптации к условиям предприятия скота чёрно-пёстрой и герефордской пород. ООО «ЭкоНиваАгро» имеет собственный племенной завод по разведению скота симментальской породы и племенные репродукторы красно-пёстрой и голштинской пород [4].

Использование инновационных методов контроля физиологического состояния животных позволило обеспечить ритмичность отёлов и равномерность производства молока, что существенно повлияло на эффективность функционирования всей цепочки производства молочной продукции.

Для удержания позиций на рынке молочной продукции ИАПФ необходимо совершенствовать организацию инновационной деятельности, изыскивая для этого собственные источники и участвуя в различных государственных льготных программах, что позволит получать субсидии из федерального и регионального бюджетов [3, 5]. Таким образом, стратегия осуществления инновационной деятельности должна формироваться в контексте стратегии развития регионального АПК, что позволит участвовать в государственных программах поддержки [7].

Кроме государственной и региональной политики важным фактором развития является политика самих ИАПФ, формируемая ими самостоятельно, исходя из собственных интересов в обеспечении инновационной ориентации молочного скотоводства.

Организация инновационной деятельности в отрасли, на наш взгляд, должна включать:

- определение инновационных мероприятий в отрасли;
- выявление видов продукции, требующих поддержки государства (субсидирование процентных ставок, льготное кредитование и т. д.);
- поиск и внедрение достижений научно-технического прогресса;
- изучение и распространение передового опыта в производстве молока;
- стимулирование инновационных процессов в отрасли агрохолдинга со стороны руководства;
- определение эффективности от инновационных разработок.

Организация инновационной деятельности предполагает разработку инновационных проектов [1], по которым определены следующие инновационные направления.

1. Рациональное соотношение между поголовьем коров различных пород, которое будет способствовать обеспечению перерабатывающих производств молоком с разными показателями (сыропригодность, жирность, белок и т. д.).

2. Использование новых подходов к племенному делу:

- возможность скрещивания голштинской и красно-пёстрой пород с разной степенью кровности по голштинской породе с целью выведения скота, наиболее подходящего для получения сырья, используемого при производстве детского питания;
- определение рационального соотношения между использованием сексированного и обычного семени при осеменении телок;
- использование генетического тестирования, когда генетический сервис позволяет принимать правильные решения в вопросах воспроизводства поголовья;
- организация более полных информационно-аналитических исследований.

3. Инновационные технологии в ветеринарии:

- профилактика болезней, ранняя диагностика и лечение;
- использование комплекса тестирования CLARIFIDE® Plus для молочного скота голштинской породы.

4. Инновационные технологии в кормопроизводстве:

- повышение пищевой и биологической ценности гранулированных комбикормов за счёт использования пророщенных семян;
- увеличение доли сочных кормов для поголовья коров, предназначенных для получения молока с целью его переработки на производство детского питания;
- использование консерванта «СилАСС» при заготовке зелёных кормов для повышения их качества;
- включение в рационы лактирующих коров биологически активной добавки «Лактусил»;
- увеличение доли гороха в структуре кормов вместо сои за счёт его экструдации;
- повышение содержания витаминов, особенно каротина, в кормах за счёт производства витаминно-травяной муки;
- увеличение доли после экструдации ржи, высокоурожайной и более дешёвой (по сравнению с пшеницей).

5. Инновационные подходы к утилизации побочной продукции:

- использование технологии производства твёрдого органического удобрения методом ускоренного компостирования с применением биологических добавок, способного повышать урожайность сельскохозяйственных культур;
- производство биотоплива;
- производство подстилки на основе твёрдой фракции навоза.

Выбранная модель генерации всей продуктовой цепочки от производства молока и его глубокой переработки и доведения до конечного пользователя объективно обуславливает необходимость обоснования проекта по развитию перерабатывающих производств. В качестве наиболее перспективных направлений развития переработки молока предлагается производство детских белковых паст, продуктов из сыворотки и белкового концентрата. Формирование инновационно-ориентированной переработки молока должно осуществляться на основе разработки инновационных проектов (см. рис.).



Инновационные проекты, реализуемые при переработке молока

Рациональная организация инновационной деятельности должна основываться на инновационном менеджменте, планировании, мотивации и систематической оценке результатов инновационной деятельности. Планирование, являясь функцией инновационного менеджмента, должно включать в себя как систему действий по оценке факторов внешней и внутренней среды, так и обоснование расчётов по прогнозированию основных показателей инновационных проектов, которые согласуются с целями инновационной стратегии. При стратегическом планировании основных параметров инновационного развития ИАПФ в целом должен быть единый методический подход ко всем участникам, предполагающий наличие общей системы управления, единой логической и организационной методики планирования для всех структурных подразделений.

Исходя из общей стратегии определяются направления инновационной деятельности с установлением целей по каждому из них. Постановка цели одновременно должна определять результат от внедрения конкретной инновации. Выполнение поставленной цели сопровождается разработкой плана (оперативного, краткосрочного, долгосрочного) в зависимости от периода освоения запланированной инновации. Позволяя определить сроки и способы внедрения инноваций, планирование помогает реализовать цели инновационных направлений и в целом инновационную стратегию ИАПФ.

Планирование инновационных проектов сопровождается обоснованными расчётами как по требуемым ресурсам, так и по прогнозируемому результату. Правильно составленный план помогает:

- согласовать цели всех участников на последовательное решение инновационной стратегии;
- координировать деятельность всех участников инновационного процесса;
- подготавливать управленческие решения;
- проводить анализ возникающих проблем, отклонений от плановых показателей;
- сравнивать альтернативные действия и выбирать наиболее эффективные решения;
- проводить экономическое обоснование с учётом вносимых изменений;
- мотивировать участников инновационного проекта.

В большинстве случаев успешное выполнение планов сопровождается стимулированием.

Планирование инновационного развития должно базироваться на тенденциях научно-технического развития, экономической ситуации, так как основано на использовании норм, нормативов, определяемых уровнем цен на ресурсы.

Реализация намеченной стратегии и разработанного стратегического плана может быть осуществлена в рамках проектно-планового или программного методических подходов, отличающихся определением конечной цели и способов реализации [10]. Оба подхода характеризуются точными целями, измеримостью конечного результата, установлением сроков, определением бюджетов для выполнения намеченной цели. Нами уточняется и предлагается при реализации инновационной стратегии в интегрированном формировании использование проектного подхода, который в отличие от других не всегда предусматривает выполнение долгосрочной стратегии в точно определённом виде при её первоначальной разработке. Проектный подход основан на определении этапов реализации, уточнении задач и плана действий следующего этапа после завершения предыдущего с учётом изменяющихся ситуаций на макро-, мезо- и микроуровнях, а также исключает невыполнение первоначально обозначенной цели, которая подлежит корректировке из-за изменяющихся условий, но всегда приводит к её достижению, хотя и с определёнными отклонениями, учитывая реальные проблемы и возможности на этапах реализации проекта. Проектная методика обоснования и планирования инновационных проектов должна предусматривать: оперативный анализ внешней среды, конкретную цель и измеримость конечного результата, учёт всех сторон деятельности ИАПФ, установление чётких сроков выполнения работ по каждому этапу, выполнение работ в соответствии с разработанными бюджетами, оперативный анализ за ходом выполнения бюджета [2, 8].

Важно не только осуществлять инвестиции, связанные с инновационной деятельностью, но и определять их эффективность, в т. ч. в условиях интегрированного формирования, отдавая предпочтения повышению эффективности только формирования в целом или учитывая полученный эффект каждой отрасли.

На практике имеют место несколько методических подходов к оценке эффективности инвестиций по инновационным проектам. Так, в региональной концепции при определении экономической эффективности в основе заложены балльная оценка и сравнение развития инновационных отраслей области с аналогичными показателями анализируемой отрасли региона или других областей ЦЧР. Формула выражается следующим образом:

$$Б = ИРО_k / ИРО_{i,k}, \quad (1)$$

где Б – балльная оценка;

ИРО_k – уровень инновационного развития Воронежской области;

ИРО_{i,k} – уровень инновационного развития отрасли *i* в год *k* [6].

Оценка инновационного развития выражается в баллах от 0 до 100, что, на взгляд некоторых специалистов, имеет определённый субъективизм.

Дополнительными критериями, характеризующими эффективность вложений в инновационную сферу, являются:

- отношение дополнительного валового регионального продукта, полученного после осуществления инвестиций, к затратам;
- отношение дополнительных налоговых отчислений в бюджеты всех уровней к затратам.

В этой концепции показатели эффективности инновационного проекта представлены как:

- абсолютные – это разница между совокупными затратами и результатами;
- относительные – отношение определённых стоимостных оценок результатов проекта к совокупным затратам на их получение;
- временные – определяющие срок окупаемости инвестиционных затрат.

Данные показатели рассчитываются чаще всего по временной направленности:

- статические, где определяется показатель прибыли без учёта фактора времени;
- динамические, при расчёте которых применяется дисконтирование, т. е. приведение будущих поступлений на момент оценки с учётом фактора времени и риска.

Статические показатели эффективности менее точны и используются для быстрой и приближенной оценки проекта. Это: суммарная прибыль, среднегодовая прибыль, точка безубыточности, рентабельность инвестированного капитала, рентабельность производства, период окупаемости инвестиций.

В условиях агрохолдинга в реализации проекта принимают, как правило, несколько участников. При этом важно определить как общий эффект, так и эффект отдельного участника, входящего в общую систему распределения интегрального эффекта. На практике известны два метода распределения интегрального экономического эффекта.

Первый метод предполагает отдельный расчёт величины чистого дисконтированного дохода для каждого из участников по формуле

$$\mathcal{E}_i = \sum_{t=0}^T \cdot (R_{it} - Z_{it}) \cdot a_t, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}_i$ – величина интегрального экономического эффекта, приходящегося на долю *i*-го участника проекта;

T – горизонт расчёта;

R_{it} – результаты, приходящиеся на долю *i*-го участника проекта на *t*-м шаге расчёта;

Z_{it} – затраты, осуществляемые *i*-м участником проекта на *t*-м шаге расчёта;

a_t – коэффициент дисконтирования.

Формулой (2) можно воспользоваться в том случае, когда имеется возможность определить результаты, приходящиеся на долю отдельных участников, т. е. в случае, когда участник выполняет конкретный законченный этап работ, имеющий определяемую стоимостную оценку.

Второй метод применяется, когда нет возможности выделить результат, приходящийся на конкретного участника проекта. При этом используется способ распределения, основанный на расчётах коэффициентов долевого участия. В этом случае коэффициенты долевого участия для i -го участника проекта можно определить по формуле

$$k_{di} = k_{tbi} \cdot (Z_i - Z_{pri}) / \sum_{n=0}^n k_{tbi} \cdot (Z_i - Z_{pri}), \quad (3)$$

где k_{tbi} – коэффициент, характеризующий сложность работ i -го участника проекта;

Z_i – затраты i -го участника проекта;

Z_{pri} – затраты участников проекта, выполнявших работы на предыдущих этапах, результаты которых использованы i -м участником при выполнении своего этапа работ;

n – количество организаций-участников проекта.

Экономический эффект, приходящийся на долю i -й организации, определяется по формуле

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{\text{общ.}} \cdot k_{di}, \quad (4)$$

где $\mathcal{E}_{\text{общ.}}$ – общая величина экономического эффекта.

В рассматриваемом агрохолдинге основными исполнителями инновационных проектов будут отрасль молочного скотоводства и молочный завод, которые в соответствии с планом получают большую часть инвестиций.

Для обоснования эффективности участия в проекте планируются результат, капитальные вложения и затраты без учёта капитальных вложений по предприятиям-участникам проекта. Эффект от партнёрства в экономической системе определяется увеличением как доходов в абсолютном значении, так и повышением доходности. Синергетический эффект можно выразить обобщённой формулой

$$\mathcal{E}_n = f(P_b + P_d + Z + I + N), \quad (5)$$

где P_b – рост прибыли за счёт расширения масштабов деятельности;

P_d – рост прибыли за счёт диверсификации деятельности;

Z – экономия текущих издержек;

I – дополнительные инвестиции;

N – оптимизация налогообложения.

Следует определять не только эффективность инновационных проектов, но и эффективность деятельности ИАПФ, использующего инновации, в целом, которая выражается через систему экономических и финансовых показателей, определяемых как абсолютными, так и относительными значениями (рентабельность основных средств, производительность труда, рентабельность собственного и заёмного капитала, рентабельность реализации продукции, показатели устойчивости и ликвидности предприятия). При этом инновации должны носить постоянный характер, отличаться комплексностью, охватывать не только производственную, но и организационную, и социальную сферы предприятия и кроме экономической эффективности обеспечивать научно-технический, социальный и экологический эффекты.

Библиографический список

1. Гусев А.Ю. Анализ и управление инвестициями : учеб. пособие / А.Ю. Гусев, Н.Н. Голубев, М.П. Кудашев, И.В. Ларкина ; под общ. ред. Н.Н. Голубева. – Рязань : Изд-во Рязанского ин-та открытого образования, 2007. – 236 с.
2. Годовые отчеты ООО «ЭкоНиваАгро» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.audit-it.ru/buh_otchet/5032070546_ooo-ekonivaagro (дата обращения: 05.10.2020).
3. Грудкина Т.А. Конкурентоспособность субъектов молочного агробизнеса: оценка, стратегия повышения / Т.И. Грудкина // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2018. – № 10. – С. 95–102.
4. Ляшко С.М. Инновационное развитие отрасли молочного скотоводства в ООО «ЭкоНиваАгро» Лискинского района Воронежской области / С.М. Ляшко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 1 (60). – 2019. – С. 153–160.
5. Ляшко С.М. Субсидии: новые принципы и подходы в АПК / С.М. Ляшко, С.А. Голикова, З.П. Медеяева // Вестник Мичуринского ГАУ. – 2017. – № 2. – С. 95–101.
6. Об утверждении концепции инновационной политики Воронежской области на 2016–2020 гг. : Постановление Правительства Воронежской области от 9 декабря 2015 года № 960 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/432814548> (дата обращения: 04.10.2020).
7. О государственной (областной) поддержке инвестиционной деятельности на территории Воронежской области (с изменениями на 13 сентября 2019 г.) : Закон Воронежской области от 07 июля 2006 г. № 67-ОЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/802066596> (дата обращения: 05.10.2020).
8. Терновых В.К. Бюджетирование в системе управленческого учета в интегрированных объединениях аграрной сферы : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.13 / В.К. Терновых. – Воронеж, 2005. – 187 с.
9. Терновых К.С. Развитие интегрированных агропромышленных формирований в регионе / К.С. Терновых, А.А. Плякина // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2016. – № 4 – С. 23–26.
10. Управление развитием: проектно-плановый и программный подходы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/3_163296_upravlenie-razvitiem-proektno-planoviy-i-programmnyy-podhodi.html (дата обращения: 17.10.2020).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Принадлежность к организации

Сергей Михайлович Ляшко – старший преподаватель кафедры экономики АПК ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: sergey.liashko@ekoniva-apk.com.

Зинаида Петровна Медеяева – доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой экономики АПК ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: medelaeva@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 16.11.2020

Дата принятия к печати 26.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS
Affiliations

Sergey M. Lyashko, Senior Lecturer, the Dept. of Economics in Agro-Industrial Complex, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: sergey.liashko@ekoniva-apk.com.

Zinaida P. Medelyaeva, Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Dept. of Economics in Agro-Industrial Complex, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: medelaeva@mail.ru.

Received November 16, 2020

Accepted after revision December 26, 2020

РАЗВИТИЕ МОЛОЧНОГО СКОТОВОДСТВА В МАЛЫХ ФОРМАХ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Иван Михайлович Сурков

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Представлен анализ состояния молочного скотоводства в малых формах хозяйствования Воронежской области. Отмечены катастрофический спад поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах населения и падение объёмов производства молока, снижение удельного веса этого сектора экономики в общем производстве молока. С 2011 по 2019 г. поголовье КРС и коров в хозяйствах населения Воронежской области сократилось соответственно на 29,7 и 29,6 тыс. гол., или на 20,0 и 43,6%. Удельный вес хозяйств населения в производстве продукции сельского хозяйства в 2018 г. составил 29%, причём по сравнению с 2010 г. он снизился на 25 п.п. Удельный вес фермерских хозяйств в производстве продукции животноводства составил 2,4%, при этом в производстве молока и мяса – соответственно 4,7 и 1,3%. Выявлены причины сложившейся тенденции в развитии хозяйств населения, а именно: недостаток денежных средств (35,4%), низкие цены на сельхозпродукцию и трудности сбыта (25,5%), низкий уровень эффективности мер господдержки (16,26%), трудности в заготовке кормов (22,67%). Снижение поголовья скота влечёт за собой долгосрочные отрицательные изменения в развитии сельского хозяйства и сельской территории. Из-за недостаточной численности поголовья КРС в области не используется 169 тыс. га сельхозугодий, в основном это пастбища и сенокосы. По этой же причине часть земли, принадлежащей хозяйствам населения, заброшена: площадь заброшенных участков по области составляет 13 тыс. га, или 7,2%. Показаны отрицательные последствия «очагового» развития животноводства за счёт концентрации поголовья на мегафермах агрохолдингов. Предложены меры по выходу из сложившейся ситуации: кооперирование путём создания малых кооперативов в животноводстве; оказание господдержки малым формам хозяйствования и др.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: молочное животноводство, поголовье КРС, хозяйства населения (личные подсобные хозяйства), крестьянские (фермерские) хозяйства, производственные кооперативы.

DEVELOPMENT OF DAIRY CATTLE BREEDING IN SMALL-SCALE ENTERPRISES OF VORONEZH OBLAST

Ivan M. Surkov

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The author presents the analysis of state of dairy cattle breeding in small-scale enterprises of Voronezh Oblast. A catastrophic decline has been noted in cattle population in private subsidiary farms, as well as a downfall in the volume of milk production and a decrease in the share of this sector of economy in total milk production. From 2011 to 2019 the population of cattle and cows in households of Voronezh Oblast decreased by 29.7 and 29.6 thousand heads, respectively, which equals to 20.0 and 43.6%. The share of households in the production of agricultural products in 2018 was 29% and decreased by 25 percentage points compared to 2010. The share of farm enterprises in the production of livestock products was 2.4%, including 4.7% in the production of milk and 1.3% in the production of meat. The author has identified the reasons for the current trend in the development of households, namely: lack of cash (35.4%), low prices for agricultural products and sales difficulties (25.5%), low efficiency of state support measures (16.26%), and difficulties in procurement of fodder (22.67%). The decline in livestock population entails long-term negative changes in the development of agriculture and rural territories. Due to the insufficient cattle population in the Oblast 169 thousand hectares of farmland (mainly pastures and hayfields) remain unused. For the same reason, part of the land belonging to private subsidiary farms is abandoned; the area of abandoned plots in the Oblast is 13 thousand hectares, or 7.2%. The author has shown the negative consequences of "focal" development of animal husbandry due to the concentration of livestock in mega-farms of agricultural holdings. Measures have been proposed to overcome the current situation, e.g. cooperation by creating small cooperatives in animal husbandry, state support for small-scale enterprises, etc.

KEYWORDS: dairy cattle breeding, cattle population, households (private subsidiary farms), peasant farm enterprises, production cooperatives.

Молочное скотоводство является одной из основополагающих отраслей сельского хозяйства. Потребляя растительный корм с лугов и пастбищ и частично с пашни, сельскохозяйственные животные дают такой продовольственный продукт, как молоко, необходимый для широких масс населения. В настоящее время больший объём молока (53%) производится в крупных сельскохозяйственных предприятиях, но значим ещё вклад малых форм хозяйствования в его общее производство. Так, в 2019 г. хозяйства населения России произвели 38,9% молока, а крестьянские (фермерские) хозяйства – 8,1%.

Потребность в развитии молочного производства в малых формах хозяйствования [2, 10, 11] определяется также тем, что на сегодня внутренний потребительский рынок молока в России обеспечен только на 81,5% против 83% целевого показателя госпрограммы развития сельского хозяйства и 90% в сравнении с Доктриной продовольственной безопасности страны [8, 9]. Между тем количество субъектов малого предпринимательства, развивающих отрасли животноводства, в последние десятилетия неизменно сокращается. Так, по данным Всероссийских сельскохозяйственных переписей, в Российской Федерации доля хозяйств населения, содержащих крупный рогатый скот, сократилась с 23,6% в 2006 г. до 12,0% в 2016 г., а снижение поголовья КРС в хозяйствах населения составило 2746 тыс. гол. [6, 7].

Аналогичные процессы развития скотоводства отмечены и в хозяйствах населения Воронежской области: с 2011 по 2019 г. поголовье КРС сократилось на 29,7 тыс. гол., или на 20%, а поголовье коров – на 29,6 тыс. гол., или на 43,6%. В то же время в крестьянских (фермерских) хозяйствах поголовье КРС возросло на 29,4 тыс. гол., в том числе коров – на 13 тыс. гол. [6].

Удельный вес хозяйств населения в производстве молока и мяса КРС составлял соответственно: в 1990 г. – 20,7 и 10,6%, в 2018 г. – 23,5 и 44,2%.

Как следует из приведённых данных, ведущая роль в производстве этих продуктов по-прежнему принадлежит крупным хозяйствам, хотя в производстве говядины произошёл существенный рост удельного веса хозяйств населения.

Скотоводство относится к тем отраслям аграрного сектора Российской Федерации, кризис развития которых ещё не преодолен, несмотря на значительный рост объёмов государственной поддержки. Наиболее ярко кризис развития отрасли отражает динамика показателей объёмов производства продукции скотоводства в расчёте на душу населения (см. табл.).

Производство продукции скотоводства на душу населения в РФ и областях Центрального Черноземья, кг

РФ и области ЦЧР	1990 г.	В среднем за год в периоде					2018 г.	2018 г. к 1990 г., %
		1991 – 1995 гг.	1996 – 2000 гг.	2001 – 2005 гг.	2006 – 2010 гг.	2011 – 2015 гг.		
Произведено молока								
РФ	376,5	305,9	227,4	224,7	224,2	215,3	208,5	55,4
Белгородская область	735,7	587,1	418,5	407,1	366,0	352,1	402,8	54,7
Воронежская область	605,8	444,3	321,6	305,7	278,0	326,2	388,2	64,1
Курская область	723,1	557,7	374,1	346,8	345,8	318,1	260,9	36,1
Липецкая область	581,2	451,7	314,2	305,8	256,5	226,6	243,6	41,9
Тамбовская область	609,5	462,6	277,1	257,7	236,6	206,7	191,1	31,3
Произведено мяса КРС на убой в убойном весе								
РФ	29,3	22,8	15,0	13,3	12,1	11,2	11,0	37,4
Белгородская область	60,2	44,5	29,3	27,3	20,8	13,8	13,2	21,9
Воронежская область	46,4	32,6	20,9	21,0	17,2	20,6	24,7	53,1
Курская область	50,5	37,5	24,9	19,8	16,8	13,6	14,5	28,7
Липецкая область	46,5	34,7	22,5	20,4	16,2	12,5	10,7	23,1
Тамбовская область	53,3	39,5	24,7	20,4	20,7	15,7	11,5	21,6

Источник: составлено автором по данным [12, 13].

В 2018 г. в Российской Федерации хозяйствами всех категорий было произведено в расчёте на душу населения всего 208,5 кг молока и 11 кг мяса КРС (в убойном весе) при фактическом потреблении 229 кг молока и молокопродуктов и около 15 кг говядины и продуктов её переработки (рекомендованные нормы потребления данных продуктов питания составляют соответственно 340 и 25 кг).

В Воронежской области в 2018 г. производство молока на душу населения было выше среднероссийского уровня. По пятилеткам наблюдается неустойчивый рост, но уровень 1990 г. и средний по пятилетке 1991–1995 гг. ещё не достигнут и составлял в 2018 г. всего 64% от уровня 1990 г. Производство мяса КРС в убойном весе также было выше среднероссийского уровня и составляло 53,1% к уровню 1990 г.

Однако по объёмам производства животноводческой продукции Воронежская область занимает в ЦФО передовые позиции, а по производству молока стоит на первом месте среди 17 областей округа. Это достижение – несомненная заслуга администрации области, выделившей значительные средства на закупку за границей породного скота, постройку крупных животноводческих комплексов и определившей правильное направление развития животноводства.

Начавшийся с 2010 г. рост производства продукции животноводства происходит за счёт ввода в строй крупных животноводческих предприятий по производству молока и мяса в районах области (Аннинском, Лискинском, Бобровском, Рамонском и др.). Так, прирост производства молока и мяса в крупных сельскохозяйственных организациях в 2018 г. по отношению к 2010 г. составил соответственно 330,6 и 280,6 тыс. т, в крестьянских (фермерских) хозяйствах – 19,8 и 1,6 тыс. т, в то время как в хозяйствах населения производство молока и мяса снизилось на 128,9 и 53,6 тыс. т. [13].

Удельный вес хозяйств населения в производстве продукции сельского хозяйства в 2018 г. составил 29%, причём по сравнению с 2010 г. он снизился с 54,6 до 29,1%, то есть упал на 25 п.п. Удельный вес фермерских хозяйств в производстве продукции сельского хозяйства составил 11,3%, в производстве продукции животноводства 2,4%, в производстве молока – 4,7%, мяса – 1,3%.

Таким образом, ставка реформаторов на фермерские хозяйства и хозяйства населения не оправдалась, как об этом предупреждали многие экономисты. И все же сбрасывать со счетов эти два сектора не следует, так как рынок молока и мяса ещё далёк от насыщения. В 2018 г. ввоз молока в область, включая импорт, составил 323 тыс. т, ввоз мяса – 120,1 тыс. т. [13]. Учитывая вышеизложенное, необходимо разобраться в причинах снижения объёмов производства в хозяйствах населения и медленного роста продукции животноводства в фермерских хозяйствах.

За период 2010–2015 гг. сотрудниками научно-исследовательских институтов, высших учебных заведений проводились социологические исследования, включавшие анкетные опросы глав различных категорий хозяйств областей Центрального Черноземья [4, 14, 15]. Вопросы, включённые в анкеты, касались как производственной сферы АПК, так и различных сфер жизнедеятельности хозяйств населения (ЛПХ). Результаты проведённых исследований отражают степень удовлетворённости сельских жителей той или иной формой их жизни.

По данным опроса, проведённого в Панинском районе Воронежской области в 2015 г., сельских жителей не удовлетворяло транспортное обеспечение (47,6%), бытовое обслуживание (39,3%), уровень медицинского обслуживания (49,6%), размер заработной платы (42,3%), материальное положение семьи (37,6%), политико-экономическая ситуация в стране (42,3%) при довольно высоком проценте затруднившихся ответить. Что касается реализации продукции, то здесь на первый план вышли низкие закупочные цены (23,6%), удалённость от места реализации (13,1%), отсутствие стабильного спроса (13,1%), высокая конкуренция (7,6%) [14].

Среди причин, препятствовавших расширению производства в хозяйствах населения, названы следующие: отсутствие денежных средств (35,4%), низкие цены на производимую продукцию (25,5%), недостаточный уровень государственной поддержки (16,2%), нехватка средств механизации (15,8%). Все вышеприведённые причины свидетельствовали о необходимости создания кооперативов: 50,6% опрошенных хотели бы вступить в кооператив. Большинство глав домохозяйств (23,4%) хотели бы вступить в кооператив по производству молока, 15,7% – по производству мяса КРС, 9,4% – по производству племенного молодняка КРС. Основными препятствиями для вступления в кооперативы опрошенные указали недостаточную поддержку государства (42,5%), недостаток денежных средств и недоверие к государству (19,6%).

Анкетный опрос позволил раскрыть глубинные причины снижения поголовья крупного рогатого скота в хозяйствах населения. Данные сельскохозяйственных переписей показывают, что поголовье крупного рогатого скота в хозяйствах населения уменьшается катастрофически. Например, поголовье КРС за период с 2011 по 2019 г. снизилось с 148,5 до 118,8 тыс. гол., в том числе коров – с 67,9 до 38,3 тыс. гол. За этот же период поголовье свиней сократилось до 28,1 тыс. гол., или в 8 раз [6].

Данные переписи 2016 г. по районам области свидетельствуют о том, что количество хозяйств населения по сравнению с 2006 г. уменьшилось. По области числилось 46 тыс. хозяйств населения и других индивидуальных хозяйств с заброшенными земельными участками и пустующими домами. Только 30% от их общего числа имели крупный рогатый скот в количестве 118,8 тыс. гол. Анализ динамики поголовья коров в районах Воронежской области показал, что в 12 районах из 32 насчитывалось до тысячи голов коров на район, в 18 районах – до двух тысяч и только в двух районах (Богучарском и Воробьёвском) – свыше двух тыс. голов.

Тысяча коров на район из 20–30 населённых пунктов, из которых половина – это крупные сёла, означает не больше тридцати-сорока голов на село, где проживает больше тысячи человек населения в каждом. Это средние данные. А есть поселения, поголовье коров в которых исчисляется единицами. При таком положении вряд ли удастся отведать деревенского молочка там, где его раньше предлагали пить вместо воды любому желающему напиться. Вот и приходится селянам покупать порошковое пастеризованное 2,5-процентное молоко в пакетах.

Фактически идёт недобросовестная конкуренция – монополистический захват рынка и давление на него со стороны крупных компаний при мизерном участии фермерских хозяйств. Торговля привозным молоком в магазинах и с колёс отучила крестьянина держать корову в хозяйстве. Зачем трудиться, заморачиваться, когда молоко можно купить в автолавке у порога своего дома. Фактически в деревне идёт процесс раскрестьянивания. Это одна из внешних причин уменьшения поголовья коров в хозяйствах населения, и она не единственная.

Вторая причина – старение сельского населения и связанные с этим трудности заготовки кормов. Пожилым людям трудно заготовить десять возов сена и соломы корове на зиму, трудно привезти эти корма с поля. Сложнее стало нанять пастуха в селе, где осталось всего два-три десятка коров, рассредоточенных по домам, которые расположены далеко друг от друга (на протяжении 3–4 километров сельской застройки).

Снижение поголовья скота влечёт за собой долгосрочные отрицательные изменения в развитии сельского хозяйства и сельской территории.

Из-за недостаточного количества крупного рогатого скота в области не используется 169 тыс. га сельхозугодий. Главная их часть – пастбища и сенокосы. По этой же причине часть земли, принадлежащей хозяйствам населения, заброшена. Площадь заброшенных участков по области составляет 13 тыс. га, или 7,2%. Особенно высок процент заброшенных земель в Таловском районе – 21,1%, Бобровском – 20,7%, Грибановском – 20,1% [5].

Концентрация поголовья КРС на мегафермах крупных предприятий препятствует равномерному и повсеместному внесению органики на поля. Вокруг них возможно внесение в землю навоза, а на остальной громадной территории области, где ликвидированы фермы, никакого внесения нет. Чтобы вносить навоз в потребном количестве (6–8 т на 1 га пашни), необходимо повсеместно иметь фермы, соблюдать севообороты (навоз вносится в чистый пар), специальные мехотряды по внесению органики.

Наукой и практикой давно доказано, что без внесения органики невозможно восстановить утраченное плодородие почвы. Именно утраченное, поскольку с урожаем в течение длительного времени ежегодно выносятся питательные вещества из почвы, нарушается баланс между расходными и приходными статьями органической части почв, уменьшается содержание гумуса, происходит агрофизическая и биологическая деградация чернозёмов. Об этой деградации почв уже давно бьют тревогу почвоведы и агрономы, другие специалисты и руководители сельского хозяйства. По данным агрохимцентра Воронежской области, средневзвешенное содержание гумуса в почвах районов области в 1991–1995 гг. составляло 5,64%. В последние годы такие обследования не проводились, и следует ожидать ещё более низкого содержания гумуса в почвах области. Применение минеральных удобрений только усиливает этот процесс. В нашей зоне усиливается смываемость и деградация чернозёмов.

Отрицательную роль в снижении былой мощи чернозёмов сыграл человек, его отношение к земле, к хозяйствованию на ней, в том числе и катастрофическое снижение поголовья крупного рогатого скота и связанное с ним уменьшение внесения органики в почву. Вот почему в народе сложилось мудрое мнение: корова – основа жизни, она – вторая мать.

Это пример прямого экономического ущерба, а кто посчитал ущерб социальный? Например, отрицательное влияние на воспитание у детей любви к сельскому хозяйству. Сельский ребенок с малых лет приучается помогать родителям по уходу за животными, пасти скот, гусей и т. п. Как можно воспитать будущего крестьянина, если он в детстве и юности не видел на своём дворе животных?

Из-за снижения поголовья животных в годы перехода к рынку были потеряны десятки тысяч рабочих мест, что не могло не вызвать отток рабочей силы из села наряду с другими причинами. Как же создать хотя бы часть новых рабочих мест в условиях, когда одни фермы давно разрушены, а другие не используются по назначению, продолжая разваливаться? Выход видится в создании малых производственных кооперативов в животноводстве, прежде всего в молочной отрасли. Для создания таких кооперативов не требуется крупных капитальных вложений, поэтому их проще организовать. Коровы могут содержаться на подворьях членов кооператива, которым придётся сложиться и потратиться на покупку трактора, косилки, пресс-подборщика. Часть этой техники может быть в наличии у некоторых членов кооператива. Смысл создания кооператива в том, чтобы обеспечить заготовку кормов для коров пожилых крестьян.

На развитие сельских территорий направлена федеральная целевая программа «Устойчивое развитие сельских территорий на 2014–2017 годы и на период до 2020 года» [17]. К сожалению, её реализация охватывала лишь незначительную часть сельских поселений: по России в ней участвовало только 28,8% сельских поселений и 4,9% сельских населённых пунктов, в Центральном федеральном округе – соответственно 23,6 и 2%.

Однако без участия государства, без социального партнёрства с местными предпринимателями, без гражданской инициативы проблемы не решить. Недостаточно помощи только сельскому хозяйству, так как помощь, направленная на развитие отрасли, не решает проблем сельских территорий.

Требуется помощь государства для предотвращения дальнейшего разрушения социальной и инженерной инфраструктуры села, необходимо принять меры по дальнейшему развитию дорожной сети, развитию электрификации, газификации и телефонизации села, водоснабжению сельских поселений, повышению доступности медицинского обслуживания и общего образования.

Деревню от обезлюдивания спасёт развитие малых форм хозяйствования на основе кооперирования с потребительской кооперацией, предприятиями переработки, крупными действующими предприятиями, у которых отлажены каналы реализации молока, мяса, овощей, картофеля, фруктов и т. п. Поможет закреплению рабочей силы на селе развитие промыслов, предприятий переработки сельской продукции (пекарни, сыроварни, маслобойни).

Развитие животноводческих кооперативов не противоречит государственной программе развития крупных агрохолдингов с их мегафермами, а дополняет её. Увеличение объёмов производства животноводческой продукции за счёт ввода в действие новых крупных предприятий требует огромных капиталовложений, которые в условиях периодических кризисов в экономике и сложного международного положения страны получить из бюджета очень сложно.

К тому же агрохолдинги, используя огромные средства из федерального и региональных бюджетов при их создании, получая огромные дешёвые кредиты, не участвуют в развитии сельских территорий, нередко задерживают зарплату своим работникам. Самым наглядным примером является холдинг «ЭкоНива-АПК», руководит которым Штефан Дюрр. Этот холдинг с главным офисом в Воронеже имеет 524 тыс. га земли в 12 регионах России, его стоимость в 2018 г. аналитики журнала Forbes оценивали в 16,2 млрд руб. (примерно 230 млн евро), назвав крупнейшим в стране производителем молока. При этом в прессе появляются другие публикации, характеризующие положение дел в этом агрохолдинге. Журналист Алексей Бобровский в статье, опубликованной в газете The Moscow Post 22 января 2020 г., приводит данные, свидетельствующие о том, что задолженность по зарплате в 2018 г. составила 322 млн руб., что также следует и из годового отчёта, находящегося в открытом доступе [1]. О том, что зарплату задерживают или выплачивают не в полном объёме, пишут в СМИ рабочие сельхозпредприятий этого холдинга, расположенных в сёлах Лискинского района Воронежской области. В годовом отчёте за 2018 г. можно обнаружить, что суммарные долги холдинга составляют гигантскую сумму в 1 млрд евро, то есть в четыре с лишним раза превысили стоимость активов холдинга! Коэффициент DEBT/EBITDA (отношение долговой нагрузки к прибыли до налогообложения) – ключевой индикатор «здоровья» бизнеса – по холдингу приблизился к 9 (в мировой практике значение этого коэффициента, равное 4–5, уже считается критическим). И тем не менее Ш. Дюрр продолжает скупать земли и новые предприятия и кредитоваться в банках. Эта бизнес-стратегия имеет все признаки «пирамиды». Кредиты берутся под покупку новых активов и для выплат текущих долгов. Холдинг будет оставаться на плаву до тех пор, пока имеет возможность получать новые кредиты. Однако в том случае, если банки прекратят кредитовать холдинг, он может обанкротиться в считанные дни. Экономисты-аналитики серьёзно опасаются, что закредитованная «пирамида» Дюрра может в любой момент рухнуть, погребя под собой десятки поглощённых по всей России хозяйств.

Что касается малых форм хозяйствования, то они могут развиваться и способствовать пропорциональному росту экономики и стабилизации структуры производства продукции в сельхозорганизациях различных организационно-правовых форм. В связи с этим возрастает роль государства в косвенном регулировании социально-экономических процессов на селе. Как известно, некоторые сферы сельскохозяйственного производства не могут быть эффективно освоены крупными формированиями из-за особенностей региональных рынков, поэтому хозяйства населения могут ориентироваться на специфические виды деятельности (выращивание грибов, ягод, перепелов, цесарок, экологический туризм и др.).

Малые формы хозяйствования не только лучше используют луга, пастбища, но и позволяют сохранить деревенский образ жизни. Поддержание кооперативов и промыслов не требует больших капиталовложений. Роль государства заключается в выборе наиболее целесообразных форм кооперации малых форм хозяйствования с крупными, то есть в создании социально ориентированных кластеров на селе. Для формирования кластеров требуется инициатива органов власти. Без их организующей роли развитие кооперативных связей в сложившейся ситуации практически невозможно. Необходимы согласованные действия всех органов власти, управляющих сельским развитием, распределение между ними полномочий и ответственности.

Существующая модель управления сельским развитием носит преимущественно отраслевой характер [3, 16]. Для повышения её эффективности целесообразно инициировать переход на территориальную модель управления сельским развитием, для чего необходимо обеспечить развитие института местного самоуправления на селе. Вследствие централизованного характера межбюджетных отношений и недостаточного развития сельской экономики в бюджетах большинства сельских поселений не предусматриваются средства на социально-экономическое развитие территорий, а часто средств не хватает даже на поддержание существующей социальной и инженерной инфраструктуры. Надо возложить ответственность за развитие районов на их руководителей. Развитие местной промышленности, ввод земель в севооборот, прирост населения, устойчивое развитие каждого сельского поселения – вот основные критерии для оценки их работы.

Для обеспечения высокого уровня товарности хозяйств населения необходимо создать соответствующую ресурсную базу. Следует повысить уровень материально-технического обеспечения, облегчить доступ к кредитным ресурсам, создать эффективную систему информационной поддержки с оказанием консультационных услуг. Кроме того, следует обратить внимание на то, что значительная часть сельского населения трудоспособного возраста, занимающегося сельскохозяйственным трудом, практически лишена каких-либо социальных гарантий: не решены вопросы пенсионного обеспечения, медицинского страхования и др. Поэтому необходима разработка системы мер социальной защиты этой части населения.

Где же найти средства для развития сельских территорий? Ответов на этот вопрос немало. Например, давно (и в обществе отчётливо это понимают) настала пора ввести прогрессивный налог на доходы физических лиц, а полученные средства направлять на первоочередные социальные нужды, в том числе и на развитие села. Это было бы справедливое решение, поскольку в настоящее время доходы 10% самых богатых превышают доходы самых бедных в России в 16 раз, по Воронежской области – в 15,5 раза и в динамике по годам эта разница растёт. Для сравнения: в СССР разрыв был 4–4,5 раза.

Для устойчивого развития сельских территорий следует:

- пересмотреть существующую практику предоставления кредитов сельхозтоваропроизводителям, снизив высокие процентные ставки по кредитам;
- устранить диспаритет цен на сельскохозяйственную и промышленную продукцию;
- воссоздать сортоиспытательные станции и племобъединения;
- активизировать работу с сохранившимся трудоспособным населением в сёлах, где ликвидировано производство, через привлечение его в разного рода кооперативы;
- ввести в практику экономические и социальные преференции семейно-трудовым хозяйствам в виде бесплатного предоставления элитного молодняка крупного рогатого скота, леса и пиломатериалов на ремонт и новое строительство;
- организовать сдачу продукции государству по гарантированным и стимулирующим ценам.

Реализовать вышеприведённые и другие мероприятия можно при повышении внимания государства к проблемам села, при отчислении на поддержку агропрома не менее 10% бюджетных расходов. Развитое село – это благополучная и сытая Россия.

Библиографический список

1. Бобровский А. Как «ЭкоНива» доит российский агропром / А. Бобровский // The Moscow Post [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.moscow-post.ru/economics/kak_ekoniva_doit_rossijskij_agroprom31645/ (дата обращения: 20.05.2020).
2. Гражданский кодекс Российской Федерации. Часть первая от 30 ноября 1994 г. № 51-ФЗ, часть вторая от 26 января 1996 г.; № 14-ФЗ; часть третья от 26 ноября 2001 г. № 146-ФЗ; часть четвертая от 18 декабря 2006 г. № 230-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_9027/ (дата обращения: 20.05.2020).
3. Грудкин А. Обеспечить эффективную реализацию подпрограммы развития молочного скотоводства / А. Грудкин, М. Грудкина // АПК: экономика, управление. – 2015. – № 2. – С. 69–74.
4. Дорофеев А. Малые формы хозяйствования на селе Белгородчины / А. Дорофеев, Ю. Китаев // АПК: экономика, управление. – 2011. – № 12. – С. 37–41.
5. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года по Воронежской области. Земельные ресурсы и их использование. Статистический бюллетень. – Воронеж : Воронежстат, 2018. – 125 с.
6. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года по Воронежской области. Поголовье сельскохозяйственных животных. Статистический бюллетень. – Воронеж : Воронежстат, 2018. – 225 с.
7. Итоги ВСХП-2006. Материалы по итогам Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2006 года по Воронежской области. Основные итоги ВСХП 2006 года. Сводные итоги ВСХП 2006 года в разрезе категорий хозяйств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://voronezhstat.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/voronezhstat/ru/census_and_researching/census/national_census_2006/ (дата обращения: 20.05.2020).
8. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации : Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/564161398> (дата обращения: 20.05.2020).
9. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы : Постановление Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 717 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70110644/> (дата обращения: 20.05.2020).
10. О крестьянском (фермерском) хозяйстве : Федеральный закон от 11.06.03. № 74-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/12131264/> (дата обращения: 20.05.2020).
11. О личном (подсобном) хозяйстве : Федеральный закон от 07.07.03 № 112-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901867310> (дата обращения: 20.05.2020).
12. Россия в цифрах. 2019. Краткий статистический сборник. – Москва : Росстат, 2019. – 552 с.
13. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство : статистический сборник. – Воронеж : Воронежстат, 2019. – 78 с.
14. Сурков И.М. Анализ развития малых форм хозяйствования на селе Воронежской области и их роль в производстве продукции животноводства / И.М. Сурков, А.В. Ануфриева // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 (47). – С. 280–286.
15. Сурков И.М. Приоритетное развитие животноводства: поиски и проблемы / И.М. Сурков, Л.Н. Капустина // Экономический кризис России: социально-экономический, правовой и гуманитарный аспекты : матер. региональной межвузовской науч.-практ. конф. (Россия, г. Воронеж, 27–29 апреля 2009 г.). – Москва : Московский гуманитарно-экономический институт, 2009. – С. 84–88.
16. Узун В.Я. Сельское хозяйство России: точки роста и зоны запустения / В.Я. Узун // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2012. – № 4. – С. 27–35.
17. Устойчивое развитие сельских территорий на 2014–2017 годы и на период до 2020 года : федеральная целевая программа, утвержденная Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 июля 2013 г. № 598 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901867310> (дата обращения: 20.05.2020).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Принадлежность к организации

Иван Михайлович Сурков – доктор экономических наук, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры экономического анализа, статистики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: stat@bf.vsu.ru.

Дата поступления в редакцию 03.09.2020

Дата принятия к печати 24.10.2020

AUTHOR CREDENTIALS

Affiliations

Ivan M. Surkov, Doctor of Economic Sciences, Honored Worker of Higher School of the Russian Federation, Professor, the Dept. of Economic Analysis, Statistics and Applied Mathematics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: stat@bf.vsu.ru.

Received September 03, 2020

Accepted after revision October 24, 2020

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ САДОВОДСТВА В РОССИИ

**Иван Анатольевич Ефремов¹
Екатерина Викторовна Иванова²**

¹Евразийский открытый институт

²Мичуринский государственный аграрный университет

Представлены результаты исследования состояния и тенденций развития отрасли садоводства в России на современном этапе. Показано, что в России производство и потребление плодов и ягод отстаёт от уровня развитых стран. Однако следует отметить тенденцию роста производства плодово-ягодной продукции в расчёте на душу населения: с 1990 по 2018 г. темп роста составил 174,3%. В процессе исследования установлено, что в разрезе округов и в целом по стране наблюдается существенная дифференциация в потреблении плодов и ягод. Практически повсеместно имеет место дефицит плодово-ягодной продукции. В зависимости от экономико-географического расположения и агробиологических условий размещения садоводства в федеральных округах уровень самообеспечения фруктами существенно отличается. Уровень потребления плодов и ягод существенно дифференцирован и внутри федеральных округов. Выявленные различия в потреблении плодов и ягод можно объяснить, во-первых, уровнем самообеспеченности населения продукцией садоводства; во-вторых, уровнем платёжеспособности населения; в-третьих, уровнем развития инфраструктуры агропродовольственного рынка и другими факторами. За анализируемый период в садоводстве России наблюдается тенденция роста урожайности плодов и ягод во всех категориях хозяйств. В целом по России она увеличилась в 2,6 раза, по ЦФО – в 2,7 раза, в ЦЧР – в 3,7 раза. Также выявлена тенденция сокращения площадей плодово-ягодных насаждений: их размер в 2018 г. уменьшился по отношению к 1990 г. на 400 тыс. га, или на 46,2%, из них плодоносящих – соответственно на 286 тыс. га, или на 44,0%. При этом площади семечковых культур сокращались более высокими темпами, чем косточковых и ягодных. Проведённый анализ позволяет сделать вывод о необходимости обновления системы ведения садоводства, о поиске приоритетных направлений совершенствования организации инновационно-инвестиционной деятельности в этой отрасли.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: садоводство, многолетние насаждения, валовой сбор плодово-ягодных культур, урожайность плодов и ягод, потребление плодов и ягод, тенденции развития.

DEVELOPMENT TRENDS IN HORTICULTURAL INDUSTRY IN RUSSIA

**Ivan A. Efremov¹
Ekaterina V. Ivanova²**

¹Euroasian Open University

²Michurinsk State Agrarian University

The results of study of the state and trends of the development of the horticultural industry in Russia in modern times are presented. It is shown that in Russia the production and consumption of fruits and berries lags behind the level of developed countries. However, it should be noted the growth trend in the production of fruit and berry products per capita: from 1990 to 2018, the growth rate was 174.3%. The study found that there is a significant differentiation in the consumption of fruits and berries in the context of districts and in the whole country. Almost everywhere there is a shortage of fruit and berry products. Depending on the economic and geographical location and agrobiological conditions of gardening in federal districts, the level of self-sufficiency in fruit differs significantly. The level of consumption of fruits and berries is significantly differentiated within the federal districts. The revealed differences in the consumption of fruits and berries can be explained, firstly, by the level of self-sufficiency of the population with horticultural products; secondly, by the level of solvency of the population; thirdly, by the level of development of the infrastructure of the agri-food market and other factors. During the analyzed period in horticulture in Russia, there is a tendency to increase the yield of fruits and berries in all categories of farms. In Russia as a whole, it increased by 2.6 times, in the Central Federal District by 2.7 times,

and in the Central Federal District by 3.7 times. There is also a tendency to reduce the area of fruit and berry plantations: their size in 2018 decreased in relation to 1990 by 400 thousand hectares, or by 46.2%, of which fruit-bearing areas by 286 thousand hectares, or by 44.0%, respectively. At the same time, the area of pome crops decreased at a higher rate than that of stone and berry crops. The results of analysis allows for the conclusion that it is necessary to update the system of gardening, to find priority areas for improving the organization of innovation and investment activities in this industry.

KEYWORDS: horticultural industry, perennial plantings, gross harvest of fruit and berry crops, fruit and berry yield, fruit and berry consumption, development trends.

Определение тенденций развития отрасли садоводства в условиях инновационного обновления и модернизации экономики целесообразно проводить на основе методологического подхода, включающего диагностику экономики и организации производства плодов и ягод с учётом мировых, общероссийских и межрегиональных сравнений, а также углублённый анализ отрасли в регионах и специализированных садоводческих предприятиях. В качестве типичного субъекта выбран Центрально-Чернозёмный район, отличающийся инновационными решениями в развитии отрасли садоводства.

В мире на смену экстенсивного использования сельскохозяйственных угодий пришло интенсивное, поскольку рост их площадей имел место до середины 90-х гг. прошлого столетия, а площади многолетних насаждений постоянно сокращались. В качестве основной причины можно отметить тот факт, что прогрессивные технологии использования сельскохозяйственных угодий при стабилизации их площади обеспечивают более высокие темпы роста производства агропродовольственной продукции по сравнению с темпами роста населения. Такой вывод в отношении использования многолетних насаждений сделать нельзя, поскольку в разных странах обеспеченность населения плодами и ягодами по-прежнему не достигает уровня рекомендуемых медицинских норм при продолжающемся сокращении площадей [1, 2].

Таблица 1. Наличие сельскохозяйственных угодий и обеспеченность ими в странах мира, 2018 г.

№	Страны	Сельхозугодья, тыс. га	Многолетние насаждения, тыс. га	В расчёте на 1 жителя, га	
				с.-х. угодий	многолетних насаждений
1	Китай	528 529	11 628	0,395	0,009
2	США	405 810	2 841	1,296	0,009
3	Австралия	358 895	359	16,488	0,016
4	Бразилия	236 879	6 396	1,164	0,031
5	Россия	215 494	1 724	1,553	0,012
6	Казахстан	216 037	-	13,918	-
7	Индия	179 674	10 780	1,520	0,009
8	Саудовская Аравия	173 629	174	6,644	0,007
9	Аргентина	148 768	1 041	3,561	0,025
10	Монголия	113 433	-	36,206	-
11	Мексика	106 891	2 352	0,940	0,021
12	Южная Африка	96 341	963	1,966	0,020
13	Нигер	69 123	-	4,197	-
14	Судан	68 186	136	1,514	0,003
15	Канада	58 199	6 053	1,710	0,178
16	Ангола	56 952	285	4,270	0,021
17	Индонезия	62 300	19 936	0,254	0,081
18	Мозамбик	41 414	290	1,805	0,013
19	Чад	50 238	50	0,487	0,005
20	Иран	45 954	1 608	0,590	0,021

Источник: [8].

Существенные различия в размерах сельскохозяйственных угодий по странам мира (на пять стран мира приходится около 70,0% площадей сельхозугодий) характерны и для площадей многолетних насаждений (табл. 1). Так, на Китай, Индию, Индонезию, Бразилию и Канаду приходится более половины мировых площадей многолетних насаждений. Страны мира различаются и по уровню обеспеченности многолетними насаждениями в расчёте на одного жителя, которые обусловлены определёнными природно-климатическими, организационно-экономическими, социально-экономическими, демографическими и национальными особенностями. Больше всего многолетних насаждений в расчёте на душу населения имеют Канада, Индонезия, Бразилия и Аргентина, что связано с большим наличием в них интенсивно используемых площадей [8].

Однако развитые страны, такие как Германия, Испания, Италия и Франция, отличающиеся низким уровнем обеспеченности сельскохозяйственными угодьями и многолетними насаждениями, благодаря применению инновационных технологий в растениеводстве, а также и в садоводстве, выступают крупнейшими экспортёрами агропродовольственной продукции, в том числе фруктов и продуктов их переработки.

Проведённый анализ обеспеченности стран мира сельскохозяйственными угодьями и многолетними насаждениями с учётом стран с высокой плотностью населения (таких как Китай, Индия, Япония, Индонезия, Пакистан, Бангладеш и целый ряд государств Африки, которые испытывают дефицит сельскохозяйственных угодий, в том числе и многолетних насаждений) свидетельствует о том, что в перспективе эти страны могут столкнуться с проблемами, касающимися продовольственной безопасности и обеспечения населения плодово-ягодной продукцией на уровне рекомендуемых медицинских норм, даже несмотря на высоко эффективное использование сельскохозяйственных угодий и внедрение достижений научно-технического прогресса.

В целом в мире объём производства фруктов составляет около 700 млн т. Основными производителями плодов и ягод являются Китай, Индия, Бразилия и Индонезия, на их долю приходится около половины мирового производства. В структуре производства преобладают цитрусовые (28,5%) и бананы (21,0%).

На мировом рынке фруктов на сегодня реализуется свыше 70,0 млн т, то есть десятая часть производимого объёма. Это свидетельствует о том, что большая часть произведённых плодов и ягод потребляется страной-производителем. Среди реализованных фруктов выделяются бананы и цитрусовые, импорт которых в мире превысил соответственно 20,0 и 15,0 млн т. Ведущими экспортёрами бананов выступают Эквадор и Коста-Рика, а цитрусовых – Испания, Китай и ЮАР [6].

Наибольший уровень потребления плодов и ягод в расчёте на душу населения наблюдается в развитых странах мира, что обусловлено объёмами их производства, ориентированного на использование инновационных технологий в отрасли садоводства, а также высоко конкурентным рынком агропродовольственной продукции. В Италии, Канаде, Испании и США уровень потребления фруктов на душу населения находится в пределах 90,2–121,6 кг (2018 г.), что превышает рекомендуемые медицинские нормы потребления (табл. 2).

Таблица 2. Потребление плодов и ягод на душу населения в развитых странах мира, кг

Страны	Годы					
	1990	2000	2005	2010	2015	2018
Германия	116,1	113,7	87,1	78,7	75,8	78,1
Испания	116,0	107,4	100,2	79,7	64,8	94,6
Италия	118,2	146,5	153,6	152,6	125,3	121,6
Канада	111,9	126,0	129,3	133,3	93,1	96,9
США	118,6	125,4	109,8	103,2	86,0	90,2
Франция	80,4	97,4	112,1	113,0	78,6	82,9
Великобритания	-	-	-	-	95,4	77,5

Источник: [8].

В России производство и потребление плодов и ягод отстаёт от уровня развитых стран. Однако следует отметить тенденцию роста производства плодово-ягодной продукции в расчёте на душу населения. С 1990 по 2018 г. темп роста составил 174,3% (табл. 3). При этом за исследуемый период отмечается колеблемость объёмов производства фруктов, что можно объяснить не только природно-климатическими и организационно-экономическими условиями, но и характерными особенностями отрасли садоводства (в частности, неравномерным плодоношением по годам в хозяйствах населения). Коэффициент самообеспечения населения отечественной плодово-ягодной продукцией в 2018 г. составил всего 27%.

Таблица 3. Производство и потребление плодов и ягод на душу населения РФ

Годы	Производство			Потребление		
	Количество, кг	в % к		Количество, кг	в % к	
		предыдущему году	1990 г.		предыдущему году	1990 г.
1990	16	-	-	35	-	-
1995	15	93,8	93,8	29	82,9	82,9
2000	20	133,3	125,0	32	110,3	91,4
2005	19	95,0	118,8	46	143,8	131,4
2010	17	89,5	106,3	58	126,1	165,7
2015	22	129,4	137,5	60	103,4	171,4
2016	25	113,6	156,3	60	100,0	171,4
2017	22	88,0	137,5	59	98,3	168,6
2018	27	122,7	168,8	61	103,4	174,3

Источник: [10].

На рост потребления фруктов повлияла совокупность факторов.

Во-первых, это повышение реальных доходов населения, которое привело к изменению приоритетов в питании с низших видов на «нормальные» товары. Среднедушевые денежные доходы населения в месяц с 2281 руб. в 2000 г. возросли до 33 178 руб. в 2018 г., или в 14,5 раза.

Во-вторых, стимулирующим фактором роста уровня потребления являлся опережающий темп роста реальных денежных доходов по сравнению с темпами роста цен на плоды и ягоды. Так, в 2018 г. средняя потребительская цена 1 кг яблок (в России на долю яблок в структуре потребления фруктов приходится около 80%) составила 85,66 руб., или повысилась к уровню 2000 г. в 3,9 раза.

В-третьих, на повышение уровня потребления плодово-ягодной продукции повлияло инновационно ориентированное развитие пищевой промышленности, которая за указанный период существенно увеличила выпуск консервированных продуктов, соков и др. [4, 5, 9].

Вместе с тем достигнутый уровень потребления фруктов в стране меньше медицинской нормы потребления на 19 кг, или на 23,7%, а в сопоставлении с уровнем развитых стран – соответственно на 34 кг и 35,2%. Сложившийся баланс поступления и использования плодов и ягод остаётся неоптимальным (табл. 4).

Такое состояние проявляется в следующем:

- в продолжающейся нестабильности производства плодов и ягод по годам – от 2474 тыс. т в 2010 г. до 3964 тыс. т в 2018 г., что отрицательно сказывается на уровне их потребления;

- темпы роста импорта плодово-ягодной продукции значительно опережают темпы роста объёмов её производства. Так, импорт фруктов с 2000 по 2018 г. возрос в 2,5 раза, а объём их производства в стране – всего на 33,5%. При этом импорт представлен не только бананами и цитрусовыми, но и традиционными для питания россиян – яблоками;

- отечественное садоводство в основном направлено на внутренний агропродовольственный рынок, поскольку, несмотря на рост экспорта плодов и ягод (за исследуемый период он увеличился в 5 раз) размеры его остаются незначительными – всего 5,9% от объема производства в 2018 г.

Таблица 4. Баланс поступления и использования плодов и ягод в РФ, тыс. т

Показатели	Годы						
	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Поступление							
Запасы на начало года	907	1 503	1 618	2 252	1 976	1 972	1 836
Производство*	2 969	2 723	2 474	3 195	3 656	3 262	3 964
Импорт	2 640	4 613	6 780	6 511	6 518	6 677	6 693
Итого ресурсов	6 516	8 839	10 872	11 958	12 149	11 911	12 493
Использование							
Производственное потребление	612	640	728	1 027	1080	1117	1220
Потери	56	91	93	104	96	98	69
Экспорт	47	99	56	140	169	211	235
Личное потребление	4 659	6 501	8 242	8 718	8 838	8 650	8 924
Запасы на конец года	1 142	1 508	1 753	1 976	1 972	1 836	2 045

Примечание: * – производство включает и виноград.

Источник: [10].

Следует особо отметить, что с введением санкций западных стран изменились состав стран-импортёров. В 2018 г. десятку основных поставщиков плодов и ягод в Россию составили Китай, Турция, Иран, Эквадор, Египет, Сербия, Молдова, Аргентина, ЮАР и Чили. Объём импорта в Россию представлен цитрусовыми – 1,5 млн т, бананами – 1,2 млн т (эксклюзивным поставщиком является Эквадор), яблоками, грушами и айвой – 1,1 млн т. Рынок импортных замороженных плодов и ягод в 2018 г. достиг 68 млн долл. США. В структуре замороженных фруктов на долю отечественных видов продукции приходилось 20,0%, на долю импортных – 80,0%. Основными поставщиками замороженной плодово-ягодной продукции являлись Сербия (удельный вес от общего импорта в стоимостных показателях составил 25,0%), Беларусь, Китай (соответственно по 22,0%) и Египет (21,0%) [6].

В процессе исследования установлено, что в разрезе округов и в целом по стране наблюдается существенная дифференциация в потреблении плодов и ягод. Практически повсеместно имеет место дефицит плодово-ягодной продукции. В зависимости от экономико-географического расположения и агробиологических условий размещения садоводства в федеральных округах уровень самообеспечения фруктами существенно различается. Например, в Северо-Кавказском и Южном федеральных округах он выше по сравнению с Сибирским и Дальневосточным округами. Если в первых федеральных округах коэффициент самообеспеченности находится в пределах 70,6–76,5%, то в двух других – соответственно 9,5 и 6,5%.

Острый дефицит плодово-ягодной продукции в Сибирском, Дальневосточном и северных регионах Северо-Западного и Уральского федеральных округов обусловлен трудностями возделывания плодовых и ягодных культур из-за сложных природно-климатических условий. В настоящее время разница в потреблении плодов и ягод на душу населения в разрезе округов составляет 27 кг, или одну треть от нормы потребления (табл. 5). При этом в динамике наблюдается тенденция роста уровня потребления фруктов как в целом по России, так и по федеральным округам [11].

Таблица 5. Потребление плодов и ягод по федеральным округам РФ, в среднем на потребителя, кг

РФ в целом и федеральные округа	Годы					
	2015	2016	2017	2018	2019	2019 г. в % к 2015 г.
Российская Федерация	60	60	59	61	62	103,3
Центральный	62	62	59	61	61	98,4
Северо-Западный	60	60	60	60	62	103,3
Южный	74	75	74	75	77	104,1
Северо-Кавказский	61	63	62	64	66	108,2
Приволжский	55	57	54	57	58	105,5
Уральский	62	61	63	64	66	1-6,5
Сибирский	44	45	46	48	50	113,6
Дальневосточный	59	58	60	61	62	105,1

Источник: [10].

Уровень потребления плодов и ягод существенно дифференцирован и внутри федеральных округов. В частности, при уровне потребления фруктов на душу населения в среднем по Центральному федеральному округу – 61 кг, в Воронежской, Липецкой, Московской и Тульской областях он составил 70–75 кг, а в Брянской, Курской, Рязанской и Ярославской – 41–47 кг (табл. 6).

Размах колебаний в потреблении фруктов среди областей ЦФО достиг 34 кг, или на 7 кг выше, чем по федеральным округам. Выявленные различия в потреблении плодов и ягод можно объяснить, во-первых, уровнем самообеспеченности населения продукцией садоводства; во-вторых, уровнем платёжеспособности населения; в-третьих, уровнем развития инфраструктуры агропродовольственного рынка и другими факторами [3, 7].

Таблица 6. Потребление плодов и ягод в Центральном федеральном округе РФ, в среднем на потребителя, кг

Регионы	Годы					
	2015	2016	2017	2018	2019	2019 г. в % к 2000 г.
РФ	60	60	59	61	62	103,3
ЦФО	62	62	59	61	61	98,4
Белгородская область	64	65	62	62	62	96,9
Брянская	44	49	45	43	47	106,8
Владимирская	52	54	50	52	52	100,0
Воронежская	71	71	72	77	75	105,6
Ивановская	59	58	58	61	63	106,8
Калужская	56	56	59	58	60	107,1
Костромская	42	43	45	46	50	119,0
Курская	48	47	48	48	47	97,9
Липецкая	68	71	73	75	70	102,9
Московская	69	69	67	70	71	102,9
Орловская	62	63	62	63	65	104,8
Рязанская	46	46	44	43	42	91,3
Смоленская	59	56	57	62	63	106,8
Тамбовская	52	52	56	57	56	107,7
Тверская	61	61	62	60	61	100,0
Тульская	60	65	66	70	72	120,0
Ярославская	47	50	40	41	41	87,2
г. Москва	66	65	56	60	57	86,4

Источник: [10].

Определение зависимости между уровнем потребления и среднедушевыми доходами населения показало их слабую взаимосвязь, обусловленную наряду с агробиологическими и экономико-географическими факторами, традиционализмом питания и таким фактором, как предпочтение в питании населения «нормальными» продуктами, а именно молоком и молокопродуктами, мясом и овощами. С целью более глубокого исследования зависимость уровня потребления от среднедушевых доходов нами выражена уравнением

$$y = 39,62 + 0,0008x,$$

где y – потребление плодов и ягод на душу населения, кг;

x – среднедушевой доход, руб. в месяц.

Так, при увеличении среднедушевых доходов на 1000 руб. в месяц уровень потребления повысится всего на 0,8 кг в год. При этом коэффициент корреляции $R = 0,8829$, $F = 45,97$. Более наглядно эта зависимость отражена на рисунке 1.

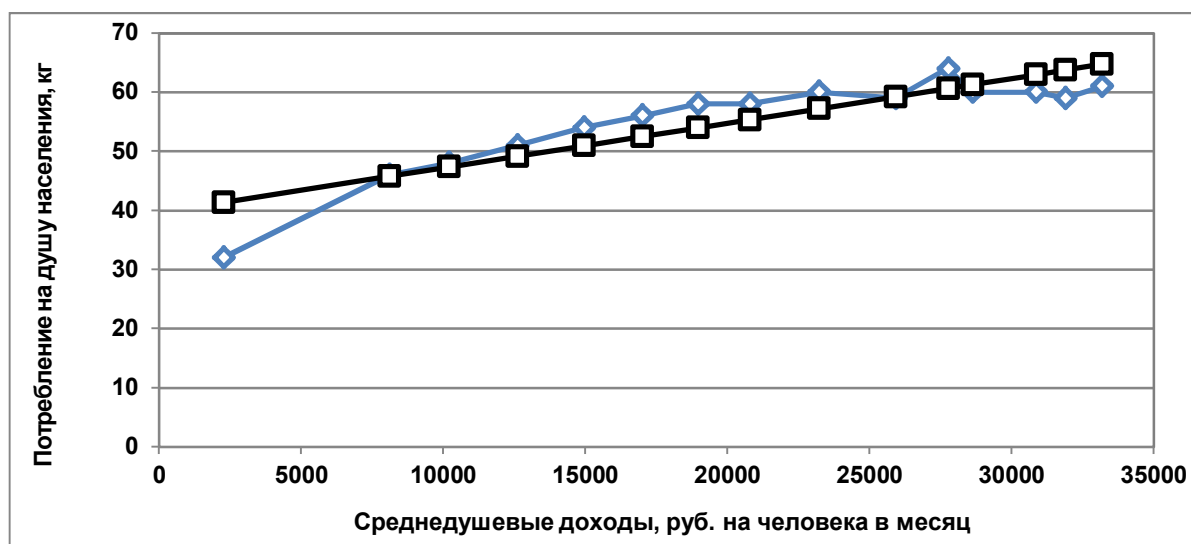


Рис. 1. Зависимость уровня потребления плодов и ягод от среднедушевых доходов населения в Российской Федерации, 2000–2018 гг.:

♦ – потребление на душу населения, кг; ■ – предсказанное потребление на душу населения, кг

Исходя из вышеизложенного, а также учитывая санкции западных стран, инновационно ориентированное развитие садоводства можно отнести к одному из приоритетных направлений стратегии развития агропродовольственного комплекса России. Это подтверждается и рядом положений, а именно: ролью плодов и ягод в удовлетворении потребностей населения; их способностью к продолжительному хранению и сохранению качественных свойств и, следовательно, возможностью создания запасов и удовлетворения спроса в осенне-зимний период; высокой транспортабельностью фруктов, обеспечивающей потребности населения непроизводящих их регионов, и др.

Проведённый анализ функционирования отрасли в России свидетельствует о тенденции роста объёмов производства плодов и ягод. За годы реформ (1990–2018 гг.) темп прироста валового сбора фруктов, превысив дореформенный уровень, составил по стране 28,2% (табл. 7). Наибольшими темпами прироста характеризовались валовые сборы ягод – в 2,0 раза и косточковых – на 58,4%, а по яблокам он оказался на уровне – 7,6%.

Таблица 7. Динамика валового сбора плодов и ягод в Российской Федерации, 1970–2018 гг., тыс. т

Годы	Плоды и ягоды, всего	В том числе		
		семечковые	косточковые	ягодники
1976–1980	2424	2047	213	159
1981–1985	2787	2206	325	249
1986–1990	2603	1856	389	344
1991–1995	2417	1477	472	454
1996–2000	2482	1453	409	611
2001–2005	2482	1337	427	711
2006–2010	2352	1210	409	723
2010	2149	1036	431	670
2015	2676	1495	503	659
2016	3056	1726	624	682
2017	2683	1521	509	632
2018	3337	1997	616	702
2018 г. в % к 1976–1980 гг.	137,7	97,6	в 2,9 раза	в 4,4 раза
2018 г. в % к 1986–1990 гг.	128,2	107,6	158,4	в 2,0 раза

Источник: [10].

В Центральном федеральном округе с 1990 по 2018 г. темпы прироста несколько ниже, чем в среднем по России – на 2,4 п. п., а в ЦЧР, на долю пяти областей которого приходится половина объёма плодов и ягод в ЦФО, темпы прироста меньше, чем по стране и в ЦФО, за исключением Липецкой области (табл. 8). В садоводстве Курской области продолжается сокращение производства плодов и ягод.

Таблица 8. Динамика валовых сборов плодово-ягодных насаждений в РФ, ЦФО и ЦЧР, 1990–2018 гг., все категории хозяйств, тыс. т

Субъект	Годы									2018 г. в % к 1990 г.
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	
РФ	2385	2220	2690	2404	2149	2676	3056	2683	3337	140,0
ЦФО	524	512	805	653	556	627	650	496	721	137,6
ЦЧР	295,2	246,1	198,6	271,6	206,9	262,5	264,8	237,4	365,4	123,8
Белгородская область	37,3	37,4	11,6	32,4	31,3	40,4	43,7	37,7	48,6	130,3
Воронежская область	110,7	63,0	38,4	84,6	71,8	110,9	110,7	91,2	136,1	122,9
Курская область	81,6	67,3	29,5	51,3	40,5	22,3	22,6	19,2	34,8	42,6
Липецкая область	32,2	38,6	65,1	57,9	39,2	56,6	66,1	54,6	99,2	308,1
Тамбовская область	33,4	39,8	54,0	45,4	24,8	32,3	21,8	34,7	46,7	139,8

Источник: [10].

Основными производителями плодов и ягод выступают хозяйства населения и сельскохозяйственные предприятия. В структуре производства в целом по стране доля хозяйств населения с 2000 по 2019 г. хотя снизилась на 18,0 п.п. (табл. 9), но в то же время оставалась достаточно высокой, доля сельскохозяйственных предприятий не достигла одной трети, доля К(Ф)Х растёт и превысила 6,0%.

Таблица 9. Доля категорий хозяйств в производстве продукции садоводства в Российской Федерации, в % от общего объёма производства

Категории хозяйств	Годы							2019 г. +/ – к 2000 г., п. п.
	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	
Российская Федерация								
С.-х. организации	15,7	15,0	23,5	23,7	27,2	31,4	27,6	+11,9
Хозяйства населения	84,1	82,5	73,5	71,5	68,5	64,1	66,1	–18,0
К(Ф)Х и ИП	0,2	2,5	3,0	2,8	4,3	4,5	6,3	+6,1

Источник: [10].

За анализируемый период в садоводстве России наблюдается тенденция роста урожайности плодов и ягод во всех категориях хозяйств. В целом по России она увеличилась в 2,6 раза, по ЦФО – в 2,7, в ЦЧР – в 3,7 раза (табл. 10). Более высокими темпами урожайность плодовых культур росла в Липецкой и Тамбовской областях – соответственно в 8,5 и 5,5 раза.

Таблица 10. Динамика урожайности плодово-ягодных насаждений в Российской Федерации, 1990–2018 гг., ц / га

Субъект	Годы									2018 г. в разы к 1990 г.
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	
Все категории хозяйств										
РФ	36,3	30,1	40,5	47,3	50,7	77,3	88,4	77,9	96,0	2,6
ЦФО	30,2	19,6	35,0	39,6	41,4	68,8	70,7	55,2	80,6	2,7
ЦЧР	25,5	22,5	23,7	38,2	36,7	71,6	69,7	67,2	100,8	3,9
Белгородская область	18,0	20,3	7,2	33,1	40,3	56,4	63,3	54,4	71,4	4,0
Воронежская область	37,6	24,2	17,3	39,8	42,7	92,9	94,1	78,0	111,8	3,0
Курская область	37,7	27,7	17,6	43,2	47,8	51,9	46,3	48,2	75,7	2,0
Липецкая область	17,0	17,5	39,6	37,8	32,9	79,1	93,9	80,9	145,1	8,5
Тамбовская область	20,0	26,3	40,5	40,4	25,5	85,2	54,5	81,3	110,4	5,5

Источник: [10].

Тенденцию роста урожайности плодов и ягод показывает и проведенное выравнивание данных за 1981–2018 гг. (рис. 2). В целом по России достоверность подтверждается коэффициентом $r^2 = 0,78$.

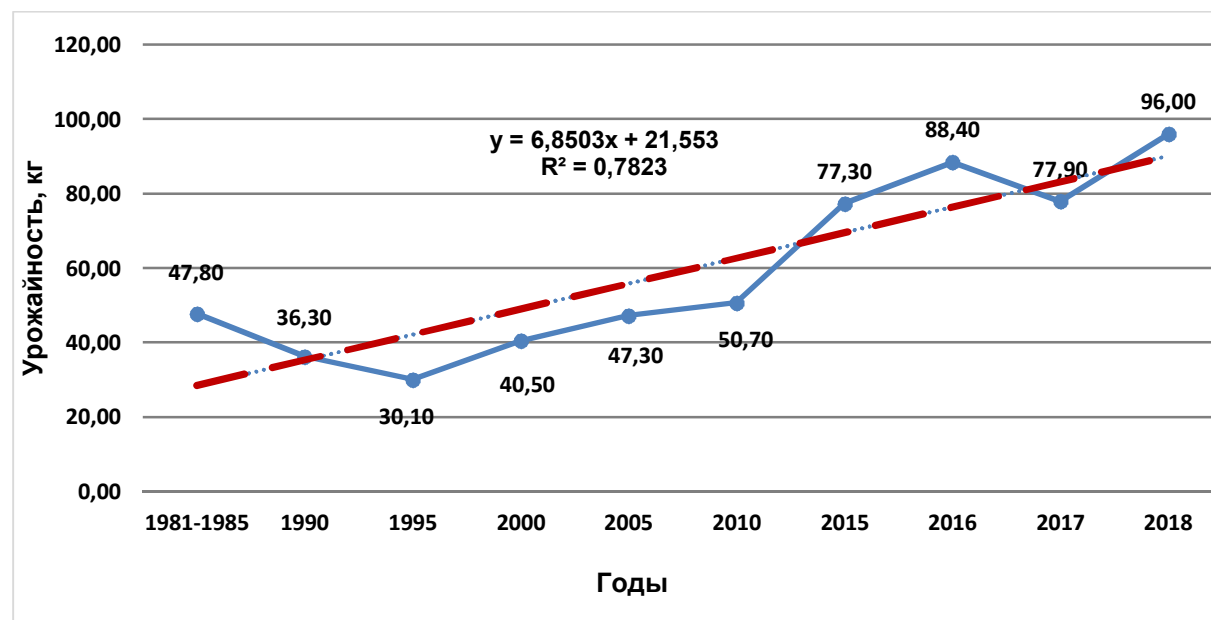


Рис. 2. Динамика урожайности плодов и ягод в Российской Федерации, все категории хозяйств, 1981–2018 гг.

Рост урожайности отражает эффективность процесса интенсификации в отрасли садоводства. Однако сравнение уровня урожайности плодовых культур в России и в развитых странах, которые постоянно активизируют инновационные технологии в отрасли, свидетельствует о существенном отставании отечественного садоводства. Так, например,

урожайность яблок в Италии, США, Германии, Франции и Великобритании достигла высокого уровня и находится в пределах 311,0–438,6 ц/га, что значительно превышает показатели по РФ (табл. 11).

Таблица 11. Урожайность яблок в странах мира, ц/га

Страны	Годы								
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Российская Федерация	51,7	63,7	77,1	83,7	88,7	85,8	85,8	87,1	89,7
Германия	262,4	284,2	307,3	254,0	354,6	309,9	329,6	175,9	352,7
Испания	203,0	212,7	156,5	177,4	202,1	193,2	201,2	192,2	188,1
Италия	380,8	424,1	364,1	401,1	451,9	451,0	465,3	358,5	438,6
Канада	228,4	260,2	182,0	273,0	281,1	242,0	283,6	257,5	269,8
США	309,1	319,8	309,9	362,1	416,2	347,8	391,9	394,6	394,8
Франция	428,1	443,7	337,4	449,1	368,3	396,4	363,5	337,1	342,9
Великобритания	150,0	153,5	127,5	247,9	281,1	289,6	291,4	268,8	311,0

Источник: [8].

Как показывают исследования, в России наблюдается тенденция сокращения площадей плодово-ягодных насаждений. Их размер в 2018 г. уменьшился по отношению к 1990 г. на 400 тыс. га, или на 46,2%, из них плодоносящих соответственно на 286 тыс. га, или 44,0% (табл. 12). При этом площади семечковых культур сокращались более высокими темпами, чем косточковых и ягодных культур. Если в 2018 г. площадь косточковых уменьшилась по сравнению с 1990 г. на 49 тыс. га (на 28,5%) и ягодников на 20 тыс. га (на 16,3%), то семечковых – на 317 тыс. га (на 58,1%).

Таблица 12. Площадь плодово-ягодных насаждений в Российской Федерации, все категории хозяйств, тыс. га

Годы	Плоды и ягоды, всего	Из них плодоносящие	В том числе от общей площади		
			семечковые	косточковые	ягодники
1970	1351	792	1014	212	99
1980	1100	746	813	171	101
1990	866	650	546	172	123
1995	944	731	549	209	169
2000	767	641	427	169	161
2005	598	500	315	135	140
2010	518	428	252	126	132
2015	467	374	226	125	108
2016	460	369	224	124	103
2017	462	365	226	124	103
2018	466	364	229	123	103
2018 г. в % к 1970 г.	34,5	46,0	22,6	58,0	104,0
2018 г. в % к 1990 г.	53,8	56,0	41,9	71,5	83,7

Источник: [10].

Проведённый анализ позволяет сделать вывод о необходимости обновления системы ведения садоводства, о поиске приоритетных направлений совершенствования организации инновационно-инвестиционной деятельности в этой отрасли.

Библиографический список

1. Ефремов И.А. Главный путь развития садоводства в России / И.А. Ефремов // Агропродовольственная политика России. – 2013. – № 5 (17). – С. 25–31.
2. Императивы развития отечественного садоводства / А.В. Панин, Л.А. Головина, О.В. Логачева, И.А. Ефремов // Вестник сельского развития и социальной политики. – 2020. – № 1 (25). – С. 2–9.
3. Куликов И.М. Состояние и эффективность интенсификации садоводства / И.М. Куликов, И.А. Минаков // АПК: экономика, управление. – 2017. – № 4. – С. 4–15.
4. Леонова Н.В. Организационно-экономические аспекты развития Российского садоводства / Н.В. Леонова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 11, № 1 (56). – С. 213–220.
5. Леонова Н.В. Развитие отрасли садоводства: состояние, тенденции, эффективность / Н.В. Леонова // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 5–2 (82). – С. 475–479.
6. Маркетинговое исследование: рынок ягод и фруктов за 2014–2018 гг. – Белгород : ОГАУ «Инновационно-консультационный центр агропромышленного комплекса», 2019. – 22 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ikc.belaprk.ru/upload/iblock/383/383600968c599ff78aeb39987ea6f0bf.pdf> (дата обращения: 24.10.2020).
7. Минаков И.А. Стратегия инновационного развития садоводства Российской Федерации : монография / И.А. Минаков. – Мичуринск : Изд-во МичГАУ, 2013. – 114 с.
8. Мировая региональная статистика, национальные данные, карты и рейтинги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://knoema.ru/atlas> (дата обращения: 20.10.2020).
9. Терновых К.С. Основные направления повышения экономической эффективности садоводства : монография / К.С. Терновых, Н.В. Леонова, Е.Д. Кузнецова. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – 153 с.
10. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 24.12.2020).
11. Формирование факторов и условий инновационного развития современного садоводства / К.С. Терновых, А.Н. Черных, Н.В. Леонова, А.Л. Маркова // International Agricultural Journal. – 2020. – Т. 63, № 2. – С. 12.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Принадлежность к организации

Иван Анатольевич Ефремов – преподаватель Центра корпоративного обучения и бизнес-образования, АНО ДПО «Евразийский открытый институт», Россия, г. Москва, e-mail: efremov-iv@yandex.ru.

Екатерина Викторовна Иванова – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и коммерции ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, Тамбовская область, г. Мичуринск, e-mail: ivanova_ev@list.ru.

Дата поступления в редакцию 20.11.2020

Дата принятия к печати 26.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS
Affiliations

Ivan A. Efremov, Lecturer, Training and Business Education Corporate Center, Euroasian Open Institute, Russia, Moscow, e-mail: efremov-iv@yandex.ru.

Ekaterina V. Ivanova, Doctor of Economic Sciences, Professor, the Dept. of Economics and Commerce, Michurinsk State Agrarian University, Russia, Tambov Oblast, Michurinsk, e-mail: ivanova_ev@list.ru.

Received November 20, 2020

Accepted after revision December 26, 2020

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ НА УРОВНЕ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Елена Владимировна Денисова

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук

В настоящее время в общем комплексе экономических реформ и системе управления муниципальной собственностью особое значение приобретают земельные отношения. Отсутствие материально-технической базы, плано-картографического материала только усугубляет и так не простую ситуацию в области использования и сохранения главного ресурсного потенциала. Неэффективное использование сельскохозяйственных угодий, раздробленность, нерациональный размер земельных участков, незаинтересованность собственников и отсутствие финансирования приводят к тому, что сельскохозяйственные угодья подвергаются деградации и выводятся из активного оборота. Отсутствие регулярного землеустроительного обследования и проектов землеустройства привело к тому, что почвенные, геоботанические и агрохимические обследования не проводятся вообще. Учёт сельскохозяйственных угодий ведётся только на основе статистических данных государственного кадастрового учёта, что не отражает качественные характеристики каждого участка и не позволяет отслеживать динамику происходящих процессов. Современные способы проведения мониторинга и инвентаризации земель с применением ГИС-технологий на примере Приволжского сельского поселения дали возможность уточнить границы и площади населённых пунктов в его составе: уточнённая площадь муниципального поселения составила 37294,0 га, что на 1071 га, или на 2,3%, меньше по сравнению с предыдущими обследованиями. Площадь обследованной пашни – 21751,99 га, или 58,3% муниципального поселения. Уточнение границ фактического использования 2677,87 га орошаемых участков пашни (7%), сведения о которых отсутствуют в государственном кадастре недвижимости, представляет собой значимую часть земельных ресурсов для эффективного социального и экономического развития поселения в целом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГИС, инвентаризация, кадастр, земельные ресурсы, мониторинг, пашня, сельскохозяйственные угодья, управление.

PROBLEMS OF LAND RESOURCE MANAGEMENT AT THE MUNICIPAL LEVEL

Elena V. Denisova

Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation
and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences

At present, land relations are of particular importance in the general complex of economic reforms and the system of municipal property management. The lack of material and technical base, planning and cartographic material only aggravates the already difficult situation in the field of using and preserving the main resource potential. Inefficient use of agricultural land, fragmentation, irrational size of land plots, lack of interest of owners and lack of funding lead to the fact that agricultural land is subject to degradation and withdrawal from active circulation. The absence of regular land management surveys and land management projects has led to the fact that soil, geobotanical and agrochemical surveys are not being performed at all. Agricultural land is recorded only on the basis of statistical data from the state cadastral registration, which does not reflect the qualitative characteristics of each site and does not allow tracking the dynamics of ongoing processes. Modern methods of monitoring and inventory of land using GIS technologies on the example of Privolzhsky rural settlement made it possible to clarify the boundaries and areas of settlements within it. The adjusted area of the municipal settlement turned out to be 37294.0 hectares, which is 1071 hectares (or 2.3%) less compared to previous survey data. The area of surveyed arable land was 21751.99 hectares, or 58.3% of the municipal settlement. Clarification of the boundaries of the actual use of 2677.87 hectares of irrigated arable land (7%), of which the data is unavailable in the state cadastre of real estate, represents a significant part of land resources for efficient social and economic development of the settlement as a whole.

KEYWORDS: GIS, inventory, cadastre, land resources, monitoring, arable land, agricultural land, management.

Введение

Современная система управления земельными ресурсами – это многоуровневый и взаимосвязанный процесс, направленный на рациональное использование земельного потенциала. Этим процессом управляют законодательные и исполнительные органы власти, регулирующие и определяющие общую стратегию землепользования, планирования, распределения, перераспределения и охраны земель.

Государственное управление по своим видам подразделяется на общее, ведомственное, местное и частное. Общее государственное управление охватывает весь земельный фонд в рамках установленной территории независимо от групп земель и субъекта права. Ведомственное управление предполагает учёт земель, предоставленных подведомственным предприятиям, организациям. Региональное управление возложено на территориальные и муниципальные образования. На территории каждого земельного участка управление должно осуществляться самими собственниками, владельцами и пользователями.

Однако такие виды управления являются необоснованными и неэффективными на современном этапе развития земельных отношений, где постоянно происходит процесс перераспределения и разграничения земель. Особенно это касается земель сельскохозяйственного назначения [3, 6].

Актуальным остаётся вопрос мониторинга и учёта сельскохозяйственных земель, их динамики, качественного состояния. Существующие формы управления земельными ресурсами не учитывают современный характер и проблемы использования главного агропромышленного потенциала, а именно разбросанность земельных участков, нерациональный размер, характер применения технологий для каждой конкретной территории, пространственные и качественные характеристики самих участков.

Даже муниципальное управление носит обобщённый характер ввиду недостаточного финансирования и отсутствия материально-технической базы для проведения полноценного мониторинга и инвентаризации земель.

Внутрихозяйственное управление, возложенное на собственников и пользователей земельных участков, не осуществляется вообще, так как главной проблемой здесь является отсутствие материального и налогового стимулирования для осуществления инвентаризации земель.

Целью исследования является уточнение организационно-экономического механизма учёта земель сельскохозяйственного назначения, порядка формирования кадастровой стоимости на примере Приволжского муниципального образования Светлоярского района Волгоградской области, что послужит более эффективному управлению земельными ресурсами и сбалансированному землеустроительному и территориальному планированию.

Материалы и методы

Изменение существующих и продвижение новых технологических возможностей получения с космических аппаратов сканерных снимков высокого качества дало толчок к созданию крупномасштабных космофотокарт, позволяющих воспроизводить на них ранее недоступные и важные детали. Материалы таких съёмок имеют первостепенное значение как источники информации для исследования меняющихся во времени процессов на определённой территории, в т. ч. в границах муниципальных образований, что позволяет получать множественную информацию об объекте изучения на момент съёмки.

Методы картографирования объектов мониторинга и землеустройства на уровне региона, области, района основываются на современном информационном обеспечении, которое позволяет путём обработки картографической и топологической базы данных, выбором и оцифровкой топографических и тематических карт создавать электронные таблицы с описанием свойств и характеристик объекта исследования [7].

Уточнение межхозяйственных и административных границ в районе проведения исследований является необходимым условием для создания тематического слоя границы. Такая корректировка необходима для сопоставления исследуемой площади с площадью существующего субъекта землепользования [4].

Для уточнения границ земельных участков и их состояния используются геоинформационные и локальные источники данных, электронные обзорные космокарты, отображающие общее состояние и положение объекта мониторинга. Карта создаётся на основе цифровой топографической модели по космоснимкам в среде ГИС в виде тематических картографических и атрибутивных слоёв (в программах MapInfo, GlobalMapper и др.) [2].

Космоснимки в настоящее время являются основными источниками получения высокоточных и независимых сведений о земельных ресурсах. Источниками данных дистанционного зондирования для анализа состояния земельных ресурсов ландшафтов являлись мультиспектральные снимки, получаемые со спутников Ресурс П, Канопус, Worldview 3, Sentinel 2, Landsat-8 и др., и данные глобальных цифровых моделей рельефа [1].

В результате осуществления таких операций создаются тематические картографические слои, несущие изначально необходимую и существенную информацию об объектах исследований.

Результаты и их обсуждение

Приволжское сельское поселение – муниципальное образование в Светлоярском районе Волгоградской области. В структуру Приволжского муниципального образования вошли населённые пункты: п. Краснопартизанский, с численностью населения 97 чел., п. Луговой – 467, п. Новосад – 508 и п. Приволжский – 1220 чел. [5].

В границах муниципального поселения были уточнены границы сельскохозяйственных угодий, а именно пашни, используемой на различном праве. Наличие пахотных угодий в каждом кадастровом квартале неодинаково, что обусловлено сложившимися природными условиями, а также протеканием эрозионных процессов, что приводит к истощению и выбытию сельскохозяйственных угодий из земельного оборота.

По результатам обследования Приволжское сельское поселение имеет периметр 119,45 км, занимает площадь 37 294 га, в его состав входят следующие кадастровые кварталы: 34:26:130101; 130102; 130103; 130401 (п. Краснопартизанский); 130402; 130301; 130302; 130201; 130601 (п. Луговой); 130501 (п. Приволжский и п. Новосад).

Первичным источником получения информации служат данные государственного кадастра недвижимости, геодезическая и топографическая съёмка исследуемой местности, по результатам которых создаётся картографический материал.

Создание космофотокарты границ Приволжского сельского поселения Светлоярского района и населённых пунктов в его составе базируется на оцифровке топографической карты соответствующего масштаба, которая в оцифрованном виде является тематическим слоем, служащим для привязки аэрокосмофотоснимка региона исследований к географическим координатам и нанесения координатной сетки. На карте создаются соответствующие слои – населённые пункты, муниципальные образования, пашня, лесополоса и др., которые отражают все количественные и качественные характеристики объекта исследуемого слоя.

Космоснимки трансформируются с использованием файлов привязки к географическим координатам таким образом, чтобы координаты контрольных объектов на снимке и топографической основе совпадали. После этого проводится контрольное сравнение совпадения объектов на снимке и топографической карте и сверка их координат с координатами на топографической основе [9].

Для проведения границ используется достоверная информация, которая переносится на тематический слой границы путём проведения полулиний по контрольным точкам или наложением растровой информации на существующий слой.

Построение на космофотокарте цифровой модели рельефа даёт возможность определить статистические характеристики рельефа и получить данные не только по распределению высот, но и модели уклонов склонов и диапазон распределения углов. Эти характеристики необходимы для планирования мероприятий по предотвращению эрозии на землях сельскохозяйственного назначения, позволяют выявить точки перегиба

ландшафта, которые нужно учитывать при проектировании инженерных и линейных сооружений [10].

Таким образом, в результате геоинформационной обработки и трансформации космофотоснимков создаётся многослойная цифровая обзорная космофотокарта района исследования, которая позволяет получать актуальную информацию на всей исследуемой площади [8].

Таблица 1. Сводная ведомость уточнённых площадей населённых пунктов, входящих в состав Приволжского сельского поселения

Наименование населённого пункта	Кадастровый номер	Площадь, га	Периметр, км
п. Краснопартизанский	34:26:130401	76,7	4,13
п. Луговой	34:26:130601	114,3	6,96
п. Приволжский и п. Новосад	34:26:130501	286,4	13,44

Инвентаризация границ Приволжского сельского поселения с применением геоинформационных технологий дала возможность установить фактические границы и площади населённых пунктов, входящих в его состав: п. Краснопартизанский – 76,7 га; п. Луговой – 114,3 га; п. Приволжский, п. Новосад – 286,4 га (табл. 1).

На основе геоинформационного анализа проведено исследование сельскохозяйственных угодий, а именно – пашни, в разрезе исследуемых кадастровых кварталов. Общая площадь уточнённой пашни – 21751,99 га, из которых – 3129,85 га используется как орошаемая.

По каждому участку пашни приведены характеристики, позволяющие идентифицировать его: площадь, периметр, отметки высот (минимальные и максимальные), максимальный уклон, координаты участков (табл. 2).

Таблица 2. Характеристики участков пашни, в границах кадастрового квартала 34:26:130301 Приволжского сельского поселения

Вид угодий	Площадь, га	Периметр, км	Минимальная высота, м	Максимальная высота, м	Максимальный угол, град
Кадастровый квартал 34:26:130301					
Пашня	30,86	2,69	60	85	5,93
Пашня	71,58	4,09	81	103	6,47
Пашня	142,1	5,43	65	101	6,48
Пашня	22,55	2,31	45	79	6,38
Пашня	5,31	0,92	54	67	5,97
Пашня	2,89	0,69	58	66	5,61
Пашня	22,49	2,09	53	80	6,81
Пашня	26,53	2,38	66	90	6,38
Пашня	3,91	0,85	45	59	7,24
Пашня	14,95	1,8	39	58	6,66
Пашня	45,43	4,07	50	88	7,06
Пашня	78,99	5,08	45	88	8,26
Пашня	16,90	2,03	66	77	4,33
Пашня	97,39	4,24	36	62	5,30
Пашня	262,29	7,47	85	105	4,19
Итого	844,17				
Пашня орошаемая	70,396	4,17	32	42	4,06
Пашня орошаемая	45,376	2,919	38	45	3,4
Пашня орошаемая	140,91	5,603	39	74	7,42
Итого	256,68				
Всего	1100,85				

Данные таблицы 2 позволяют оценить пространственные условия размещения каждого конкретного земельного участка. Наличие земельных ресурсов и их качественное состояние определяют социально-экономическое развитие и потенциал всего муниципального поселения, влияют на уровень жизни населения, экологическую обстановку и т. д.

Проведённый анализ состояния земель в границах муниципальных поселений Светлоярского района свидетельствует об их низком качестве. На сельскохозяйственных угодьях получили распространение такие деградиационные процессы, как эрозия, дефляция, дегумификация, орошаемые угодья подвержены засолению. Низкое почвенное плодородие земельных угодий подтверждает балл бонитета – 38. Приволжское сельское поселение относительно других муниципальных поселений данного района характеризуется самым высоким почвенным баллом – 49.

Определение перечня земельных участков, их границ и площадей является необходимым условием для формирования кадастровой стоимости, что позволяет обосновывать земельный налог, арендную плату и другие платежи, установленные законодательством. Кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения по Светлоярскому району утверждена распоряжением министерства по управлению государственным имуществом Волгоградской области от 27.11.2013 г. № 2577-р и составляет 5072,5 руб./га.

По данным публичной кадастровой карты, кадастровый квартал 34:26:130301 включает в себя 14 участков земель сельскохозяйственного назначения, из которых только у 9 определены границы (табл. 3, рис. 1).

Таблица 3. Характеристики участков, прошедших государственный кадастровый учёт в границах квартала 34:26:130301 Приволжского сельского поселения

Обозначение участка на публичной кадастровой карте	Площадь, га	Вид угодий	Кадастровая стоимость, руб.	Обозначение на космокарте	Площадь, га
34:26:130301:1	102,51	Пашня	256275,0	П639	97,39
34:26:130301:2	296,46	Пашня	1007964,0	П665	262,29
34:26:130301:5	15,5	Пашня	86800,0	ПО189	5,75
				ПО190	9,2
34:26:130301:10	392,0	Пашня	15680000,0	П638	16,9
				ПО188	70,39
				ПО189	39,6
				ПО190	131,7
34:26:130301:11	25,77	Пастбища	126303,87	П628	22,55
				П629	5,31
34:26:130301:12	91,87	Пастбища	450166,92	П632	22,49
				П633	26,63
34:26:130301:13	252,2	Пастбища	1235569,3	П634	3,91
				П635	14,95
				П636	45,43
				П637	78,99
34:26:130301:14	39,2	Пастбища	192080,0	-	-
34:26:130301:3	362,0	Пастбища	2027200,0	-	-
34:26:130301:4	27,0	Пастбища	151200,0	-	-
34:26:130301:6	124,0	Пашня	694400,0	-	-
34:26:130301:7	403,0	Пашня	2256800,0	-	-
34:26:130301:8	611,2	Пашня	3422720,0	-	-
Итого	2515,73				848,17

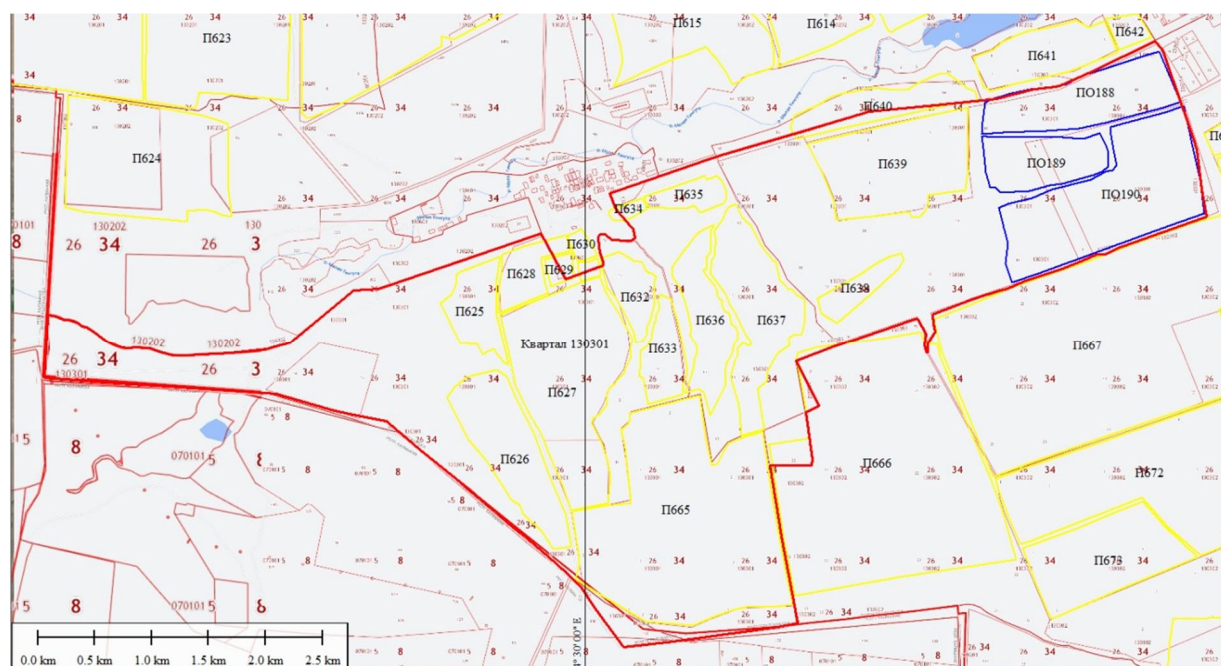


Рис. 1. Расположение фактически используемых земельных участков и прошедших кадастровый учёт на космоснимке

Земельные участки с номерами П625, П626, П627 и П631, суммарной площадью 247,42 га, используются как пашня, но не подлежат учёту. Земельные участки 34:26:130301:11, 34:26:130301:12, 34:26:130301:13 по данным государственного кадастра недвижимости имеют разрешённое использование для пастбы скота (пастбища), однако используются как пашня. Кадастровая стоимость пашни и пастбищ должна иметь существенные различия.

По данным кадастровой оценки, стоимость 1 га пастбищ составляет 4900 руб./га, а стоимость 1 га пашни варьирует от 2500 до 40 000 руб./га. Самую высокую стоимость 1 га пашни имеет земельный участок 34:26:130301:10. Объективные данные об учёте и использовании земельных ресурсов невозможно получить без уточнения показателей о состоянии и структуре земельного фонда. Проведённый анализ даёт основание полагать, что результаты кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения в муниципальном поселении требуют уточнения.

Таблица 4. Сводная ведомость уточнённых площадей населённых пунктов, входящих в состав Приволжского сельского поселения

Кадастровый квартал	Площадь квартала, га	Периметр, км	Количество обследованных участков, входящих в квартал, шт.	Вид угодий	Площадь обследованных участков, га
34:26:130101	8,835	33,06	-	-	-
34:26:130102	15,72	16,98	5	Пашня	1224,96
34:26:130103	118,77	62,91	33	Пашня	7500,0
34:26:130201	101,25	52,85	35	Пашня	5553,06
34:26:130202	52,61	58,06	57	Пашня	2129,12
34:26:130301	18,93	28,21	18	Пашня	1100,85
34:26:130302	48,95	35,64	47	Пашня	4244,0
Итого			195		21751,99

Площади в исследуемых кварталах варьируют от 8,83 до 118,77 га. Три из них – 34:26:130101, 34:26:130102 и 34:26:130301 – имеют площадь менее 20 га. Два квартала – 34:26:130201 и 34:26:130103 – по площади чуть более 100 га (соответственно 101,25 и 118,77). Наличие пахотных угодий во всех кварталах также неоднородно (табл. 4).

Уточнение границ Приволжского сельского поселения выявило значительные расхождения по сравнению с предыдущими обследованиями. Площадь муниципального поселения уменьшилась на 1071 га, или на 2,3% (рис. 2).

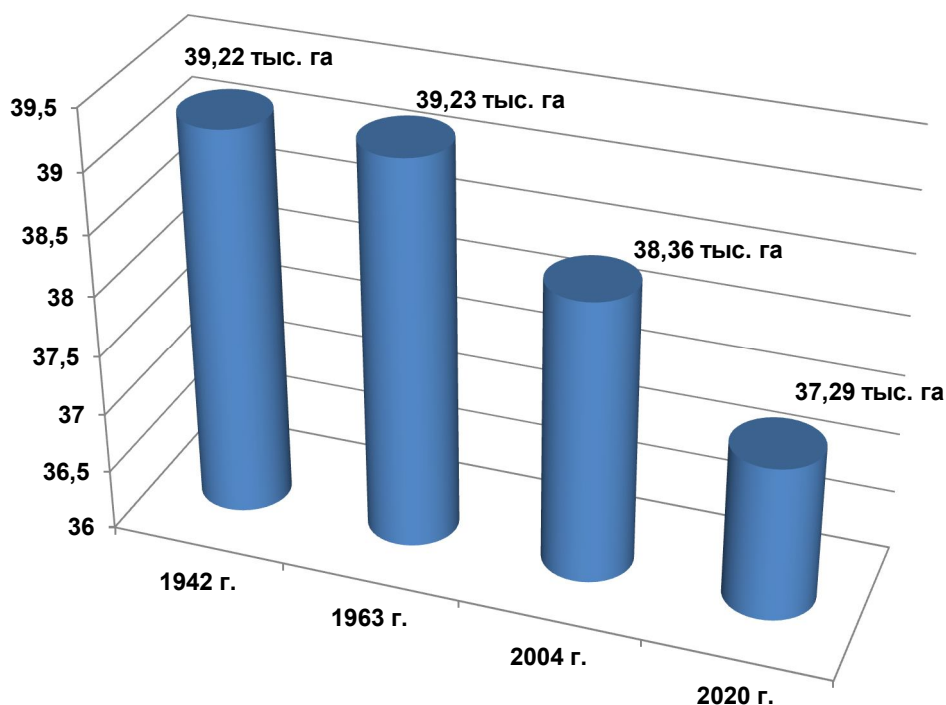


Рис. 2. Динамика изменения площади Приволжского сельского поселения

В кадастровом квартале 34:26:130101 отсутствует пашня. По данным ГКУ, в его составе находятся три участка пастбищ. В квартале 34:26:130102 уточнены границы пяти участков пашни, средняя площадь каждого из них 245 га. В кварталах 34:26:130103 и 34:26:130201 примерно одинаковое наличие уточнённых участков пашни – 33 и 35, однако первый в 1,3 раза превышает по площади другой (7500 га и 5553 га). Это объясняется довольно разнообразным, сильно расчленённым рельефом и делением района на две разные зоны – Волго-Ахтубинскую пойму и Заволжскую степь.

В кадастровых кварталах 34:26:130202, 34:26:130301 и 34:26:130302 пашня используется как на богаре, так и на орошении, причём в квартале 34:26:130302 её доля составляет 85,5%.

Создание актуальной картографической основы даёт огромные преимущества в сфере управления земельными ресурсами на уровне местных органов власти, позволит обеспечить сохранение и воспроизводство сельскохозяйственных угодий, сформировать устойчивые земельные отношения, конкурентоспособный земельный рынок.

Библиографический список

1. Денисова Е.В. Геоинформационные методы изучения состояния и оценки качества земель сельскохозяйственного назначения в границах муниципального образования / Е.В. Денисова, В.Д. Постолов // Научно-агрономический журнал. – 2020. – № 2 (109). – С. 25–29.
2. Денисова Е.В. Применение геоинформационных технологий для анализа состояния земель сельскохозяйственного назначения / Е.В. Денисова // Астраханский вестник экологического образования. – 2019. – № 4. – С. 33–39.
3. Малочкин В.Ю. Разработка методики проведения инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения посредством ГИС / В.Ю. Малочкин // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 2 (368). – С. 17–21.
4. Папаскири Т.В. Методы формирования систем автоматизированного землеустроительного проектирования / Т.В. Папаскири // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2015. – № 2. – С. 25–33.
5. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии по Волгоградской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosreestr.ru/wps/portal/p/cc-ib-other-lines-activity/cc-ib-gos-monitor-land> (дата обращения: 18.07.2020).
6. Федоринов А.В. Применение ГИС-технологий при инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения / А.В. Федоринов, О.А. Сорокина, Е.А. Дуплицкая // Московский экономический журнал. – 2019. – № 1. – С. 21–29.
7. Цекоева Ф.К. Мониторинг земель на основе новых технологий / Ф.К. Цекоева // Московский экономический журнал. – 2017. – № 1. – С. 67–71.
8. Центр научных данных Sentinel (ESA-COPERNICUS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scihub.copernicus.eu/dhus> (дата обращения: 18.08.2020).
9. Цифровая база данных высот (CGIAR-CSI). 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://srtm.csi.cgiar.org> (дата обращения: 18.08.2020).
10. Эрозия и охрана почв : учебно-методическое пособие для вузов ; сост. Д.И. Щеглов, Н.С. Горбунова. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского гос. ун-та, 2011. – 34 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ**Принадлежность к организации**

Елена Владимировна Денисова – кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», Россия, г. Волгоград, e-mail: denisov.00@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 18.11.2020

Дата принятия к печати 26.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS**Affiliations**

Elena V. Denisova, Candidate of Geographical Sciences, Research Scientist, Laboratory of Geoinformation Modeling and Mapping of Agroforest Landscapes, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Russia, Volgograd, e-mail: denisov.00@mail.ru.

Received November 18, 2020

Accepted after revision December 26, 2020

**УЧЕБНИКИ, МОНОГРАФИИ, УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ,
ОПУБЛИКОВАННЫЕ УЧЁНЫМИ ВОРОНЕЖСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА
В 2020 ГОДУ**

Учебники

Антипова Л.В. Анатомия и гистология сельскохозяйственных животных : учебник и практикум для вузов / Л.В. Антипова, В.С. Слободяник, С.М. Сулейманов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2020. – 388 с.

Антипова Л.В. Анатомия и физиология сельскохозяйственных животных : учебник и практикум для среднего профессионального образования / Л.В. Антипова, В.С. Слободяник, С.М. Сулейманов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2020. – 388 с.

Бухгалтерский финансовый учет : учебник / И.М. Дмитриева, Т.Б. Турищева, О.Н. Калачева [и др.] ; под ред. И.М. Дмитриевой, Ю.К. Харакоз, В.Б. Малицкой. – Москва : Юрайт. – 490 с.

Ветеринарная рентгенология : учебник / И.А. Никулин, С.П. Ковалев, В.И. Максимов [и др.]. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 208 с.

Клиническая диагностика внутренних болезней животных : учебник для студентов высших аграрных учебных заведений, обучающихся по специальности «Ветеринария» / С.П. Ковалев, А.П. Курдеко, Е.Л. Братушкина [и др.]. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 540 с.

Плаксин В.Н. Политология : учебник и практикум / В.Н. Плаксин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2020. – 260 с.

Хромова Л.Г. Молочное дело : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Зоотехния» / Л.Г. Хромова, А.В. Востроилов, Н.В. Байлова. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2020. – 330 с.

Монографии

Востроилов А.В. Научно-практические подходы к повышению продуктивности кроликов и созданию мясных продуктов на их основе : монография / А.В. Востроилов, Е.Е. Курчаева, Е.С. Артемов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 308 с.

Доля 50-летнего влияния почвы и удобрений на величину видов урожая 10 культур севооборота : Из цикла «Судьба русского чернозема» : монография. Ч. 4, вып. 8 / В.И. Воронин, А.Ф. Стулин, Д.Н. Блеканов [и др.]. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 304 с.

Стрессы полевых культур и задержка формирования их урожая (фермеру для практического использования) : Из цикла «Судьба русского чернозёма» : монография. Ч. 4, вып. 9 / В.И. Воронин, А.Ф. Стулин, Д.Н. Блеканов [и др.]. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 374 с.

Дьячков А.П. Технология транспортно-распределительного процесса внесения навоза с использованием автономного перегрузчика : монография / А.П. Дьячков, А.Д. Бровченко. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 156 с.

Загайтов И.Б. Актуальные проблемы фундаментальной и прикладной экономической науки : монография / И.Б. Загайтов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – Ч. 13. Будущее как объективная реальность. – 184 с.

Загайтов И.Б. Актуальные проблемы фундаментальной и прикладной экономической науки : монография / И.Б. Загайтов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – Ч. 14. Общественный прогресс и развитие способов управления воспроизводством. – 144 с.

Коваленко Ю.Н. Управление развитием агропродовольственного комплекса : монография / Ю.Н. Коваленко, А.В. Улезько. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 194 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b153637.pdf>>.

Макаревич Л.О. Развитие агропродовольственных систем и механизма интеграционных взаимодействий : монография / Л.О. Макаревич, Ю.Н. Коваленко, А.В. Улезько. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 200 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b153630.pdf>>.

Сташевский В.В. Государственное регулирование развития сельского хозяйства : монография / В.В. Сташевский, Р.В. Подколзин ; под общ. ред. К.С. Терновых. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 174 с.

Теория и практика природообустройства на примере Центрального Черноземья : монография / Г. А. Радцевич, Е.В. Куликова, А.А. Черемисинов [и др.]. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 164 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b154304.pdf>>.

Учебные пособия

Автоматика : учебное пособие / Д.Н. Афоничев, С.Н. Пиляев, М.Ю. Еремин [и др.]. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 232 с.

Аристов А.В. Кормление животных с основами кормопроизводства : учебное пособие / А.В. Аристов, Н.А. Кудинова. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 146 с.

Основы микропроцессорной техники : учебное пособие / Д.Н. Афоничев. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 315 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b153603.pdf>>.

Белоглазов В.А. Физика: курс лекций для агрономов : учебное пособие для студентов факультета агрономии, агрохимии и экологии, обучающихся по направлениям: 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия», 35.03.05 «Садоводство» / В.А. Белоглазов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 233 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b153601.pdf>>.

Беляев А.Н. Теории механизмов и машин. Лабораторный практикум : учебное пособие / А.Н. Беляев, С.В. Василенко, В.В. Шередекин ; под ред. А.Н. Беляева. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 221 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/metod/m151974.pdf>>.

Высшая математика в агроинженерии : учебное пособие для обучающихся агроинженерного факультета / В.П. Шацкий, П.В. Москалев, И.В. Гриднева [и др.] ; под ред. В.П. Шацкого. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 309 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b155116.pdf>>.

Гребнев В.П. Тракторы и автомобили : теория и эксплуатационные свойства : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия» / В.П. Гребнев, О.И. Поливаев, А.В. Ворохобин ; под общ. ред. О.И. Поливаева. – 3-е изд., стер. – Москва : КНОРУС, 2020. – 260 с.

Гриднева И.В. Прикладная математика: учебное пособие для обучающихся очной формы обучения агроинженерного факультета по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» / И.В. Гриднева, Л.И. Федулова. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 109 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/metod/m155396.pdf>>.

Гриднева И.В. Теория вероятностей : учебное пособие для обучающихся очной формы обучения агроинженерного факультета по направлениям подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»; 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» / И.В. Гриднева, Л.И. Федулова, А.Е. Попов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 124 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/metod/m155397.pdf>>.

Гуринов С.Л. Актуальные вопросы военной истории России : учебное пособие : [курс лекций] / С.Л. Гуринов, Д.В. Ливенцев. – 3-е изд., доп. – Воронеж : НАУКА-ЮНИПРЕСС, 2020. – 100 с.

Гуринов С.Л. История государственных институтов власти в России : учебное пособие : [конспект лекций] / С.Л. Гуринов, Д.В. Ливенцев. – 2-е изд., доп. – Воронеж : НАУКА-ЮНИПРЕСС, 2020. – 60 с.

Извеков Е.А. Системы электроснабжения : лабораторный практикум : учебное пособие содержит сведения, необходимые для формирования профессиональных компетенций при подготовке бакалавров по направлению «Агроинженерия» ... / Е.А. Извеков, В.В. Картацев, И.В. Лакомов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 192 с.

Извеков Е.А. Электроснабжение : курсовое проектирование : учебное пособие для обучающихся по направлению «Агроинженерия», профиль подготовки бакалавров «Электрооборудование и электротехнологии в АПК» / Е.А. Извеков, В.В. Картацев. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 71 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/metod/m152121.pdf>>.

Извеков Е.А. Системы электроснабжения : лабораторный практикум : учебное пособие содержит сведения, необходимые для формирования профессиональных компетенций при подготовке бакалавров по направлению «Агроинженерия» ... / Е.А. Извеков, В.В. Картацев, И.В. Лакомов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 192 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b154307.pdf>>.

Кругляк В.В. Введение в профессиональную деятельность. Ландшафтная архитектура : учебное пособие : [предназначено для подготовки бакалавров и магистров по направлениям: Ландшафтная архитектура, Землеустройство и кадастры, Садоводство, Градостроительство] / В.В. Кругляк. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 413 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b153739.pdf>>.

Кузьменко С.В. Компьютерное проектирование деталей машин с применением графического пакета КОМПАС : учебное пособие / С.В. Кузьменко, А.А. Заболотная. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 73 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/metod/m151965.pdf>>.

Ларионов А.Н. Физика : учебное пособие на арабском языке для изучения дисциплины для обучающихся подготовительного отделения агроинженерного факультета / А.Н. Ларионов, Н.Н. Ларионова, В.С. Воишев. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 91 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/metod/m152064.pdf>>.

Макарова Е.Л. Zeit für Deutsch : учебное пособие по дисциплине «Иностранный язык» для всех направлений, профилей и специальностей / Е.Л. Макарова, Т.В. Байдикова. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 121 с.

Мелькумова Е.А. Иммуитет растений к вредным организмам : учебное пособие / Е.А. Мелькумова, А.Ф. Клишкин, Г.М. Мелькумов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 114 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/metod/m152276.pdf>.

Меренкова И.Н. Устойчивое развитие сельских территорий: особенности и механизм функционирования : учебное пособие / И.Н. Меренкова. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 121 с.

Никулин И.А. Физиотерапия в ветеринарной практике : учебное пособие / И.А. Никулин, Ю.А. Шумилин. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 119 с.

Общая физическая подготовка : учебное пособие для обучающихся всех направлений и специальностей очной и заочной форм обучения / сост. В.В. Севастьянов, Е.А. Стеблецов, Т.В. Поваляева ; под общ. ред. Е.В. Алтуховой. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 151 с.

Основы нормированного кормления и методика составления рационов для сельскохозяйственных животных : учебное пособие / сост. А.В. Аристов, Л.А. Есаулова. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 103 с.

Оценка эффективности инвестиционных проектов в агроинженерии : курс лекций : учебное пособие для обучающихся по направлению 35.04.06 «Агроинженерия» / С.А. Горланов, З.П. Медеяева, Д.Н. Бойко, С.А. Саушкин. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 149 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/metod/m156347.pdf>>.

Плаксин В.Н. Социология : учебное пособие для СПО / В.Н. Плаксин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2020. – 311 с.

Силовая подготовка в учебном процессе вуза: учебное пособие для студентов вузов очной и заочной форм обучения всех направлений и специальностей / авт.-сост. В.И. Воропаев, Ю.А. Бедняков, В.А. Каменовский ; под общ. ред. Е.В. Алтуховой. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 108 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/books/b154230.pdf>>.

Современные методы диагностики в агрохимии : учебное пособие для обучающихся по направлению 35.06.01 «Сельское хозяйство». – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 160 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/metod/m155741.pdf>>.

Сопротивление материалов : лабораторный практикум : учебное пособие [для студентов агроинженерного факультета, обучающихся по направлениям «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», «Агроинженерия» и для специальности «Наземные транспортно-технологические средства»] / А.Н. Беляев, С.В. Василенко, С.Ю. Зобов, В.В. Шередекин [и др.]. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 145 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/metod/m151624.pdf>>.

Статистика с основами социально-экономической статистики : учебное пособие / Г.И. Хаустова, Е.Б. Панина, Т.А. Панина [и др.] ; под ред. В.А. Лубкова. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 158 с.

Страноведение России : учебно-методическое пособие для иностранных слушателей подготовительного отделения ; сост. Е.А. Шендриков. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 88 с.

Стратегический менеджмент : учебное пособие / И.Ю. Федулова, Н.М. Шевцова, М.В. Загвозкин [и др.]. – Воронеж : Кварта, 2020. – 131 с.

Технология послеуборочной обработки, хранения и предреализационной подготовки продукции растениеводства : учебное пособие / В.И. Манжесов, И.А. Попов, И.В. Максимов [и др.]. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 624 с.

Физика : учебное пособие для изучения дисциплины и практических занятий для обучающихся по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства». Часть 2 / А.Н. Ларионов, Р.В. Беляев, Н.Н. Ларионова. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 103 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://catalog.vsau.ru/elib/metod/m152065.pdf>>.

**К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
КАНДИДАТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК
ДОЦЕНТА КАФЕДРЫ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ
ВОРОНЕЖСКОГО ГОСАГРОУНИВЕРСИТЕТА
НАДЕЖДЫ ИВАНОВНЫ ВАНДЫШЕВОЙ
(1920–1994)**



Надежда Ивановна Вандышева родилась 11 сентября 1920 г. в Воронеже. В 1938 г. окончила воронежскую среднюю школу № 8, а в 1939 г. поступила на 1 курс биологического факультета Воронежского государственного университета.

Во время Великой Отечественной войны в 1942 г. вместе с родителями эвакуировалась в г. Киров, где работала в должности плановика конторы № 5 Военэргомонтаж МОВСУ. В этот период семья Н.И. Вандышевой состояла из родителей и мужа.

Интересна биография мужа Надежды Ивановны – Дыбовского Юрия Вячеславовича, который был призван на службу в феврале 1940 г. Центральным РВК г. Воронежа. Согласно документам Центрального архива Министерства обороны в октябре 1941 г. под городом Мценском Ю.В. Дыбовский, будучи командиром взвода, получил приказ взорвать самолёт, находившийся на территории противника. Имея в своем распоряжении двух бойцов, Юрий Вячеславович принял на себя бой со взводом немцев. Приказ был выполнен, взвод противника уничтожен, в часть доставлены два пленных, захваченная рация и 6 автоматов. За этот подвиг Ю.В. Дыбовский в возрасте 21 года был награжден орденом Отечественной войны II степени. На фронтах Отечественной войны он находился с июня 1941 по март 1943 г., был трижды ранен, вследствие чего Дыбовского комиссовали с инвалидностью 3-й группы.

После замужества Надежда Ивановна переехала в г. Щёлково Московской области, где временно не работала в связи с рождением в 1944 г. дочери Наташи.

Через два года семья Вандышевых-Дыбовских вернулась в Воронеж, где Юрий Вячеславович начал преподавать в монтажном техникуме, а Надежда Ивановна возобновила учебу в ВГУ.

В июне 1948 г. Н.И. Вандышева окончила полный курс ВГУ по специальности «Ботаника» и решением Государственной экзаменационной комиссии под председа-

тельством выдающегося учёного, крупнейшего отечественного ботаника-филогенетика Б.М. Козо-Полянского ей была присвоена квалификация биолога-ботаника. По окончании университета она работала старшим лаборантом кафедры низших растений ВГУ.

В 1951 г. Надежда Ивановна поступила в аспирантуру Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений (ВИЗР) в г. Ленинграде по специальности «Фитопатология», которую окончила в 1953 г.

Учёный совет ВИЗР утвердил тему кандидатской диссертационной работы «Аскохитоз люцерны и обоснование мер борьбы с ним» и руководителя – кандидата биологических наук А.С. Боевского, заведующего лабораторией фитопатологии Воронежской станции защиты растений.

Полевые и лабораторные исследования, обследования посевов и эксперименты, необходимые для разработки темы, проведены на Воронежской станции защиты растений, а также на полях колхозов и совхозов Воронежской области.

Исследования Н.И. Вандышевой и их результаты имели несомненный практический интерес для животноводства, так как аскохитоз люцерны являлся одной из наиболее распространённых и вредоносных болезней грибного происхождения во всех сельскохозяйственных районах СССР. Ею были сделаны обоснованные выводы о мерах борьбы с этим заболеванием, что отвечало запросам производства. Всесторонние и обстоятельно выполненные исследования по биологии и экологии аскохитоза люцерны представляли существенный вклад в фитопатологическую науку, так как содержали новые и интересные данные о малоизученной для того времени, широко распространённой и вредоносной болезни люцерны.

С 1 сентября 1953 г. Надежда Ивановна начинает работать ассистентом кафедры микробиологии, физиологии растений и фитопатологии Воронежского сельскохозяйственного института.

В апреле 1958 г. она успешно защищает диссертацию на соискание учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук.

Позже, в 1961 г. Н.И. Вандышева становится ассистентом кафедры защиты растений Воронежского СХИ и начинает чтение лекционного курса по фитопатологии, а в октябре 1962 г. она избирается доцентом той же кафедры. 21 июля 1964 г. Н.И. Вандышева утверждена в этом звании, получив аттестат ВАК Министерства высшего образования СССР.

В июне 1966 г. Н.И. Вандышева назначена исполняющим обязанности заведующего кафедрой защиты растений. В этой должности она проработала до середины 1971 г. По словам профессора С.Г. Богоявленского, «исполняя обязанности заведующего кафедрой на протяжении 5 лет, Надежда Ивановна с честью выполнила возложенные на неё обязанности. Она безукоризненно может строить свои отношения с людьми».

С октября 1971 по июль 1981 г. работала доцентом кафедры защиты растений.

Н.И. Вандышева часто выступала с лекциями о болезнях культурных растений и методах борьбы с ними на различных семинарах и курсах для специалистов сельского хозяйства. Выступления отличались интересным содержанием, глубоким теоретическим обоснованием темы и показывали высокую эрудицию автора.

Умело сочетая педагогическую и научную деятельность, Н.И. Вандышева активно участвовала в общественной работе: она дважды избиралась депутатом городского Совета депутатов трудящихся X (1965–1967 гг.) и XI (1967–1969 гг.) созывов.

В институте Надежда Ивановна в разное время исполняла обязанности секретаря секции Общества по распространению политических и научных знаний и председателя Научного студенческого общества факультета агрохимии и почвоведения, являлась активным сотрудником общества «Знание».

Среди студентов и коллектива преподавателей Н.И. Вандышева пользовалась заслуженным уважением. По воспоминаниям, Надежда Ивановна была высококвалифицированным лектором, никогда не отказывала в замене лекций и практических заня-

тий сотрудникам кафедры. Очень трудолюбивая, дисциплинированная, требовательная к себе, обаятельная, тактичная в обращении с подчинёнными, она всегда охотно отзывалась на просьбы о выезде в районы области для оказания помощи производству.

В 1970 г. доцент кафедры защиты растений Н. И. Вандышева рекомендована руководством ВСХИ и Центральным РК КПСС г. Воронежа для участия в работе VII Международного Конгресса по защите растений, который проходил в Париже (Франция).

Н.И. Вандышева осуществляла на 5 факультетах учебную работу по дисциплине «Фитопатология», которая включала чтение лекций, проведение лабораторных занятий и учебную практику. На высоком уровне осуществлялась методическая работа, ею были освоены несколько новых курсов и разработаны новые лабораторные занятия по предмету «Фитопатология».

Научную работу проводила по теме «Болезни многолетних бобовых трав и обоснование мер борьбы с ними».

Неоднократно Н.И. Вандышева выезжала в районы области для оказания помощи работникам сельского хозяйства на месте (совхоз «Донской» Берёзовского района, совхоз «Тепличный», колхоз «Ленинский путь» Новоусманского района, Колодезный хлебоприёмный пункт).

Читала лекции агрономам по защите растений, апробаторам по зерновым культурам и картофелю. Для работников районных государственных семенных инспекций ею было прочитано более 50 лекций. Она принимала участие в составлении обзора развития вредителей и болезней сельскохозяйственных растений по Воронежской области и прогноза их появления, готовила рекомендации по методам защиты от болезней многолетних трав и др.

По результатам исследований ею опубликовано свыше 30 научных работ и около 10 газетных статей.

После выхода Н.И. Вандышевой на пенсию курс «Фитопатология» с 1981 по 1982 учебный год читала доцент Лидия Михайловна Доровская, кандидат биологических наук, выпускница Воронежского госуниверситета, которая до этого работала в Уральском СХИ. Однако она вернулась на Урал по семейным обстоятельствам, и Н.И. Вандышеву вновь попросили поработать один учебный год (1982–1983).

Н.И. Вандышева, как творческий человек с активной жизненной позицией, прошла интересный путь, полный взлётов и негативных моментов, которые достойно ею пережиты. Она была хорошей женой, матерью и бабушкой.

В памяти сотрудников кафедры и всех, кто ее знал, Надежда Ивановна Вандышева остаётся эталоном образованного преподавателя, учёного, товарища, обаятельного человека.

СПИСОК ИЗБРАННЫХ РАБОТ Н.И. ВАНДЫШЕВОЙ

1. Аскохитоз люцерны и меры борьбы с ним // Записки Воронежского СХИ. – 1957. – Т. 23, вып. 2. – С. 45–48.
2. Аскохитоз зернобобовых культур и обоснование мер борьбы с ним // Тезисы докладов научной конференции Воронежского СХИ. – Воронеж, 1957. – С. 90–91.
3. Грибные болезни семян кукурузы и борьба с ними // Тезисы докладов научной конференции Воронежского СХИ. – Воронеж : ВСХИ, 1957. – С. 84–85 (в соавторстве с Н.А. Черемисиновым).
4. Пятнистость люцерны и меры борьбы с ней // Доклады ВАСХНИЛ. – 1958. – Вып. 1. – С. 23–28.
5. Аскохитоз люцерны и обоснование мер борьбы с ним : автореферат на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. – Воронеж, 1958. – 15 с.
6. Фитонциды как средство повышения болезнеустойчивости кукурузы // Доклады Всесоюзного совещания по иммунитету растений к болезням и вредителям. – Кисшинёв, 1959. – С. 30–31.

7. Использование фитонцидов для борьбы с болезнями семян кукурузы // Глава в книге «Фитонциды». – Киев : АНУССР, 1960. – С. 52–55 (в соавторстве с Н.А. Черемисиновым).
8. Новая книга о биологии и условиях паразитизма грибов рода *Ascochyta* // Защита растений. – 1960. – № 10. – С. 56–57.
9. Испытание фунгицидов и фитонцидов в борьбе с болезнями кукурузы // Химические средства защиты растений : сборник научных трудов. – Москва, 1961. – Ч. 2. – С. 20–22 (в соавторстве с Н.А. Черемисиновым).
10. Некоторые замечания о практикуме по общей фитопатологии // Защита растений. – 1961. – № 12. – С. 16–18.
11. Зависимость заражённости семян от степени развития обертки // Кукуруза. – 1960. – № 7. – С. 44–46.
12. Роль фитонцидов в борьбе с болезнями зернобобовых // Тезисы докладов IV совещания по проблеме фитонцидов. – Киев, 1962. – С. 30–32.
13. Влияние микроэлементов на рост, развитие кукурузы и устойчивость её к заболеваниям // Научные доклады высшей школы. Серия: Биологические науки. – Москва, 1963. – № 3. – С. 157–158.
14. Микроэлементы повышают болезнеустойчивость и урожай кукурузы // Тезисы докладов IV Всесоюзного совещания по иммунитету сельскохозяйственных растений (Всесоюзная ордена Ленина академия с.-х. наук им. В.И. Ленина. Кишиневский с.-х. ин-т им. М.В. Фрунзе). – Кишинев, 1965. – С. 52–53.
15. Парша яблок в условиях Воронежской области // Тезисы докладов научной конференции Воронежского СХИ. – Воронеж, 1961. – С. 25–26.
16. Итоги изучения аскохитоза люцерны в Воронежской области // В книге «Земледелие, растениеводство, животноводство». – Воронеж, 1967. – С. 62–64.
17. Наши друзья и враги // Край Чернозёмный : сборник статей. – Воронеж, 1968. – С. 42–48.
18. Микозы яблони в Воронежской области // Записки Воронежского СХИ. – Воронеж, 1969. – С. 311–321.
19. Болезни плодовых культур и борьба с ними // Обзор вредителей и болезней сельскохозяйственных растений в 1968 г. и прогноз появления их в 1969 г. в Воронежской области. – Воронеж, 1969. – С. 92–94.
20. Болезни многолетних трав // Рекомендации по борьбе с вредителями и болезнями полевых культур в Воронежской области. – Воронеж, 1969. – С. 34–35.
21. Болезни семян люцерны и меры борьбы с ними // Земледелие и растениеводство : сборник статей. – Воронеж, 1970. – Ч. 1. – С. 151–153.
22. Болезни сада и борьба с ними // Краткий обзор развития болезней и вредителей, прогноз появления. – Воронеж, 1970. – С. 131–133.
23. Мероприятия по защите овощных культур от болезней // Рекомендации по борьбе с вредителями и болезнями плодово-ягодных и овощных культур в Воронежской области. – Воронеж : Коммуна, 1971. – С. 15–19.
24. Болезни зернобобовых культур и многолетних трав // Обзор развития вредителей и болезней сельскохозяйственных растений в 1971 г. и прогноз их появления в Воронежской области в 1972 г. – Воронеж, 1972. – С. 40–42.
25. Вредители и болезни многолетних бобовых трав // В книге «Рекомендации по защите растений от вредителей, болезней и сорняков в Воронежской области на 1972–1973 гг.». – Воронеж, 1972. – С. 13–14.
26. Микозы многолетних бобовых трав // Материалы в помощь сельскохозяйственному производству (Воронежский СХИ им. К.Д. Глинки. Обл. управление сельского хозяйства. Обл. правление НТО сельского хозяйства). Вып. 3. Биологические и химические методы защиты растений. – Воронеж, 1973. – Ч. 5. – С. 32–35.

27. Болезни сельскохозяйственных культур // В книге «Советы по защите растений»; сост. В.А. Ридер. – Воронеж : Центрально-Чернозёмное книжное изд-во, 1973. – С. 91–146.
28. К вопросу повышения устойчивости к болезням кукурузы // Вредители и болезни сельскохозяйственных культур и меры борьбы с ними : сборник научных трудов. – Воронеж, 1973. – С. 23–30.
29. Болезни бобовых культур // В книге «Методика учёта и прогноз развития вредителей и болезней растений в Центрально-Чернозёмной полосе». – Воронеж : Коммуна, 1973. – С. 76–77.
30. Защита зерновых культур от болезней и вредителей // В книге «Рекомендации по повышению культуры земледелия и урожайности зерновых культур». – Каменка, 1975. – С. 12–14 (в соавторстве с М.И. Сидоровым, З.П. Борисовой).
31. Болезни зернобобовых // Обзор развития вредителей и болезней сельскохозяйственных культур в 1974 г. и прогноз их появления в 1975 г. в Воронежской области. – Воронеж, 1975. – С. 67–70.
32. Болезни многолетних бобовых трав // Обзор развития вредителей и болезней сельскохозяйственных культур в 1974 г. и прогноз их появления в 1975 г. в Воронежской области. – Воронеж, 1975. – С. 16–17.
33. Виды рода *Ascochyta*, паразитирующие на люцерне // Защита сельскохозяйственных культур от вредителей и сорняков в Центральном Черноземье : научные труды. – Воронеж, 1975. – С. 105–115.
34. Испытание фунгицидов в борьбе с болезнями семян люцерны // Материалы в помощь сельскохозяйственному производству : в 4 ч. – Воронеж, 1976. – Ч. 2. – С. 90–93.
35. Некоторые особенности развития вредителей и биология растений Центрально-Чернозёмной полосы // Методика учёта и прогноза развития вредителей и болезней полевых культур в Центрально-Чернозёмной полосе. – Воронеж, 1976. – С. 5–9 (в соавторстве с И.Ф. Павловым).
36. Болезни зернобобовых // Методика учёта и прогноза развития вредителей и болезней полевых культур в Центрально-Чернозёмной полосе. – Воронеж, 1976. – С. 88–89.
37. Болезни многолетних трав // Методика учёта и прогноза развития вредителей и болезней полевых культур в Центрально-Чернозёмной полосе. – Воронеж, 1976. – С. 90–92.
38. Памяти Никифора Андриановича Черемисинова // Микология и фитопатология. – 1977. – Т. 11, вып. 6. – С. 524–529 (в соавторстве с М.В. Горленко, М.И. Николаевой).
39. Список видового состава грибных и бактериальных болезней полевых культур и их возбудителей в Воронежской области // Особенности экологии и фенологии вредителей и болезней сельскохозяйственных культур и борьба с ними : научные труды. – Воронеж, 1978. – Т. 94. – С. 128–132 (в соавторстве с М.В. Горленко, М.И. Николаевой).

Г.М. Мелькумов, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и микологии медико-биологического факультета Воронежского государственного университета

Е.В. Рощупкина, заведующий сектором Научной библиотеки Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I

Е.А. Мелькумова, доктор биологических наук, профессор кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I

**СОВЕТЫ ПО ЗАЩИТЕ ДОКТОРСКИХ И КАНДИДАТСКИХ ДИССЕРТАЦИЙ,
СОЗДАННЫЕ НА БАЗЕ ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I**

В настоящее время на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» функционируют четыре диссертационных совета:
Д 220.010.02, Д 220.010.03, Д 220.010.04 и Д 220.010.07.

Диссертационный совет Д 220.010.02 принимает к защите диссертации на соискание учёной степени доктора и кандидата наук по специальности

08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами – АПК и сельское хозяйство) (экономические науки).

Председатель – Терновых Константин Семёнович, доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой организации производства и предпринимательской деятельности в АПК.

Заместитель председателя – Улезько Андрей Валерьевич, доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой информационного обеспечения и моделирования агроэкономических систем.

Учёный секретарь – Агибалов Александр Владимирович, кандидат экономических наук, доцент, зав. кафедрой финансов и кредита.

Диссертационный совет Д 220.010.03 принимает к защите диссертации на соискание учёной степени доктора и кандидата наук по специальностям:

06.01.01 – Общее земледелие, растениеводство (сельскохозяйственные науки);

06.01.05 – Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений (сельскохозяйственные науки).

Председатель – Кадыров Сабир Вагидович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений.

Заместитель председателя – Дедов Анатолий Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений.

Учёный секретарь – Ващенко Татьяна Григорьевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры селекции, семеноводства и биотехнологий.

Диссертационный совет Д 220.010.04 принимает к защите диссертации на соискание учёной степени доктора и кандидата наук по специальностям:

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки, сельскохозяйственные науки);

05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве (технические науки).

Председатель – Оробинский Владимир Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей.

Заместители председателя:

Гулевский Вячеслав Анатольевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры математики и физики;

Тарасенко Александр Павлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей.

Учёный секретарь – Афоничев Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электротехники и автоматики.

Диссертационный совет Д 220.010.07 принимает к защите диссертации на соискание учёной степени доктора и кандидата наук по специальностям:

03.02.14 – Биологические ресурсы (сельскохозяйственные науки);

06.01.04 – Агрохимия (сельскохозяйственные науки).

Председатель – Мязин Николай Георгиевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии.

Заместитель председателя – Олейникова Елена Михайловна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений.

Учёный секретарь – Стекольников Нина Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция принимает ранее не опубликованные и не направленные для публикации в другие издания материалы, содержащие результаты законченных экспериментальных, теоретических и методических исследований в различных областях сельскохозяйственных, технических и экономических наук, а также сообщения о незавершённых, но уже давших определённые результаты, научных работах.

Предлагаемые к опубликованию материалы должны соответствовать научным специальностям и отраслям наук, по которым журнал включён в Перечень рецензируемых научных изданий.

Статьи принимаются объёмом до 20 страниц и 6 рисунков, краткие сообщения – до 5 страниц и 3 рисунков. В журнале могут быть представлены тематические или целевые публикации по материалам круглых столов и конференций, а также обзорные статьи.

Рукописи статей должны быть тщательно выверены и отредактированы, текст должен быть изложен ясно и последовательно, оригинальность текста – не менее 75% по системе Антиплагиат.

Материалы статей должны содержать:

- индекс УДК;
- название статьи на русском языке (должно быть кратким и четким);
- имя, отчество, фамилию автора / авторов на русском языке (по каждому автору с новой строки);
- полное название организации, где работает (-ют) или учится (-атся) автор (-ы), на русском языке;
- реферат на русском языке, оформленный в соответствии с ГОСТ 7.9-95 объёмом от 200 до 250 слов (не более 2000 знаков с пробелами), который представляет собой краткое, точное изложение статьи в соответствии с её структурой (предмет, цель работы, метод и методология проведения работы, результаты и область их применения, выводы). Реферат не разбивается на абзацы, содержит фактографию и обоснованные выводы;

- ключевые слова на русском языке (5–7 слов или словосочетаний).

Далее приводится следующая информация на английском языке:

- название статьи;
- имя, отчество, фамилия автора / авторов (по каждому автору с новой строки);
- полное название организации, где работает (-ют) или учится (-атся) автор (-ы);
- реферат (непроверенные машинные переводы рефератов не принимаются);
- ключевые слова.

Текст предлагаемых к публикации материалов рекомендуется структурировать, приводя соответствующий раздел либо без названия подзаголовка, либо используя следующие подзаголовки: введение, методика эксперимента, результаты и их обсуждение, выводы (заключение).

Каждая публикация должна иметь библиографический список, оформленный в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 (с изменениями), содержащий не менее 10 библиографических записей, сгруппированных в алфавитном порядке, самоцитирование – не более 20% списка. На каждый источник должна быть ссылка в тексте.

В конце статьи приводятся сведения об авторе (-ах) и принадлежность к организации на русском и английском языках (Author Credentials; Affiliation): имя, отчество и фамилия, учёная степень, учёное звание, должность, полное название места работы или учёбы (с указанием кафедры или подразделения организации или учреждения), а также полный почтовый адрес и контактная информация (телефон, e-mail). Информация о каждом авторе приводится с нового абзаца на русском и английском языках (пример оформления приведён на сайте журнала).

Материалы представляются в электронном виде, подготовленном в редакторе MS Word 2010. Текст статьи должен быть набран с абзачным отступом 1,25 см, кегль 12, через одинарный интервал, выравниванием по ширине и иметь следующий размер полей: левое, правое, верхнее, нижнее – 2,5 см (формат A4). Рисунки (графический материал) должны быть выполнены в форме jpg или tif с разрешением не менее 200 dpi, обеспечивать ясность передачи всех деталей (только чёрно-белое исполнение). Таблицы являются частью текста и не должны создаваться как графические объекты. Полутонные фотографии могут использоваться только при крайней необходимости. Таблицы, рисунки, а также уравнения нумеруются в порядке их упоминания в тексте.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Статьи рецензируются.

Редакторы **С.А. Дубова, Т.А. Абдулаева**
Компьютерная вёрстка **Е.В. Корнова**

Дата выхода в свет 28.02.2021 г.

Подписано в печать 28.01.2020 г. Формат 60х84^{1/8}
Бумага офсетная. Объём 38,38 п.л. Гарнитура Times New Roman.
Тираж 1100 экз. Заказ № 21650
Цена свободная; 12+

ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ
Отпечатано: Центр полиграфических услуг (типография) ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ
394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1
Адрес редакции, издателя: 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1



ISSN 2071-2243

