

ISSN 2072-9081 (print)
ISSN 2500-1396 (online)

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

Научный журнал
Федерального аграрного
научного центра
Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого



Том 21
№ 1
2020

Vol. 21
No. 1
2020

© Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудниченко»
(ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) 610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а

Издание зарегистрировано
Федеральной службой
по надзору в сфере связи,
информационных
технологий и массовых
коммуникаций

Регистрационный номер
ПИ №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

Цель журнала – публикация и распространение результатов фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых по научному обеспечению сельского и охотничьего хозяйств, при приоритетном освещении проблем рационального природопользования и адаптации агроэкосистем северных территорий к меняющимся климатическим условиям.

Целевая аудитория – научные работники, преподаватели, аспиранты, докторанты, магистранты, специалисты АПК из России, стран СНГ и дальнего зарубежья.

Рубрики журнала:

- ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ
- ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ (Растениеводство. Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции. Кормопроизводство. Земледелие, агрохимия, мелиорация. Зоотехния. Ветеринарная медицина. Звероводство, охотоведение. Механизация, электрификация, автоматизация. Экономика)
- ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
- РЕЦЕНЗИИ
- ХРОНИКА

Контент доступен
под лицензией Creative
Commons Attribution 4.0
License



Главный редактор – Сысуйев Василий Алексеевич, д.т.н., профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, научный руководитель ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Зам. главного редактора – Рубцова Наталья Ефимовна, к.с.-х.н., доцент, зав. научно-организационным отделом ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Ответственные секретари: Соболева Наталия Николаевна, инженер по НТИ научно-организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия,

Веселова Наталья Васильевна – к.с.-х., ученый секретарь научно-организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Редакционный совет

Андреев Николай Руфеевич д.т.н., чл.-корр. РАН, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института крахмалопродуктов, г. Москва, Россия

Багиров Вугар Алиевич д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Минобрнауки России, г. Москва, Россия

Баталова Галина Аркадьевна д.с.-х.н., профессор, академик РАН, зам. директора по селекционной работе, зав. отделом овса ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Гурьянов Александр Михайлович д.с.-х.н., профессор, директор Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, Россия

Дёгтева Светлана Владимировна д.б.н., врио директора Института биологии Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

Джавадов Эдуард Джавадович д.в.н., заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, профессор кафедры эпизоотологии им. В. П. Урбана Санкт-Петербургской государственной академии ветеринарной медицины, г. Санкт-Петербург, Россия

Домский Игорь Александрович д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор Всероссийского научно-исследовательского института охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова, г. Киров, Россия

Еремин Сергей Петрович д.в.н., профессор, заведующий кафедрой частной зоотехнии, разведения с.-х. животных и акушерства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, г. Нижний Новгород, Россия

Иванов Дмитрий Анатольевич д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. РАН, зав. отделом мониторинга состояния и использования осушаемых земель Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственного использования мелиорированных земель, г. Тверь, Россия

Казакевич Пётр Петрович д.т.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, зам. председателя Президиума НАН Беларуси, иностранный член РАН, г. Минск, Республика Беларусь

Косолапов Владимир Михайлович д.с.-х.н., профессор, академик РАН, директор Федерального научного центра кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса

Костяев Александр Иванович д.э.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, руководитель отдела экономических и социальных проблем развития региональных АПК и сельских территорий Северо-Западного научно-исследовательского института экономики и организации сельского хозяйства, г. Санкт-Петербург, Россия

Куликов Иван Михайлович д.э.н., профессор, академик РАН, директор Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства, г. Москва, Россия

Леднев Андрей Викторович д.с.-х.н., доцент, руководитель, главный научный сотрудник Удмуртского НИИСХ – структурного подразделения Удмуртского ФИЦ УрО РАН, г. Ижевск, Россия

Никонова Галина Николаевна д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН, руководитель отдела прогнозирования трансформации экономических структур и земельных отношений Северо-Западного научно-исследовательского института экономики и организации сельского хозяйства, г. Санкт-Петербург, Россия

Пашкина Юлия Викторовна д.в.н., Почетный работник ВПО РФ, профессор кафедры эпизоотологии, паразитологии и ветсанэкспертизы Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, г. Нижний Новгород, Россия

Савченко Иван Васильевич д.б.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела растительных ресурсов Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений, г. Москва, Россия

Журнал включен
**в Перечень рецензируемых
научных изданий,
в которых должны быть
опубликованы основные
научные результаты
диссертаций на соискание
ученых степеней
кандидата и доктора наук**

Журнал включен в базы данных
РИНЦ, AGRIS, Russian Science
Citation Index (RSCI) на ведущей
мировой платформе
Web of Science, BASE,
Dimensions, Ulrich's Periodicals
Directory, DOAJ.

Полные тексты статей
доступны на сайтах электронных
научных библиотек:
eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>;
ЭНЦХБ: [http://www.cnshb.ru/
elbib.shtml](http://www.cnshb.ru/elbib.shtml);
CYBERLENINKA:
<https://cyberleninka.ru/>;
журнала: [http://
www.agronauka-sv.ru](http://www.agronauka-sv.ru)

Журнал включен
в Реферативный журнал
и Базы данных ВИНТИ.

Оформить подписку
можно в любом
почтовом отделении
по каталогу «Пресса России»
подписной индекс 58391

Электронная версия журнала:
<http://www.agronauka-sv.ru>

Адрес издателя и редакции:
610007, г. Киров,
ул. Ленина, 166а,
тел./факс (8332) 33-10-25;
тел. (8332) 33-07-21

www.agronauka-sv.ru

E-mail:
agronauka-esv@fanc-sv.ru

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочнигова

Макет обложки
Н. Н. Соболева

Подписано к печати
28.02.2020 г.

Дата выхода в свет
17.03.2020 г.

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 11,16
Тираж 100 экз. Заказ 6.
Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

Адрес типографии:
ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока
610007, г. Киров, ул. Ленина, 166а

Самоделькин
Александр
Геннадьевич

Сафонов Владимир
Георгиевич

Сисягин
Павел Николаевич
Титова
Вера Ивановна

Токарев
Антон Николаевич

Урбан
Эрома Петрович

Цой
Юрий Алексеевич
Широких
Ирина Геннадьевна

Щенникова
Ирина Николаевна
Changzhong Ren

Ivanovs Semjons

Marczuk Andrzej

Náhlík András

Kaisa Poutanen

Wazlaw Romaniuk

Li Yu

Алешкин Алексей
Владимирович
Баранов Александр
Васильевич

Брандорф
Анна Зиновьевна
Бурков Александр
Иванович

Егошина Татьяна
Леонидовна

Ивановский
Александр
Александрович

Козлова Людмила
Михайловна
Костенко Ольга
Владимировна

Рябова Ольга
Вениаминовна
Савельев Александр
Павлович

Товстик Евгения
Владимировна

Филатов
Андрей Викторович

Шешегова
Татьяна Кузьмовна

Юнусов Губейдулла
Сибяттулович

д.б.н., профессор, заслуженный ветеринарный врач РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, г. Нижний Новгород, Россия

д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова, г. Киров, Россия

д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, г. Нижний Новгород, Россия

д.с.-х.н., профессор, заслуженный агрохимик РФ, зав. кафедрой агрохимии и агроэкологии Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, г. Нижний Новгород, Россия

д.в.н., доцент, зав. кафедрой ветеринарно-санитарной экспертизы Санкт-Петербургской государственной академии ветеринарной медицины, г. Санкт-Петербург, Россия

д.с.-х.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, заместитель генерального директора по научной работе Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию, г. Минск, Республика Беларусь

д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

д.б.н., ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией биотехнологии растений и микроорганизмов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, профессор Вятского государственного университета, г. Киров, Россия

д.с.-х.н., доцент, чл.-корр. РАН, зав. лабораторией селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Президент Байченской академии сельскохозяйственных наук (КНР), иностранный член РАН, г. Байчен, Китай

д.т.н., Латвийский университет естественных наук и технологий, г. Елгава, Латвия

д.т.н., профессор, декан факультета Люблинского природоведческого университета, г. Люблин, Польша

профессор, ректор, Университет Шопрона, Институт охраны дикой природы и зоологии позвоночных, г. Шопрон, Венгрия

профессор VTT технического исследовательского центра Финляндии, г. Эспоо, Финляндия

д.т.н., профессор, Технологического-природоведческого института, г. Варшава, Польша

профессор, научный руководитель Цилинского аграрного университета, иностранный член РАН, член Академии наук Китая, г. Чанчунь, Китай

Редакционная коллегия

д.т.н., профессор кафедры промышленной безопасности и инженерных систем Вятского государственного университета, г. Киров, Россия

д.б.н., профессор, г. Кострома, Россия

д.с.-х.н., врио директора Федерального научного центра по пчеловодству, г. Рыбное, Россия

д.т.н., профессор, заслуженный изобретатель РФ, главный научный сотрудник, зав. лабораторией зерно- и семяочистительных машин ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

д.б.н., профессор, зав. отделом экологии и ресурсосведения Всероссийского научно-исследовательского института охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова, г. Киров, Россия

д.в.н., ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией ветеринарной биотехнологии ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

д.с.-х.н., ведущий научный сотрудник, зав. отделом земледелия, агрохимии и мелиорации ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

к.э.н., доцент, врио проректора по экономике и инновациям Вятской государственной сельскохозяйственной академии, г. Киров, Россия

к.б.н., доцент кафедры микробиологии Пермской государственной фармацевтической академии, г. Пермь, Россия

д.б.н., старший научный сотрудник отдела экологии животных Всероссийского научно-исследовательского института охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова, г. Киров, Россия

к.б.н., доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии, с.н.с. центра компетенций и экологических технологий и систем, Вятский государственный университет, г. Киров, Россия

д.в.н., профессор кафедры экологии и зоологии Вятской государственной сельскохозяйственной академии, г. Киров, Россия

д.б.н., старший научный сотрудник, зав. лабораторией иммунитета и защиты растений ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

д.т.н., профессор кафедры механизации производства и переработки с.-х. продукции Аграрно-технологического института Марийского государственного института, заслуженный работник сельского хозяйства

Республики Марий Эл, г. Йошкар-Ола, Россия

Agricultural science Euro-North-East, 2020; 21(1)

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Peer-reviewed scientific journal was established in 2000

The journal is published six times per year. DOI: 10.30766

© The founder of the journal Federal Agricultural Research Center
of the North-East named N.V. Rudnitsky (FARC North-East) 610007, Kirov, Lenina str., 166a

The publication is registered
by the Federal Service for
Supervision of Communications,
Information Technology and
Mass Media

Registration number
PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

Aim of the Journal – publication and distribution of results of fundamental and applied researches conducted by native and foreign scientists for scientific support of agricultural and hunting sectors, with focus on the problems of rational use of natural resources and adaptation of agro-ecosystems of northern territories to changing climatic conditions.

Target audience – scientists, university professors, graduate students, postdoctoral, masters, specialists of agro- industrial complex from Russia, countries of CIS and far-abroad countries.

Headings

- REVIEW ARTICLE
- ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES
(Plant growing. Storage and processing of agricultural production. Fodder production. Agriculture, agrochemistry, land improvement. Zootechny. Veterinary medicine. Fur farming and hunting. Mechanization, electrification, automation. Economy)
- DISCUSSION PAPERS
- PEER-REVIEWS
- CURRENT EVENTS

All the materials of the
«Agricultural Science Euro-North-East» journal are available
under Creative Commons
Attribution 4.0 License



Editor-in-chief – Vasily A. Sysuev, Dr. of Sci. (Engineering), the professor, academician of RAS, the Honored worker of a science of the Russian Federation, academic advisor of the FARC North-East, Kirov, Russia

The deputy editor-in-chief – Natalya E. Rubtsova, Cand. of Sci. (Agricultural), the senior lecturer, head of scientific and organizational Department of the FARC North-East, Kirov, Russia

The responsible secretaries: Natalia N. Soboleva, the engineer of scientific and technical information of the FARC North-East, Kirov, Russia,
Natalya V. Veselova, Cand. of Sci. (Agricultural), the scientific secretary of the scientific and organizational Department of the FARC North-East, Kirov, Russia

Editorial council

- Nikolay R. Andreev** Dr. of Sci. (Engineering), corresponding member of RAS, academic advisor of the All-Russia scientific research institute of Starch Products, Moscow, Russia
- Vygar A. Bagirov** Dr. of Sci. (Biology), Professor, corresponding member of RAS, Director of the Department of coordination of organizations in the field of agricultural Sciences of the Ministry of education and science of Russia, Moscow, Russia
- Galina A. Batalova** Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the deputy director on selection work, the head of Department of oats of the FARC North-East, Kirov, Russia
- Alexander M. Guryanov** Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, the director of Mordovian Agricultural Research Institute, Saransk, Russia
- Svetlana V. Degteva** Dr. of Sci. (Biology), the acting director of Institute of biology of Komi Scientific Center of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia
- Eduard D. Dzhavadov** Dr. of Sci. (Veterinary), professor, academician of RAS, Honored worker of science of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine", St. Petersburg, Russia
- Igor A. Domskiy** Dr. of Sci. (Veterinary), professor, corresponding member of RAS, Director of Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia
- Sergey P. Eremin** Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Head of the Department of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia
- Dmitriy A. Ivanov** Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, corresponding member of RAS, the All-Russia scientific research institute of agricultural use of the reclaimed lands, Tver, Russia
- Petr P. Kazakevich** Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy Chairman of Presidium of Belarus NAS, a foreign member of RAS, Minsk, Republic of Belarus
- Vladimir M. Kosolapov** Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the director of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Moscow, Russia
- Aleksandr I. Kostjaev** Dr. of Sci. (Economics), the professor, academician of RAS, main researcher, of North-West scientific research institute of economy and the organization of agriculture, St. Petersburg, Russia
- Ivan M. Kulikov** Dr. of Sci. (Economics), the professor, academician of RAS, the director of the All-Russia breeding-and-technology institute of gardening and plant rearing, Moscow, Russia
- Andrei V. Lednev** Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, head of Udmurt Research Institute of Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Institution of Science Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia
- Galina N. Nikonova** Dr. of Sci. (Economics), the professor, corresponding member of RAS, North-West scientific research institute of economy and the organization of agriculture, St. Petersburg, Russia
- Yulia V. Pashkina** Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Honorary worker of higher vocational education of the Russian Federation, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia
- Ivan V. Savchenko** Dr. of Sci. (Biology), the professor, academician of RAS, main researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia
- Aleksandr G. Samodelkin** Dr. of Sci. (Biology), the professor, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia

The Journal included in the List of peer-reviewed scientific publications, where research results from «Candidate of Science» and «Doctor of Science» academic degree dissertations have to be published

The journal is included into Russian Index of Science Citation (RINC), AGRIS, Russian Science Citation Index (RSCI) on the world's leading platform Web of Science, BASE, Dimensions, Ulrich's Periodicals Directory, DOAJ

The full texts of articles are available on the websites of the following journals and scientific electronic libraries: eLIBRARY.RU, Electronic Scientific Agricultural Library, CYBERLENINKA, Google Scholar

The journal is included into Russian Index of Science Citation (RINC), Abstract journal and databases of All-Russian Institute of Scientific and Technical Information

You can subscribe in any post office According to the catalog "Press of Russia" subscription index 58391

Electronic version of the magazine: <http://www.agronauka-sv.ru>

Publisher and editorial address:
610007, Kirov, Lenina str., 166a,
tel./fax (8332) 33-10-25;
tel. (8332) 33-07-21

www.agronauka-sv.ru

E-mail: agronauka-esv@fanc-sv.ru

Technical edition, layout
Irina V. Kodochigova

Cover layout
Natalia N. Soboleva

Signed for printing
28.02.2020.

Date of exit to light
17.03.2020.

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.

Cond. peps. l. 11.16

Circulation 100 copies. Order 6.
Free price.

Address of the printing house:
FGBNU FANTS Northeast.
610007, Kirov, Lenina str., 166a

Vladimir G. Safonov

Dr. of Sci. (Biology), the professor, corresponding member of RAS, All-Russian Scientific Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia

Pavel N. Sisjagin

Dr. of Sci. (Veterinary), the professor, corresponding member of RAS, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia

Vera I. Titova

Dr. of Sci. (Agricultural), professor, Head of the Department of Agrochemistry and Agroecology of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia

Anton N. Tokarev

Dr. of Sci. (Veterinary), Head of the Department of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine", St. Petersburg, Russia

Eroma P. Urban

Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy General Director for Research, Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Minsk, Republic of Belarus

Yu. A. Tsoy

Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of RAS, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

Irina G. Shirokich

Dr. of Sci. (Biology), leading researcher, head of the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms, FARC North-East, professor at the Department of Microbiology, Vyatka State University, Kirov, Russia

Irina N. Shchennikova

Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, corresponding member of RAS, Head of the Laboratory of Selection and Primary Seed Breeding of Barley, FARC North-East

Changzhong Ren

President of the Baicheng Academy of Agricultural Sciences (China), a foreign member of RAS, Baicheng, China

Semjons Ivanovs

Dr. of Sci. (Engineering), Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia

Andrzej Marczuk

Dr. of Sci. (Engineering), professor, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland

András Náhlik

The professor, rector, University of Sopron, Institute of Wildlife Management and Vertebrate Zoology, Sopron, Hungary

Kaisa Poutanen

Dr. of Sci. (Engineering), Academy Professor, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland

Wazlaw Romanjuk

Dr. of Sci. (Engineering), the professor, Tehnological-and-naturalists' institute, Warsaw, Poland

Li Yu

The professor, the director of Institute of mycology of Jilin agrarian university, a foreign member of RAS, Changchun, China

Editorial Board

Aleksey V. Aleshkin

Dr. of Sci. (Engineering), professor at the Department of Industrial Security and Engineering systems, Vyatka State University, Kirov, Russia

Aleksandr V. Baranov

Dr. of Sci. (Biology), the professor, Kostroma, Russia

Anna S. Brandorf

Dr. of Sci. (Agricultural), Acting Director, Federal Research Center for Beekeeping, Rybnoe, Russia

Aleksandr I. Burkov

Dr. of Sci. (Engineering), the professor, main researcher, the Honored inventor of the Russian Federation, the head of Laboratory of grain- and seed-cleaning machines of the FARC North-East, Kirov, Russia

Tatyana L. Egoshina

Dr. of Sci. (Biology), professor, Head of the Department of Ecology and Resource Management, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia

Aleksandr A. Ivanovsky

Dr. of Sci. (Biology), the head of Laboratory of veterinary biotechnology of the FARC North-East, Kirov, Russia

Lyudmila M. Kozlova

Dr. of Sci. (Agricultural), the head of Department of agriculture, agrochemistry and land improvement of the FARC North-East, Kirov, Russia

Olga V. Kostenko

Cand. of Sci. (Economics), actina pro-ректор for Economy and Innovation of Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia

Olga V. Ryabova

Cand. of Sci. (Biology), associate Professor of Microbiology, Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Perm state pharmaceutical Academy", Perm, Russia

Aleksander P. Saveliev

Dr. of Sci. (Veterinary), senior researcher, the Department of Animal Ecology, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia

Yevgeniya V. Tovstik

Cand. Sci. (Biology), associate professor at the Department of Basic Chemistry and Chemistry Training Methodology, senior researcher at the Center of Competence and Environmental Technologies and Systems, Vyatka State University, Kirov, Russia

Andrey V. Filatov

Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the Department of Ecology and Zoology, Vyatka State Agricultural Academy, Kirov, Russia

Tatyana K. Sheshegova

Dr. of Sci. (Biology), the head of Laboratory of immunity and plants protection of the FARC North-East, Kirov, Russia

Gubaidulla S. Junusov

Dr. of Sci. (Engineering), the professor, Agrarian-and-technological institute of Mari State University, the Honored worker of agriculture of Republic of Mary El, Yoshkar-Ola, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРЫ

Н. В. Новоселова, А. В. Бакулина

Молекулярные маркеры в селекции сортов ячменя, устойчивых к ионной токсичности..... 7

РАСТЕНИЕВОДСТВО

А. В. Харина, О. С. Амунова

Устойчивость к пыльной головне и адаптивность сортов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР..... 18

КОРМОПРОИЗВОДСТВО

В. И. Пахомов, С. В. Брагинец, О. Н. Бахчевников, А. С. Алферов, А. И. Рухляда, А. С. Бабаджанян

Результаты экспериментальных исследований экструдирования кормов, содержащих зерно пшеницы и биомассу личинок черной львинки..... 28

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

А. В. Леднев, А. В. Ложкин

Влияние нефтяного загрязнения и носителей биопрепарата на агрофизические показатели дерново-подзолистых почв..... 43

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв, А. Г. Аксенов

Теоретические исследования технологического процесса работы пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна..... 52

А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин

Расчет траекторий частиц в пневмосепарирующем канале различными методами..... 62

ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: Российская сельскохозяйственная техника: конкурентоспособность, взгляд в будущее.

Редакционное сообщение..... 71

Комментарии к статье

Н. К. Мазитов, Р. Л. Сахапов, Ю. Х. Шогенов, Л.З. и др. «Конкурентоспособный комплекс техники и технологии для производства зерна и кормов».....

Н. В. Алдошин..... 72

З. А. Годжаев..... 73

О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин, Е. П. Парлюк

Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра..... 74

Р. С. Рахимов, И. Р. Рахимов, Д. А. Ялалетдинов, Е. О. Фетисов, Я. Ю. Хамитов, Р. М. Юмагузин, А. Р. Рахимжанов, С. В. Анохин

Разработка технологии и изготовление импортозамещающего комплекса машин для возделывания сельскохозяйственных культур..... 86

CONTENTS

REVIEWS

- Nina V. Novoselova, Anna V. Bakulina*
Molecular markers in breeding of ion-resistant barley varieties (review)..... 7

PLANT GROWING

- Anastasiya V. Kharina, Oksana S. Amunova*
Loose smut resistance and adaptability of spring soft wheat varieties of VIR collection..... 18

FODDER PRODUCTION

- Viktor I. Pakhomov, Sergey V. Braginets, Oleg N. Bakhchevnikov,
Aleksander S. Alferov, Artem I. Rukhlyada, Arkady S. Babajanyan*
The results of experimental studies of extrusion of feed containing wheat grain and black soldier fly larvae biomass..... 28

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

- Andrey V. Lednev, Andrey V. Lozhkin*
The influence of oil pollution and carriers of biological product on the agrophysical indicators of sod-podzolic soils..... 43

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

- Aleksey S. Dorokhov, Aleksey V. Sibiriev, Aleksandr G. Aksenov*
Theoretical studies of the technological process of a rod elevator with an adjustable inclination angle of the apron..... 52

- Aleksander I. Burkov, Andrei L. Glushkov, Victor A. Lazykin*
Calculation of particle trajectories in the pneumatic separation channel using various methods..... 62

DISCUSSION PAPERS: Russian agricultural machinery: competitiveness, glimpse into the future

- Editorial message..... 71

- Communication to article
N. K. Mazitov, R. L. Sakhapov, Y. Kh. Shogenov et al. «Competitive complex of machinery and technologies for the production of grain and feed»..... 72

- N. V. Aldoshin..... 72

- Z. A. Godzhaev..... 73

- Otar N. Didmanidze, Sergey N. Devyanin, Yekaterina P. Parlyuk*
Past, present, future of agricultural tractors..... 74

- Rais S. Rakhimov, Ildar R. Rakhimov, Denis A. Yalaletdinov, Evgeny O. Fetisov,
Yanis Yu. Khamitov, Rim M. Yumaguzhin, Arthur R. Rakhimzhanov, Sergey V. Anokhin*
Development of technology and manufacturing of an import-substituting complex of machines for cultivating crops..... 86

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.07-17>

УДК 631.527:577.29

Молекулярные маркеры в селекции сортов ячменя, устойчивых к ионной токсичности (обзор)

© 2020. Н. В. Новоселова, А. В. Бакулина

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В обзоре рассмотрены перспективы использования ДНК-маркеров в селекции ячменя на устойчивость к токсичности ионов алюминия, бора, марганца и кадмия. В настоящее время идентифицировано достаточно много генов и локусов количественных признаков (QTLs), связанных с ионоустойчивостью ячменя. Стандартными ген-специфичными маркерами устойчивости к ионам алюминия признаны маркеры 1kb-insertion и HvMATE-2Indel, которые сцеплены с геном HvAACT1. Известные QTLs пока требуют валидации, но в перспективе могут служить основой для пирамидирования нескольких локусов устойчивости к ионам алюминия в одном генотипе. Также разработаны молекулярные маркеры, специфичные к генам устойчивости ячменя к бору (HvBot1, HvNIP2;1 и HvBot2), выявлен и валидирован QTL устойчивости ячменя к ионной токсичности марганца QSur.yf.3, идентифицированы QTLs, гены и маркеры, связанные с низким накоплением в растениях ячменя кадмия. Основное внимание в большинстве исследований уделено скорее поиску и разработке маркеров, сцепленных с ионоустойчивостью, чем их практическому применению в селекции новых линий и сортов. Тем не менее, в селекционных программах уже используются маркеры, связанные с устойчивостью ячменя к высоким концентрациям ионов алюминия и бора. Маркер-вспомогательная селекция (MAS) имеет высокий потенциал, а достижения научного прогресса с течением времени делают ее технологии доступнее, проще и дешевле.

Ключевые слова: маркер ассоциированная селекция, ячмень, абиотический стресс, алюминий, бор, марганец, кадмий**Благодарности:** работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (тема № 0528-2019-0008).**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.**Для цитирования:** Новоселова Н. В., Бакулина А. В. Молекулярные маркеры в селекции сортов ячменя, устойчивых к ионной токсичности. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(1):07-17. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.07-17>

Поступила: 17.01.2020

Принята к публикации: 13.02.2020

Опубликована онлайн: 28.02.2020

Molecular markers in breeding of ion-resistant barley varieties (review)

© 2020. Nina V. Novoselova, Anna V. Bakulina

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The review presents the perspectives of using DNA-markers in barley breeding for resistance to toxicity of aluminum, boron, manganese and cadmium ions. Currently, there have been identified quite a number of ion-resistance genes and quantitative trait loci (QTLs). Markers 1 kb-insertion and HvMATE-2Indel that are linked to the HvAACT1 gene are recognized as standard gene-specific markers of aluminum resistance. Loci QTLs still require validation, but in the future they can serve as a basis for pyramiding several loci of aluminum tolerance in a single genotype. Molecular markers specific to the boron resistance genes of barley (HvBot1, HvNIP2;1 and HvBot2), and the QTL of barley resistance to the manganese toxicity (QSur.yf.3H) have also been developed. QTLs, genes, and markers related to low cadmium accumulation were identified in barley. Most studies focus on finding and developing markers linked to ion resistance rather than on their practical application in plant selection. However, breeding programs have already used markers related to the resistance of barley to high concentrations of aluminium and boron ions. Marker-assisted selection has high potential, and in course of time advances in science make its technologies more accessible, easier, and less expensive.

Keywords: marker-assisted selection, barley, abiotic stress, aluminum, boron, manganese, cadmium**Acknowledgement:** the research was carried out within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0008).**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.**For citation:** Novoselova N. V., Bakulina A. V. Molecular markers in breeding of ion-resistant barley varieties. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(1):07-17. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.07-17>

Received: 17.01.2020

Accepted for publication: 13.02.2020

Published online: 28.02.2020

Маркер-вспомогательная селекция (MAS) – селекция, использующая отбор с помощью молекулярных маркеров (или ДНК-маркеров), тесно сцепленных с целевым геном. Применение ДНК-маркеров позволяет сократить время и объем работы по созданию новых сортов, т. к. растения для анализа можно отбирать на любых стадиях развития, в том числе на ранних, изымая из селекционного процесса значительное количество материала.

На данный момент существует большое разнообразие типов молекулярных маркеров. Первыми ДНК-маркерами, использованными в работах по генетике растений, были RFLP-маркеры, или маркеры полиморфизма длины рестрикционных фрагментов. Развитию исследований по картированию генов и локусов способствовало появление ПЦР-маркеров, более дешевых и удобных в работе, чем предыдущее поколение ДНК-маркеров. Полимеразная цепная реакция (ПЦР) – универсальный метод анализа, который широко применяется и постоянно совершенствуется. Среди ПЦР-маркеров востребованными и подходящими для идентификации генов проявили себя микросателлитные маркеры (SSR-маркеры). Они предназначены для выявления в генотипе гипервариабельных последовательностей, состоящих из простых повторов (микросателлитов). Следующей ступенью эволюции молекулярных маркеров являются различные технологии на основе использования ДНК-чипов, такие как монолокусные SNP-маркеры (маркеры однонуклеотидного полиморфизма) и мультилокусные DArT-маркеры (маркеры ДНК-чип технологии для изучения разнообразия) [1]. К SNP-маркерам относятся чипы GoldenGate и маркеры KASP (конкурентной аллель-специфичной ПЦР). Важной характеристикой молекулярных маркеров является их пропускная способность. Она зависит, во-первых, от максимального количества локусов, которые могут быть исследованы в ходе анализа, во-вторых, от максимального количества линий или образцов, которые могут быть проанализированы в рамках одного эксперимента без потери экономической эффективности. Вышеперечисленные ДНК-маркеры имеют различную пропускную способность анализа: от низкой (RFLP-маркеры) до средней (SSR-маркеры) и высокой (SNP- и DArT-маркеры). В настоящее время выделяют также маркерные системы с ультравысокой пропускной способностью анализа (англ. ultra high-throughput). К ним относятся GBS-маркеры

(маркеры для генотипирования посредством секвенирования) [2].

Создание устойчивых к абиотическому стрессу сортов – важная задача селекции ячменя. Одним из факторов абиотического стресса является ионная токсичность почвы. Ионная токсичность приводит к нарушению физиологических процессов, происходящих в растениях, что в итоге служит причиной снижения урожайности и ухудшения качества растениеводческой продукции [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Применение ДНК-маркеров, сцепленных с генами и локусами устойчивости к данному фактору, может способствовать оптимизации схемы селекции, уменьшению времени и трудозатрат, необходимых для создания нового сорта.

Цель работы – рассмотреть перспективы использования молекулярных маркеров в селекции сортов ячменя на устойчивость к токсичности ионов алюминия, бора, марганца и кадмия; и на основании анализа накопленного за последние 50 лет мирового опыта относительно генетической детерминации устойчивости ячменя к ионной токсичности выявить наиболее эффективные мишени и разработанные к ним ПЦР-маркеры для дальнейшего внедрения в практическую селекцию ячменя.

Повышение устойчивости ячменя к ионам алюминия. Алюминий занимает третье место по распространенности в литосфере после кислорода и кремния. Преобладающим компонентом большинства почвообразующих пород являются алюмосиликаты. Обычно алюминий находится в почве в виде труднорастворимых соединений, однако может быть и в обменно-поглощенном состоянии. Его свободные ионы в токсических концентрациях наносят значительный вред культурным растениям [3]. Наиболее высокая токсичность ионов алюминия проявляется на кислых почвах, при pH ниже 4. К высокой миграционной и реакционной способности алюминия также приводит избыточное увлажнение почвы [4].

Из-за избытка ионов алюминия нарушается минеральное питание растений. В частности, ингибируется поглощение кальция, транспорт фосфора в надземные органы, подавляется усвоение и обмен азота. Продукты взаимодействия ионов алюминия с растением могут вызвать структурные и функциональные повреждения тканей. Токсичность алюминия затрагивает фотосинтетический аппарат растений: уменьшается содержание хло-

рофилла, разрушаются хлоропласты, снижается интенсивность фотосинтеза. Кроме того, может происходить образование активных форм кислорода в тканях растений, что приводит к окислительному повреждению биологических мембран, изменениям в работе антиоксидантных ферментов и дисбалансу метаболитов, участвующих в окислительных реакциях. Высокие концентрации алюминия также влияют на водный режим, снижают всхожесть семян, тормозят рост корневой системы, уменьшают длину и массу корней. В целом, происходит угнетение роста и развития сельскохозяйственных культур, снижается их урожайность [3, 4, 5].

Таблица 1 – Гены и локусы алюмоустойчивости ячменя /
Table 1 – Genes and loci of barley aluminum resistance

Локус или ген / Locus or gene	Источник гена / Source of the gene	Хромосомная локализация / Chromosomal localization	Ссылка / Reference
<i>Alp</i>	Dayton	4HL	[13, 17]
<i>Alt (Alp2)</i>	WB229	4HL	[15, 18]
<i>Alp3</i>	Brindabella	4HL	[18]
<i>HvAACT1 (HvMATE)</i>	Murasakimochi, Dayton	4HL	[19, 20]
QTLs	-	1H, 2H, 3H, 4H, 5H, 6H, 7H	[21, 22, 23, 24]

Однако использование RFLP-маркеров связано с применением радиоактивно меченых проб и имеет высокую стоимость [1]. В работах группы австралийских ученых [15, 18] были выделены локусы толерантности к алюминию *Alt (Alp2)* у сорта WB229 и *Alp3* у сорта Brindabella. В дальнейшем исследователи пришли к выводу, что *Alp*, *Alp2* и *Alp3* являются одним и тем же локусом, вероятно с несколькими аллелями, контролирующими разную степень проявления признака, т. к. устойчивость к алюминию у сорта Dayton проявляется сильнее, чем у сортов WB229 и Brindabella [16].

Позднее были разработаны SSR-маркеры, сцепленные с локусом алюмоустойчивости ячменя. По сравнению с RFLP-маркерами, SSR-маркеры более просты и технологичны в использовании, экономически выгодны, не требуют обязательного использования радиоактивных изотопов, что делает их более подходящими для рутинного анализа большого количества образцов. Среди имеющихся SSR-маркеров стоит выделить *Vmag353*, *Vmac310* и *HVM68*, которые наиболее тесно сцеплены с локусом *Alp* и обладают высоким уровнем полиморфизма. Эффективность отбора алюмоустойчивых генотипов с использованием

В ряде зарубежных исследований был показан моногенный характер наследования алюмоустойчивости ячменя [12, 13, 14, 15, 16]. Еще в начале 70-х гг. прошлого века в США был определен локус *Alp*, контролирующий толерантность растений ячменя к алюминию [17]. Позднее E. Minella и M. Sorrels [13], работая с сортом Dayton, установили расположение локуса *Alp* на хромосоме 4 (табл. 1); а Y. Tang с соавторами определили RFLP-маркеры, тесно сцепленные с локусом *Alp* [14], благодаря чему появилась возможность отбирать нужные для селекции алюмоустойчивых сортов генотипы.

маркеров *Vmag353* и *Vmac310* составляет от 92 до 100 %. Маркеры *Vmag353*, *Vmac310* и *HVM68* нашли применение для скрининга исходного материала в селекционных программах Нового Южного Уэльса (Австралия) [15, 16]. Также с их помощью в Чили была создана алюмоустойчивая линия ячменя Andes-171-96-*HvAACT1*. Использование молекулярных маркеров в ходе селекции дало возможность сохранить 98,7 % генома рекуррентного родителя и успешно перенести ген устойчивости к алюминию от сорта-донора Dayton. При этом у Andes-171-96-*HvAACT1* масса зерен с одного растения в условиях токсичности ионов алюминия была значимо выше, чем у изогенных линий, которые не несли гена устойчивости. Кроме того, маркер-вспомогательный отбор в сочетании с методом культуры эмбрионов и выращиванием растений в теплицах позволил сократить весь селекционный процесс до 18 месяцев [25].

J. Ma с соавторами определили у ячменя главный QTL (локус количественного признака), отвечающий за выделение лимонной кислоты и совпадающий по положению на четвертой хромосоме с локусом *Alp*. Это дало возможность подтвердить, что основной механизм алюмоустойчивости ячменя заключается

в выделении лимонной кислоты, нейтрализующей ионы алюминия. При этом происходит связывание алюминия в виде малоподвижных хелатных комплексов на поверхности клеточных стенок корня и в ризосфере, что позволяет замедлить или полностью прекратить поступление токсичных ионов в растение [26]. В 2007 году двумя авторскими коллективами были опубликованы работы по идентификации гена *HvAACT1* (*HvMATE*), продуктом которого является белок-транспортер ионов лимонной кислоты [19, 20].

В дальнейшем были определены различные мутации гена *HvAACT1*, влияющие на степень алюмоустойчивости сортов ячменя (табл. 2). При изучении сорта Murasakimochi, было обнаружено, что экспрессию гена *HvAACT1* значительно повышает инсерция размером 1023 п. н. (1kb- insertion) [27]. В 2013 году Bian соавторами сообщили об еще одной важной мутации – делеции размером 21 п. н. (*HvMATE-21indel*), также увеличивающей экспрессию гена *HvAACT1* [28].

Для определения наличия или отсутствия данных мутаций у сортов ячменя были разработаны соответствующие ПЦР-маркеры. Маркеры 1kb-insertion и *HvMATE-21indel* в настоящий момент являются стандартными ген-специфичными маркерами алюмоустойчивости, наиболее подходящими для отбора требуемых генотипов [29, 30]. В исследованиях отмечается, что по точности определения фенотипической изменчивости *HvMATE-21indel* превосходит маркеры *Bmag353* и *Bmac310* на 10-20%. [28, 29]. При изучении последовательностей гена *HvAACT1* сортов ячменя с разной устойчивостью к алюминию между ними также был выявлен однонуклеотидный полиморфизм (SNP-1,198), ведущий к изменению аминокислотной последовательности синтезируемого белка. Для определения данной мутации Bian с соавторами использовали разработанный ими ген-специфичный маркер *Cit7*. Сравнение его с *Bmac310* и *Bmag353* показало, что маркер *Cit7* более точен в определении фенотипической изменчивости.

Таблица 2 – Мутации гена *HvAACT1* (*HvMATE*), влияющие на алюмоустойчивость сортов ячменя / Table 2 – Mutation of the *HvAACT1* (*HvMATE*) gene that affect the aluminum resistance of barley varieties

Мутация / Mutation	Маркер / Marker	Источник гена / Source of the gene	Ссылка / Reference
1kb-insertion	1kb-insertion	Murasakimochi	[27]
<i>HvMATE-21indel</i>	<i>HvMATE-21indel</i>	Svanhals	[28]
SNP-1,198	<i>Cit7</i>	Br2	[31]

Однако хотя SNP-1,198 и коррелирует с алюмоустойчивостью сортов ячменя, было выявлено, что он играет менее важную роль в проявлении признака по сравнению с мутациями 1kb-insertion и *HvMATE-21indel* [30, 31].

Несмотря на то, что, как уже говорилось ранее, во многих работах был показан моногенный характер наследования устойчивости растений ячменя к ионам алюминия, исследователи указывают, что этот признак может иметь полигенную природу и различаться по механизму регуляции [21, 32, 33]. Так в работе [33] сообщается о 30 генах, различающихся по уровню экспрессии у алюмоустойчивых и алюмочувствительных генотипов ячменя.

В ходе исследований множества культурных сортов и дикорастущих разновидностей ячменя были определены QTLs алюмоустойчивости и сцепленные с ними ДНК-маркеры. Исследователи из Германии при работе с дигамной популяцией ячменя Oregon Wolf идентифицировали минорные QTLs

толерантности к ионам алюминия, находящиеся на второй, третьей и четвертой хромосомах. При этом использовались RFLP-, SSR- и SNP-маркеры. Были определены тесно связанные с данными локусами SSR-маркеры GBM1251 (хромосома 2), GBM1233 (хромосома 3) и RFLP-маркер GBR441 (хромосома 4) [21, 22]. Позднее группа авторов из Китая с помощью DArT-маркеров выявила QTLs алюмоустойчивости у 166 генотипов дикорастущего и культурного ячменя. Маркеры *bpb-6949* (хромосома 4) и *bpb-0631* (хромосома 1) определяли соответственно 25,6 и 23,1 % фенотипической изменчивости культурных сортов ячменя по устойчивости к ионам алюминия. Кроме того были идентифицированы новые QTLs алюмоустойчивости у дикорастущих образцов ячменя на второй и седьмой хромосомах [23]. В Австралии также с использованием DArT-маркеров на основании анализа 218 линий культурного и дикорастущего ячменя были определены QTLs, контролирующие алюмо-

устойчивость растений [24]. Восемь из 22 выявленных локусов совпадали с полученными в работе [23]. QTLs, выявленные в ходе указанных исследований, требуют дальнейшего изучения и валидации, что позволит использовать маркер-вспомогательный отбор для пирамидирования генов устойчивости к ионам алюминия в создаваемых сортах.

Устойчивость к избыточным концентрациям ионов бора и марганца. Бор является одним из микроэлементов, необходимых для растений, однако разница между недостаточным содержанием бора в почве и его токсичным уровнем очень невелика [34]. Проблема

токсичности бора характерна в основном для засушливых почв с высокой степенью засоленности [35]. Поглощение данного микроэлемента растениями повышается при низком pH почвы, поэтому токсичность высоких концентраций бора может сильнее проявляться на кислых почвах. [34]. Токсичность борат-ионов приводит к хлорозу, краевым ожогам нижних листьев ячменя, снижает урожайность культуры [6].

В 1999 году в работе [36] у алжирского образца ячменя Sahara было описано четыре локуса, отвечающих за устойчивость к токсичности бора, и сцепленные с ними RFLP-маркеры (табл. 3).

Таблица 3 – Гены и локусы устойчивости ячменя к ионам бора /
Table 3 – Genes and loci of barley resistance to boron ions

Ген или QTL / Gene or QTL	Хромосомная локализация / Chromosomal localization	Ссылка / Reference
QTLs	2H, 3H, 4H, 6H	[36]
<i>HvBot1</i>	4HL	[37, 38]
<i>HvNIP2;1</i>	6HL	[39]
<i>HvBot2</i>	3H	[40]

Установлено, что локус, расположенный на хромосоме 2, контролирует степень поражения листьев. Локус на хромосоме 3 отвечает за рост корней под влиянием борат-ионов. Локус на хромосоме 6 связан с усвоением растениями ячменя бора из почвы, за что также отвечает локус на хромосоме 4, который, кроме того, контролирует длину корней, массу сухого вещества и степень поражения листьев ячменя в условиях токсичности бора. При этом локусы второй и четвертой хромосом признаны ключевыми для MAS на устойчивость сортов ячменя к ионам бора.

В дальнейшем были определены SSR-маркеры, подходящие для широкого применения в селекции на бороустойчивость [41, 42]. В 2002 году был зарегистрирован австралийский сорт ячменя Sloop Vic, в который путем беккроссирования был перенесен локус второй хромосомы из генотипа Sahara [41]. L. Emebiri с соавторами в 2009 году сообщили об успешной интрогрессии локуса бороустойчивости, находящегося на хромосоме 4, в генотип линии пивоваренного ячменя VB9104. В ходе возвратных скрещиваний для отбора нужных генотипов использовался SSR-маркер EBmac679 [43]. Также путем возвратных скрещиваний в другой работе [44] локусы бороустойчивости второй и четвертой хромосом ячменя были перенесены из генотипа Sahara в генотипы

коммерческого сорта Sloop и селекционной линии VB9104. Для отбора генотипов среди беккроссных линий использовались SSR-маркеры EBmac679 и GMS003.

В 2007 году был идентифицирован ген бороустойчивости *HvBot1* [37, 38]. Позднее Schnurbusch с соавторами обнаружили, что за данный признак также отвечает ген *HvNIP2;1*. Продукт гена *HvBot1* влияет на интенсивность выделения бора из корней в почву, а продукт гена *HvNIP2;1* – на интенсивность поглощения бора растениями [39]. Установлено, что к генам-кандидатам, представляющим интерес для MAS ячменя на устойчивость к бору, относится и ген *HvBot2*, чей белок тоже является транспортером бора и находится на хромосоме 3 в области локуса, выявленного ранее [39]. В 2015 году в генах *HvBot1* и *HvNIP2;1* были идентифицированы SNPs, которые имели место в генотипе Sahara, но отсутствовали у чувствительных к токсичности бора сортов. Исследователями также была выявлена характерная для образца Sahara делеция в области гена *HvBot2*. Для определения данных мутаций были разработаны KASP-маркеры. Маркеры wri57 и wri59 позволили обнаружить ранее неизвестный донор бороустойчивости – сорт Ethiopia 756, который в дальнейшем может быть полезен в селекции ячменя [40].

Марганец, как и бор, необходим для роста и развития растений, но может оказывать токсичное действие при избыточной концентрации. При этом ухудшается обмен веществ, нарушаются процессы закладки генеративных органов, оплодотворения и налива зерна [7]. Токсичное действие ионов марганца на растения усиливается при повышенной кислотности почвы и возникновении анаэробных условий [45]. X. Huang с соавторами, изучая различающиеся по устойчивости к затоплению сорта ячменя Yerong (устойчивый) и Franklin (неустойчивый), идентифицировали четыре QTLs, значимых для выживаемости растений при токсичности марганца. Также были определены два QTLs, контролирующие содержание хлорофилла в листьях ячменя в данных условиях. Для картирования популяции использовались DArT- и SSR-маркеры. Интересно, что локус *QSur.yf.1H*, обеспечивающий выживаемость растений при избытке ионов марганца, был определен в генотипе неустойчивого к затоплению сорта Franklin. Установлено, что главный локус толерантности к ионной токсичности марганца *QSur.yf.3H* располагается на третьей хромосоме рядом с SSR-маркером Vmag0013 и определяет 21 % фенотипической изменчивости. Локус *QSur.yf.3H* валидирован и может быть использован в MAS

сортов ячменя, устойчивых к токсичности марганца [46].

Повышение устойчивости ячменя к токсичности ионов кадмия. Кадмий является одним из наиболее опасных для растений, животных и человека тяжелых металлов. Загрязнение почвы происходит через сточные воды, отходы промышленных предприятий, а также при внесении фосфорных удобрений и пестицидов, содержащих соли кадмия. Повышенная подвижность кадмия во всех средах приводит к сильной токсичности его ионов для растительного организма [47]. Под влиянием кадмия нарушается фотосинтетическая активность и другие важные процессы жизнедеятельности растений. Это является причиной ухудшения качества растениеводческой продукции [8, 9, 10, 11]. Кроме того, поступая в организм человека вместе с пищей, кадмий негативно влияет на эндокринную и пищеварительную системы, обладает канцерогенным эффектом [48].

На данный момент известны две стратегии устойчивости растений к токсичности ионов кадмия. Первая заключается в уменьшении поступления ионов в корни, вторая – в иммобилизации и запасании кадмия внутри клеток растения [49]. Исходя из высокой опасности кадмия для человека, интерес представляет создание сортов с низким накоплением данного элемента.

Таблица 4 – Гены и локусы устойчивости ячменя к ионам кадмия /
Table 4 – Genes and loci of barley resistance to cadmium ions

Ген или QTL / Gene or QTL	Хромосомная локализация/ Chromosomal localization	Ссылка / Reference
<i>HvHMA2</i>	7H	[52]
QTLs	1H, 2H, 3H, 4H, 5H, 6H, 7H	[50, 51]
<i>HvHMA3</i>	5H	[50]
<i>HvIRT1</i>	4H	
<i>HvNramp5</i>	4H	[50, 53]
<i>HvPAA1</i>	7HS	[51]

Накопление кадмия в органах ячменя является сложным количественным признаком. D. Wu с соавторами [53], проанализировав 100 сортов ячменя с использованием SNP-маркеров, обнаружили положительную корреляцию между концентрацией кадмия в побеге и зерне. В результате работы было идентифицировано девять QTLs, связанных с накоплением кадмия в корнях, 21 QTLs, отвечающих за накопление кадмия в побеге, 14 QTLs, контролирующих перемещение кадмия от корней

к побегу, а также 15 QTLs, контролирующих накопление кадмия в зерне ячменя. Два главных QTLs, отвечающих за накопление кадмия в зерне, были идентифицированы на второй и пятой хромосомах [50]. В недавней работе [51] сообщается о результатах картирования популяции дигаплоидных линий, полученных при скрещивании устойчивого к кадмию сорта Weisuobuzhi и неустойчивого сорта Suyinmai 2 с использованием SSR- и GBS-маркеров. Было идентифицировано 24 QTLs, связанных с раз-

личными характеристиками роста и развития растений ячменя в условиях кадмиевого стресса. Выявлено, что локус *qShCd7H*, находящийся на хромосоме 7, связан с накоплением кадмия в побегах ячменя и определяет 17 % фенотипической изменчивости. Исследователи отмечают, что на основе GBS-маркеров TP18054 и TP11089, связанных с этим локусом, могут быть разработаны ПЦР-маркеры для рутинных лабораторных исследований [51]. В ряде работ [50, 51, 52, 53] также определены гены, отвечающие за низкое накопление кадмия в растениях ячменя (табл. 4).

Идентифицированные к настоящему времени QTLs, гены и связанные с ними маркеры в перспективе будут полезны для селекции сортов ячменя с низким накоплением кадмия.

Заключение. На данный момент идентифицировано и картировано значительное количество генов и локусов, отвечающих за устойчивость ячменя к токсичности ионов алюминия, бора, марганца и кадмия. Сравнение последовательностей генов устойчивости к ионной токсичности позволяет пойти дальше и выявить конкретные мутации, связанные с признаком. Так, у гена *HvAACT1* установлено несколько мутаций, сцепленных с алюмоустойчивостью. Разработанные для их обнаружения маркеры 1kb-insertion, *HvMATE-21indel* и *Cit7* оказались точнее в определении фенотипической изменчивости, чем неспецифичные SSR-маркеры *Bmac310* и *Bmag353*. У генов устойчивости к бору *HvBot1*, *HvBot2* и

HvNIP2;1 также выявлены мутации, связанные с проявлением признака.

Стоит отметить, что основное внимание в большинстве исследований уделяется скорее подбору и разработке маркеров, сцепленных с ионоустойчивостью, чем их практическому применению для селекции новых линий и сортов ячменя. С одной стороны, это можно объяснить недостаточным уровнем взаимодействия между молекулярными биологами и селекционерами [54, 55], с другой – кажется вполне естественным, что поиск и разработка маркеров предшествуют их внедрению в схемы селекции. Метод MAS имеет высокий потенциал, а достижения научного прогресса с течением времени делают ее технологии доступнее, проще и дешевле [54]. В селекционных программах уже используются маркеры, связанные с устойчивостью ячменя к высоким концентрациям ионов алюминия и бора. Применение молекулярных маркеров позволяет обнаруживать новых доноров ионоустойчивости, контролировать передачу целевого гена в ходе скрещиваний.

Таким образом, выявление и применение ДНК-маркеров открывает новые перспективы для селекции сортов ячменя, устойчивых к токсичным для растения ионам. Исследования в данной области важны как с точки зрения повышения урожайности растений и качества продукции в неблагоприятных условиях выращивания, так и с точки зрения безопасности и здоровья человека.

Список литературы

1. Хлесткина Е. К. Молекулярные маркеры в генетических исследованиях и в селекции. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015;17(4/2):1044-1054. Режим доступа: <https://vavilov.elpub.ru/jour/article/view/220#>

Khlestkina E. K. *Molekulyarnye markery v geneticheskikh issledovaniyakh i v seleksii*. [Molecular markers in genetic studies and breeding]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2015;17(4/2):1044-1054. (In Russ.). URL: <https://vavilov.elpub.ru/jour/article/view/220#>

2. Mir R. R., Hiremath P. J., Riera-Lizarazu O., Varshney R. K. Evolving molecular marker technologies in plants: from RFLPs to GBS. *Diagnostics in Plant Breeding*. Springer, Dordrecht, 2013. pp. 229-247. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-5687-8_11

3. Амосова Н. В., Николаева О. Н., Сынзыныс Б. И. Механизмы алюмотолерантности у культурных растений (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2007;(1):36-42. Режим доступа: <http://agrobiology.ru/articles/1-2007amosova.pdf>

Amosova N. V., Nikolaeva O. N., Synzynys B. I. *Mekhanizmy alyumotolerantnosti u kul'turnykh rasteniy (obzor)*. [Mechanisms of aluminum tolerance in cultivated plants (review)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2007;(1):36-42. (In Russ.). URL: <http://agrobiology.ru/articles/1-2007amosova.pdf>

4. Яковлева О. В. Фитотоксичность ионов алюминия. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018;179(3):315-331. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-3-315-331>

Yakovleva O. V. *Fitotoksichnost' ionov alyuminiya*. [Phytotoxicity of aluminum ions]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2018;179(3):315-331. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-3-315-331>

5. Карманенко Н. М. Сортовая реакция зерновых культур на низкие температуры, условия закисления и ионы алюминия. *Сельскохозяйственная биология*. 2014;(5):66-77. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sortovaya-reaktsiya-zernovykh-kultur-na-nizkie-temperatury-usloviya-zakisleniya-i-iony-alyuminiya>

Karmanenko N. M. *Sortovaya reaktsiya zernovykh kul'tur na nizkie temperatury, usloviya zakisleniya i iony alyuminiya*. [Response to low temperature, soil acidification and aluminium in the varieties of cereal crops]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2014;(5):66-77. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sortovaya-reaktsiya-zernovykh-kultur-na-nizkie-temperatury-usloviya-zakisleniya-i-iony-alyuminiya>

6. Азаренко Ю. А., Гаврильченко О. Л. Влияние высоких концентраций бора и легкорастворимых солей на поступление микроэлемента в растения и их продуктивность. *Омский научный вестник*. 2003;(3(24)):176-179. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vysokih-kontsentratsiy-bora-i-legkorastvorimyh-soley-na-postuplenie-mikroelementa-v-rasteniya-i-ih-produktivnost>

Azarenko Yu. A., Gavril'chenko O. L. *Vliyanie vysokikh kontsentratsiy bora i legkorastvorimyykh soley na postuplenie mikroelementa v rasteniya i ikh produktivnost'*. [Effect of high concentration of boron and readily soluble salts to translocation of microelement to plants and their productivity]. *Omskiy nauchnyy vestnik*. 2003;(3(24)):176-179. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vysokih-kontsentratsiy-bora-i-legkorastvorimyh-soley-na-postuplenie-mikroelementa-v-rasteniya-i-ih-produktivnost>

7. Побилат А. Е., Волошин Е. И. Марганец в почвах и растениях южной части Средней Сибири. *Микроэлементы в медицине*. 2017;18(2):43-47. Режим доступа: [http://journal.microelements.ru/trace_elements_in_medicine/2017_2/43_18\(2\)_2017.pdf](http://journal.microelements.ru/trace_elements_in_medicine/2017_2/43_18(2)_2017.pdf)

Pobilat A. E., Voloshin E. I. *Marganets v pochvakh i rasteniyakh yuzhnoy chasti Sredney Sibiri*. [Manganese in soils and plants of the southern part of Central Siberia]. *Mikroelementy v meditsine = Trace Elements in Medicine (Moscow)*. 2017;18(2):43-47. (In Russ.). URL: [http://journal.microelements.ru/trace_elements_in_medicine/2017_2/43_18\(2\)_2017.pdf](http://journal.microelements.ru/trace_elements_in_medicine/2017_2/43_18(2)_2017.pdf)

8. Черных Н. А., Челтыгмашева И. С., Баева Ю. И. Загрязнение почв тяжелыми металлами и качество растениеводческой продукции. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2003;(9):179-187. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9912206>

Chernykh N. A., Cheltygmasheva I. S., Baeva Yu. I. *Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami i kachestvo rastenievodcheskoy produktsii*. [Soil pollution and quality of plant production]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti = RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2003(9):179-187. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9912206>

9. Титов А. Ф., Казнина Н. М., Шалыго Н. В., Радюк М. С., Будакова Е. А., Лайдинен Г. Ф., Таланова В. В., Таланов А. В., Венжик Ю. В., Батова Ю. В. Устойчивость растений семейства POACEAE к кадмию. *Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: мат-лы Всеросс. конф. (22–27 сентября 2008 г.)*. Т. 6. Ч. 6. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2008. С. 129-131. Режим доступа: http://www.krc.karelia.ru/doc_download.php?id=1602&table_name=section&table_id=579

Titov A. F., Kaznina N. M., Shalygo N. V., Radyuk M. S., Budakova E. A., Laydinen G. F., Talanova V. V., Talanov A. V., Venzhik Yu. V., Batova Yu. V. *Ustoychivost' rasteniy semeystva POACEAE k kadmiyu*. [Cadmium-tolerance of POACEAE plants]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy botaniki v nachale XXI veka: mat-ly Vseross. konf. (22–27 sentyabrya 2008 g.)*. [Fundamental and applied problems of botany at the beginning of the XXI century: Proceedings of All-Russian Conference. (September 22-27, 2008)]. Vol. 6. Part 6. Petrozavodsk: *Karel'skiy NTs RAN*, 2008. pp. 129-131.

10. Казнина Н. М., Титов А. Ф., Лайдинен Г. Ф., Батова Ю. В. Влияние кадмия на некоторые физиологические показатели растений ячменя в зависимости от их возраста. *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2010;(2):27-31. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kadmiya-na-nekotorye-fiziologicheskie-pokazateli-rasteniy-yachmenya-v-zavisimosti-ot-ih-vozhra>

Kaznina N. M., Titov A. F., Laydinen G. F., Batova Yu. V. *Vliyanie kadmiya na nekotorye fiziologicheskie pokazateli rasteniy yachmenya v zavisimosti ot ikh vozhra*. [Cadmium effect on some physiological parameters of barley plants depending on their age]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk = Transactions of the Karelian research centre of the Russian academy of sciences*. 2010;(2):27-31. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kadmiya-na-nekotorye-fiziologicheskie-pokazateli-rasteniy-yachmenya-v-zavisimosti-ot-ih-vozhra>

11. Казнина Н. М., Титов А. Ф., Лайдинен Г. Ф., Батова Ю. В. Влияние кадмия на водный обмен растений ячменя. *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2011;(3):57-61. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kadmiya-na-vodnyy-obmen-rasteniy-yachmenya>

Kaznina N. M., Titov A. F., Laydinen G. F., Batova Yu. V. *Vliyanie kadmiya na vodnyy obmen rasteniy yachmenya*. [Effect of cadmium on water exchange in barley plants]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk = Transactions of the Karelian research centre of the Russian academy of sciences*. 2011;(3):57-61. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kadmiya-na-vodnyy-obmen-rasteniy-yachmenya>

12. Minella E., Sorrells M. E. Aluminum tolerance in barley: genetic relationships among genotypes of diverse origin. *Crop Science*. 1992;32(3):593-598. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183X003200030005x>
13. Minella E., Sorrells M. E. Inheritance and chromosome location of Alp, a gene controlling aluminum tolerance in 'Dayton' barley. *Plant Breeding*. 1997;116(5):465-469. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1997.tb01032>
14. Tang Y., Sorrells M. E., Kochian L. V., Garvin D. F. Identification of RFLP markers linked to the barley aluminum tolerance gene Alp. *Crop Science*. 2000;40(3):778-782. URL: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/40/3/778>
15. Raman H., Moroni J. S., Sato K., Read B., Scott B. Identification of AFLP and microsatellite markers linked with an aluminium tolerance gene in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2002;105(2-3):458-464. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-002-0934-0>
16. Raman H., Karakousis A., Moroni J. S., Raman R., Read B. J., Garvin D. F., Kochian L. V., Sorrells M. E. Development and allele diversity of microsatellite markers linked to the aluminium tolerance gene Alp in barley. *Australian Journal of Agricultural Research*. 2003;54(12):1315-1321. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR02226>
17. Reid D. A. Genetic control of reaction to aluminum in winter barley. *Int Barley Genet Symp Proc*. 1971. pp. 409-413.
18. Raman H., Moroni J. S., Raman R., Karakousis A., Read B., Sato K., Scott B. J. A genomic region associated with aluminium tolerance in barley. *Proceedings of the 10th Australian Barley Technical Symposium*. 2001. URL: <http://www.regional.org.au/au/abts/2001/t3/raman.htm>
19. Furukawa J., Yamaji N., Wang H., Mitani N., Murata Y., Sato K., Katsuhara M., Takeda K., Ma J. F. An aluminum-activated citrate transporter in barley. *Plant and Cell Physiology*. 2007;48(8):1081-1091. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcm091>
20. Wang J., Raman H., Zhou M., Ryan P. R., Delhaize E., Hebb D. M., Coombes N., Mendham N. High-resolution mapping of the Alp locus and identification of a candidate gene HvMATE controlling aluminium tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 2007;115(2):265-276. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-007-0562-9>
21. Navakode S., Weidner A., Varshney R. K., Lohwasser U., Scholz U., Roder M. S., Börner A. A genetic analysis of aluminium tolerance in cereals. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2010;75(4):191-196. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/98749>
22. Navakode S., Weidner A., Varshney R. K., Lohwasser U., Scholz U., Börner A. A QTL analysis of aluminium tolerance in barley, using gene-based markers. *Cereal Research Communications*. 2009;37(4):531-540. DOI: <https://doi.org/10.1556/CRC.37.2009.4.6>
23. Cai S., Wu D., Jabeen Z., Huang Y., Huang Y., Zhang G. Genome-wide association analysis of aluminum tolerance in cultivated and Tibetan wild barley. *PLoS One*. 2013;8(7): e69776. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069776>
24. Zhou G., Broughton S., Zhang X.-Q., Ma Y., Zhou M., Li C. Genome-wide association mapping of acid soil resistance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Frontiers in plant science*. 2016;7:406. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00406>
25. Soto-Cerda B. J., Penaloza E. H., Montenegro A. B., Rypayan A. R., Gallardo M. H., Salvo-Garrido H. An efficient marker-assisted backcrossing strategy for enhancing barley (*Hordeum vulgare* L.) production under acidity and aluminium toxicity. *Molecular breeding*. 2013;31(4):855-866. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11032-013-9839-7>
26. Ma J. F., Nagao S., Sato K., Ito H., Furukawa J., Takeda K. Molecular mapping of a gene responsible for Al-activated secretion of citrate in barley. *Journal of Experimental Botany*. 2004;55(401):1335-1341. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erh152>
27. Fujii M., Yokosho K., Yamaji N., Saisho D., Yamane N., Takahashi H., Sato K., Nakazono M., Ma J. F. Acquisition of aluminium tolerance by modification of a single gene in barley. *Nature Communications*. 2012;3:713. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms1726>
28. Bian M., Waters I., Broughton S., Zhang X.-Q., Zhou M., Lance R., Sun D., Li C. Development of gene-specific markers for acid soil/aluminium tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Molecular breeding*. 2013;32(1):155-164. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11032-013-9859-3>
29. Ma Y., Li C., Ryan P. R., Shabala S., You J., Liu J., Liu C., Zhou M. A new allele for aluminium tolerance gene in barley (*Hordeum vulgare* L.). *BMC genomics*. 2016;17(1):186. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12864-016-2551-3>
30. Ferreira J. R., Faria B. F., Junior M. C., Delatorre C. A., Minella E., Pereira J. F. Is a non-synonymous SNP in the HvAACT1 coding region associated with acidic soil tolerance in barley? *Genetics and molecular biology*. 2017;40(2):480-490. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4685-gmb-2016-0225>
31. Bian M., Jin X., Broughton S., Zhang X.-Q., Zhou G., Zhou M., Zhang G., Sun D., Li C. A new allele of acid soil tolerance gene from a malting barley variety. *BMC genetics*. 2015;16(1):92-102. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12863-015-0254-4>
32. Щенникова И. Н., Лисицын Е. М. Внутривидовая вариабельность генетического контроля алюмоустойчивости ячменя и овса. Структурные и функциональные отклонения от нормального роста и развития

растений под воздействием факторов среды: мат-лы Междунар. науч. конф. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. С. 287-290. Режим доступа: http://www.krc.karelia.ru/doc_download.php?id=5198&table_name=publ&table_ident=9714

Shchennikova I. N., Lisitsyn E. M. *Vnutrividovaya variabel'nost' geneticheskogo kontrolya alyumoustoychivosti yachmenya i ovsa*. [Intravarietal variability of genetic control of aluminum resistance in barley and oats]. *Strukturnye i funktsional'nye otkloneniya ot normal'nogo rosta i razvitiya rasteniy pod vozdeystviem faktorov sredy: mat-ly Mezhdunar. nauch. konf.* [Structural and functional deviations from normal growth and development of plants under the influence of environmental factors: Proceedings of the International scientific Conf.]. Petrozavodsk: *Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN*, 2011. pp. 287-290.

33. Dai H., Cao F., Chen X., Zhang M., Ahmed I. M., Chen Z.-H., Li C., Zhang G., Wu F. Comparative proteomic analysis of aluminum tolerance in Tibetan wild and cultivated barleys. *PLoS one*. 2013;8(5):e63428. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063428>

34. Goldberg S. Reactions of boron with soils. *Plant and soil*. 1997;193(1-2):35-48. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1004203723343>

35. Yau S. K., Ryan J. Boron toxicity tolerance in crops: a viable alternative to soil amelioration. *Crop Science*. 2008;48(3):854-865. URL: http://www.plantstress.com/Articles/up_toxicity_files/BoronTox-CropSci08.pdf

36. Jefferies S. P., Barr A. R., Karakousis A., Kretschmer J. M., Manning S., Chalmers K. J., Nelson J. C., Islam A. K. M. R., Langridge P. Mapping of chromosome regions conferring boron toxicity tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Theoretical and applied Genetics*. 1999;98(8):1293-1303. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001220051195>

37. Sutton T., Baumann U., Hayes J., Collins N. C., Shi B.-J., Schnurbusch T., Hay A., Mayo G., Pallotta M., Tester M., Langridge P. Boron-toxicity tolerance in barley arising from efflux transporter amplification. *Science*. 2007;318(5855):1446-1449. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1146853>

38. Reid R. Identification of boron transporter genes likely to be responsible for tolerance to boron toxicity in wheat and barley. *Plant and cell physiology*. 2007;48(12):1673-1678. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcm159>

39. Schnurbusch T., Hayes J., Hrmova M., Baumann U., Ramesh S. A., Tyerman S. D., Langridge P., Sutton T. Boron toxicity tolerance in barley through reduced expression of the multifunctional aquaporin HvNIP2; 1. *Plant Physiology*. 2010;153(4):1706-1715. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.110.158832>

40. Hayes J. E., Pallotta M., Garcia M., Oz M. T., Rongala J., Sutton T. Diversity in boron toxicity tolerance of Australian barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. *BMC plant biology*. 2015;15(1):231. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0607-1>

41. Karakousis A., Barr A. R., Chalmers K. J., Ablett G. A., Holton T. A., Henry R. J., Lim P., Langridge P. Potential of SSR markers for plant breeding and variety identification in Australian barley germplasm. *Australian journal of agricultural research*. 2003;54(12):1197-1210. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR02178>

42. Karakousis A., Barr A. R., Kretschmer J. M., Manning S., Jefferies S. P., Chalmers K. J., Islam A. K. M., Langridge P. Mapping and QTL analysis of the barley population Clipper × Sahara. *Australian Journal of Agricultural Research*. 2003;54(12):1137-1140. DOI: <https://doi.org/10.1071/AR02180>

43. Emebiri L. C., Michael P., Moody D. B. Enhanced tolerance to boron toxicity in two-rowed barley by marker-assisted introgression of favourable alleles derived from Sahara 3771. *Plant and Soil*. 2009;314(1-2):77-85. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9707-0>

44. McDonald G. K., Eglinton J. K., Barr A. R. Assessment of the agronomic value of QTL on chromosomes 2H and 4H linked to tolerance to boron toxicity in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant and Soil*. 2010;326(1-2):275-290. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0006-1>

45. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в агроландшафте. СПб.: изд-во ПИЯФ РАН, 2008. 216 с.

Alekseev Yu. V. *Tyazhelye metally v agrolandshafte*. [Heavy metals in agrolandscape]. Saint-Petersburg: *izd-vo PIYaF RAN*, 2008. 216 p.

46. Huang X., Fan Y., Shabala L., Rengel S., Shabala S., Zhou M. X. A major QTL controlling the tolerance to manganese toxicity in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Molecular breeding*. 2018;38(2):16. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11032-017-0767-9>

47. Басов Ю. В., Козьявина К. Н. Способы снижения фитотоксичности соединений свинца и кадмия. Образование, наука и производство. 2014;(4(9)):17-20. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-snizheniya-fitotoksichnosti-soedineniy-svintsa-i-kadmiya>

Basov Yu. V., Kozyavina K. N. *Sposoby snizheniya fitotoksichnosti soedineniy svintsa i kadmiya*. [Ways to reduce the phytotoxicity of lead and cadmium compounds]. *Obrazovanie, nauka i proizvodstvo* = The Education and Science Journal. 2014;(4(9)):17-20. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-snizheniya-fitotoksichnosti-soedineniy-svintsa-i-kadmiya>

48. Шур П. З., Фокин В. А., Новоселов В. Г. К вопросу об оценке допустимого суточного поступления кадмия с продуктами питания. Здоровье населения и среда обитания. 2015;(12 (273)):30-33. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25005087>

Shur P. Z., Fokin V. A., Novoselov V. G. *K voprosu ob otsenke dopustimogo sutochnogo postupleniya kadmiya s produktami pitaniya*. [To the issue of assessing the acceptable daily intake of cadmium with food]. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya* = Public Health and Life Environment. 2015;(12 (273)):30-33. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25005087>

49. Verbruggen N, Hermans S, Schat H. Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants. *New Phytol.* 2009;181(4):759–776. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02748.x>

50. Wu D., Sato K., Ma J. F. Genome-wide association mapping of cadmium accumulation in different organs of barley. *New Phytologist.* 2015;208(3):817-829. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.13512>

51. Wang X.-K., Gong X., Cao F., Wang Y., Zhang G., Wu F. HvPAA1 Encodes a P-Type ATPase, a Novel Gene for Cadmium Accumulation and Tolerance in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *International journal of molecular sciences.* 2019;20(7):1732. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20071732>

52. Mills R. F., Peaston K. A., Runions J., Williams L. E. HvHMA2, a P1B-ATPase from barley, is highly conserved among cereals and functions in Zn and Cd transport. *PLoS One.* 2012;7(8):e42640. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042640>

53. Wu D., Yamaji N., Yamane M., Kashino-Fujii M., Sato K., Ma J. F. The HvNramp5 transporter mediates uptake of cadmium and manganese, but not iron. *Plant physiology.* 2016;172(3):1899-1910. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.16.01189>

54. Леонова И. Н. Молекулярные маркеры: использование в селекции зерновых культур для идентификации, интрогрессии и пирамидирования генов. *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2014;17(2):314-325. Режим доступа: <https://vavilov.elpub.ru/jour/article/view/153/155>

Leonova I. N. *Molekulyarnye markery: ispol'zovanie v seleksii zernovykh kul'tur dlya identifikatsii, introgressii i piramidirovaniya genov*. [Molecular markers: implementation in crop plant breeding for identification, introgression, and gene pyramiding]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2014;17(2):314-325. (In Russ.). URL: <https://vavilov.elpub.ru/jour/article/view/153/155>

55. Сиволап Ю. М. Молекулярные маркеры и селекция. *Цитология и генетика.* 2013;47(3);71-80. Режим доступа: <https://doi.org/10.3103/S0095452713030080>

Sivolap Yu. M. *Molekulyarnye markery i seleksiya*. [Molecular markers and plant breeding]. *Tsitologiya i genetika* = Cytology and Genetics. 2013;47(3);71-80. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.3103/S0095452713030080>

Сведения об авторах

Новоселова Нина Владиславовна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, ФБГНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0638-4258>, e-mail: syllvana@mail.ru

✉ **Бакулина Анна Владимировна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией молекулярной биологии и селекции, ФБГНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5171-2476>, e-mail: drugaeann1@rambler.ru

Information about the authors

Nina V. Novoselova, junior researcher, the Laboratory of Molecular Biology and Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0638-4258>, e-mail: syllvana@mail.ru

✉ **Anna V. Bakulina**, PhD in Biological Science, senior researcher, Head of the Laboratory of Molecular Biology and Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5171-2476>, e-mail: drugaeann1@rambler.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.18-27>

УДК 633.111."321": 632.485.12

Устойчивость к пыльной головне и адаптивность сортов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР

© 2020. А. В. Харина ✉, О. С. Амунова

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В условиях Кировской области в 2013-2019 гг. были изучены по устойчивости к пыльной головне, пластичности и стабильности урожайности 178 сортов яровой мягкой пшеницы коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Среди изученных сортов выявлено 36 иммунных и 12 практически иммунных к поражению пыльной головней. Они могут быть использованы как источники устойчивости в селекции. Наилучшие условия для заражения растений яровой мягкой пшеницы пыльной головней формируются с начала цветения до налива зерна. Чем выше температура воздуха и количество осадков в данный период, тем выше процент пораженных растений пшеницы этой болезнью. При повышении процента поражённых пыльной головней стеблей наблюдалось увеличение общих потерь урожая ($r = 0,99$). Стандартный сорт Баженка (Россия) существенно превысили по урожайности на инфекционном фоне 19 сортов яровой пшеницы. Выделены 5 средневосприимчивых сортов (Тулайковская Надежда (Россия), Самгау, Достык, Карабалыкская 91 (Казахстан) и Виза (Беларусь)), проявивших толерантность к болезни. Наиболее высокой и стабильной урожайностью по годам отличались сорта Степная 50, Достык (Казахстан), Казанская Юбилейная, Нива 2, Провинция, Эгисар 29, Сударушка, Тулайковская Надежда (Россия), Hoffman (Канада), UL Pettit (США) и Leguan (Чехословакия). К сортам интенсивного типа были отнесены: Тюменская 26, Елизавета, Мария 1, Мелодия, Нива 2 (Россия), Харьковская 10 (Украина), Самгау (Казахстан), Виза (Беларусь), американские Ranger и UL Pettit ($b_1 > 1$). Сорта Ranger и UL Pettit показывали высокую урожайность в благоприятных условиях выращивания. Сорта Мажор (Украина), Фаворит (Россия) и Карабалыкская 91 (Казахстан) ($b_1 < 1$) лучше использовать на экстенсивном фоне. При ухудшении условий возделывания урожайность этих сортов снижалась незначительно. Установлена взаимосвязь урожайности и параметров адаптивности (b_1 , Нот). Высокоурожайные сорта характеризовались как более пластичные ($r = 0,69$) и устойчивые к стрессам ($r = 0,73$).

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., *Ustilago tritici*, иммунитет, толерантность, потери урожая, гомеостатичность, уровень и стабильность урожайности, экологическая пластичность

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (тема № 0528-2019-0008).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Харина А. В., Амунова О. С. Устойчивость к пыльной головне и адаптивность сортов яровой мягкой пшеницы из коллекции ВИР. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(1):18-27. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.18-27>

Поступила: 30.10.2019 Принята к публикации: 05.02.2020 Опубликована онлайн: 28.02.2020

Loose smut resistance and adaptability of spring soft wheat varieties of VIR collection

© 2020. Anastasiya V. Kharina ✉, Oksana S. Amunova

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

In 2013-2019 in the conditions of Kirov region 178 varieties of spring soft wheat from the collection of the Federal Research Center of N.I.Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) were studied according to loose smut resistance, plasticity and yield stability. Among studied varieties 36 immune and 12 practically immune to loose smut infestation samples have been revealed. They can be used as sources of resistance in selection. The most favourable conditions for infestation of spring soft wheat plants with loose smut develop since the beginning of blossoming till grain filling. The higher the air temperature and the amount of precipitation during this period, the higher is the percentage of wheat plants affected with this disease. As the percentage of the stems affected by loose smut increased, total yield losses grew as well ($r = 0,99$). Nineteen varieties of spring wheat significantly exceeded the standard variety Bazhenka (Russia) in yield on an infection background. Five mid-susceptible varieties which showed tolerance to the disease have been selected. They are Tulaykovskaya Nadezhda (Russia), Samgau, Dostyk, Karabalykskaya 91 (Kazakhstan) and Visa (Belarus). During the years the following varieties revealed the highest and stable productivity: Stepnaya 50, Dostyk (Kazakhstan), Kazanskaya Yubileynaya, Niva 2, Provincia, Egisar 29, Sudarushka, Tulaykovskaya Nadezhda (Russia), Hoffman (Canada), UL Pettit

(USA) and Leguan (Czechoslovakia). The following varieties were designated as the intensive type: Tyumenskaya 26, Elizaveta, Maria 1, Melodiya, Niva 2 (Russia), Kharkovskaya 10 (Ukraine), Samgau (Kazakhstan), Visa (Belarus), and American varieties Ranger and UL Pettit ($b_i > 1$). Varieties Ranger and UL Pettit showed high productivity in favorable cultivation conditions. Varieties Mazhor (Ukraine), Favorit (Russia) and Karabalykskaya 91 (Kazakhstan) ($b_i < 1$) should be used on an extensive background. By deterioration of cultivation conditions the productivity of these varieties decreased insignificantly. The relationship between productivity and adaptability parameters has been established (b_i , Hom). The high-yielding varieties have been characterized as more plastic ($r = 0.69$) and stress resistant ($r = 0.73$).

Keywords: *Triticum aestivum* L., *Ustilago tritici*, immunity, tolerance, yield losses, homeostaticity, level and stability of productivity, ecological plasticity

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0008).

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Kharina A. V., Amunova O. S. Loose smut resistance and adaptability of spring soft wheat varieties of VIR collection. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(1):18-27. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.18-27>

Received: 30.10.2019

Accepted for publication: 05.02.2020 Published online: 28.02.2020

Яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – это зерновая культура с большим потенциалом, обеспечивающая производство стабильных урожаев зерна высокого качества в нашей стране. Культура коммерчески привлекательна и перспективна для зарубежного рынка [1]. Она поражается более чем 200 видами возбудителей заболеваний и вредителей. В последнее время всё чаще посевы пшеницы поражаются пыльной головней, возбудителем которой является грибок *Ustilago tritici* (Pers.) Jens. Патоген вызывает полное разрушение колоса растения, уменьшая тем самым урожай в среднем на 5-15 % [2, 3]. Кроме того, снижается всхожесть и качество зараженных семян, что приводит к скрытым потерям урожая. Таким образом, урожай зерна может снизиться на 20-40 % и более. Самым быстрым способом избавиться от поражения растений пыльной головней является применение химических препаратов на посевах яровой пшеницы. Однако данный метод отрицательно влияет на экологию, а также является дорогостоящим. Поэтому создание устойчивых к заболеванию сортов пшеницы – наиболее предпочтительный и экологически безопасный метод защиты посевов. Чтобы эффективнее бороться с возбудителем этого заболевания, необходимо знать пути и условия заражения растений, генетическое разнообразие по адаптивности, источники устойчивости, методы ускоренного создания сортов с наиболее надежной генетической защитой от него [4].

На данный момент времени генетическое разнообразие сортов пшеницы представлено двенадцатью генами устойчивости к

пыльной головне [5]. В мировой коллекции генов устойчивости чаще всего представлен ген *Utl1*¹. Устойчивость яровой пшеницы чаще всего обусловлена двумя-тремя основными генами в генотипе сорта в зависимости от расового состава патогена в определенном регионе возделывания [6]. Сорта яровой пшеницы, несущие в своём генотипе данные гены, являются донорами устойчивости к пыльной головне и представляют особый интерес для селекции.

Кроме генов, на устойчивость сортов яровой пшеницы к пыльной головне оказывают влияние метеорологические условия в период роста и развития растений. Они также влияют и на урожай сортов пшеницы [7, 8]. Для определения оптимального экотипа необходимо учитывать влияние экологических факторов на продуктивность растений [9, 10]. Поэтому на современном этапе селекции приоритетным стало адаптивное направление. Оно необходимо для создания сортов с максимальным уровнем продуктивности в определенных экологических условиях. В связи с этим при оценке новых сортов и селекционных линий важно знать не только уровень устойчивости растений к той или иной болезни, но и стабильность их урожайности [11].

Цель исследований – определить уровень устойчивости сортов мягкой яровой пшеницы коллекции ВИР к пыльной головне в условиях Кировской области, степень влияния температуры воздуха и количества осадков на развитие болезни, величину потерь урожая и охарактеризовать новые устойчивые сорта по параметрам пластичности и стабильности урожайности.

¹Genetic resources information system for wheat. [Электронный ресурс]. URL: <https://wheat.pw>.

Материал и методы. Исследования проводили в 2013-2019 гг. на территории инфекционного питомника ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Объектом исследований были 178 сортов яровой мягкой пшеницы коллекции ВИР. Площадь делянки составляла 0,45 м², повторность – двукратная. В качестве стандартного взят сорт Баженка (Россия), сорта-индикатора – высоковосприимчивый сорт Aletch (Чехословакия).

Все образцы изучены на искусственном инфекционном фоне пыльной головни (*Ustilago tritici*), для создания которого пользовались методикой Э. Э. Гешеле². В фазу цветения индивидуально в каждый цветок с помощью шприца вносили суспензию пыльной головни (0,5 г на 1 л воды).

Для характеристики образцов по устойчивости к пыльной головне использовали шкалу В. И. Кривченко³. Вычисление общих потерь урожая от головни определяли по формуле К. М. Степанова и А. Е. Чумакова⁴:

$$У = 5,89 + 0,79x,$$

где x – процент поражённых пыльной головней стеблей.

Расчёт параметров экологической пластичности выполнен по методике S. A. Eberhart и W. A. Russel в изложении В. З. Пакудина и Л. М. Лопатиной⁵. Показатель уровня и стабильности урожайности сортов (ПУСС) определяли согласно методике Э. Д. Неттевича⁶, гомеостатичность (Ном) – по формуле В. В. Хангильдина⁷. Для статистической обработки полученных данных использовали методы дисперсионного и корреляционного анализов по Б. А. Доспехову⁸.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных исследований среди изученных 178 сортов яровой мягкой пшеницы было обнаружено 36 иммунных (0% поражённых стеблей) и 12 практически иммунных (до 5,0% поражённых стеблей) к пыльной головне (табл. 1). Среди этих сортов чуть больше половины (52,1%) выведены в России.

Иммунные и практически иммунные сорта представляют наибольший интерес в селекции на устойчивость к пыльной головне и могут быть использованы как источники устойчивости. Слабой восприимчивостью (5,0-25,0% поражённых стеблей) характеризовались 50, средней восприимчивостью (25-50%) – 54 и сильной восприимчивостью (более 50%) – 26 сортов.

Поражение стеблей яровой пшеницы пыльной головней составило в среднем за годы исследований 25,7%, варьируя от 13,0 в 2014 г. до 38,8% в 2017 г. Значительная изменчивость признака (V = 48,4%) свидетельствует о сильной зависимости инфекционного процесса от условий среды.

В ходе корреляционного анализа выявлена существенная зависимость интенсивности поражения растений пшеницы пыльной головней от температуры воздуха (r = 0,88) и количества осадков (r = 0,96) в период «цветение-начало налива зерна», т. е. когда происходит инфицирование завязи цветка (табл. 2). Это согласуется с данными других исследователей [5], в т. ч. зарубежных [12].

Нами установлено, что наиболее благоприятными условиями заражения яровой пшеницы телиоспорами *U. tritici* пыльной головни является температура 20-25 °С и влажность около 95% в период цветения растений.

Исследования учёных также показали, что поражение растений пыльной головней существенно увеличивает потери урожая [13]. В наших исследованиях зависимость потерь урожая пшеницы от поражения пыльной головней составила r = 0,99.

Недобор урожая зерна пшеницы от пыльной головни складывается из явных и скрытых потерь. В наших исследованиях наблюдалось значительное снижение продуктивности растений на инфекционном фоне по отношению к контролю (естественный фон). Это увеличивало потери урожая, которые в среднем составили 27,2% (табл. 3)

²Гешеле Э. Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений. М., 1978. С. 139-140.

³Кривченко В. И. Изучение устойчивости зерновых культур и расового состава возбудителей головневых болезней. Методические указания. Л., 1978. С. 61-62.

⁴Степанов К. М., Чумаков А. Е. Прогноз болезней сельскохозяйственных растений. Л., 1972. С. 64.

⁵Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Методы оценки экологической пластичности сортов сельскохозяйственных растений. М., 1971. С. 113-121.

⁶Неттевич Э. Д., Моргунов А. И., Максименко М. И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность урожайности и качества зерна. Вестник сельскохозяйственной науки. 1985;(1):66-73.

⁷Хангильдин В. В. О принципах моделирования сортов интенсивного типа. Генетика количественных признаков сельскохозяйственных растений. М., 1978. С.111-116.

⁸Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1968. 335 с.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING

Таблица 1 – Характеристика сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к поражению пыльной головнёй (инфекционный фон, 2013-2019 гг.) /

Table 1 – Characteristic of spring wheat varieties by resistance to loose smut infestation (an infection background, 2013-2019)

<i>Сорт / Variety</i>	<i>Поражение пыльной головнёй, % / Loose smut infestation %</i>
<p>Сударушка, Монастырская, Елизавета, Казанская юбилейная, Мелодия, Нива 2, Тарская 10, Обская 14, Провинция, Тюменская 99, Речка, Тулайковская 105, ФПЧ-Ррд-м, ФПЧ-Ррд-м0, ФПЧ-Ррд-в, ФПЧ-Ррд-с, ФПЧ-Ррд-со, Эритроспермум 2945, Памяти Вавенкова, Тюменская 26 (Россия), Степная 50 (Казakhstan), Ажурная, Соломия, Тайна (Украина), КВС Аквилон, Schenk (Германия), Hoffman (Канада), Noroeste 66, Hybrid (МГ-6) (Мексика), Crim, Rick, SSL 19-24, Ranger, UL Pettit (США), Hja 22141 (Финляндия), Leguan (Чехословакия) / Sudarushka, Monastyrskaya, Elizaveta, Kazanskaya Yubileynaya, Melodia, Niva 2, Tarskaya 10, Obskaya 14, Provincia, Tyumenskaya 99, Rechka, Tulaykovskaya 105, FPCh-Rrd-m, FPCh-Rrd-m0, FPCh-Rrd-w, FPCh-Rrd-s, FPCh-Rrd-so, Eritrospermum 2945, Pamyaty Vavenkova, Tyumenskaya 26 (Russia), Stepnaya 50 (Kazakhstan), Azhurnaya, Solomiya, Taina (Ukraine), KVS Akvilon, Schenk (Germany), Hoffman (Canada), Noroeste 66, Hybrid (MG-6) (Mexico), Crim, Rick, SSL 19-24, Ranger, UL Pettit (USA), Hja 22141 (Finland), Leguan (Czechoslovakia)</p>	0
<p>Ветлужанка, Мария 1, ФПЧ-Ррд-в0, Фаворит, Эгисар 29 (Россия), Мажор, Харьковская 10 (Украина), Musket (Англия), AC Corinne, AC Tahoe, СДС Merlin (Канада), SSL 84-85 (США) / Vetluzhanka, Maria 1, FPCh-Rrd-w0, Favourit, Egisar 29 (Russia), Mazhor, Kharkovskaya 10 (Ukraine), Musket (England), AC Corinne, AC Tahoe, SDS Merlin (Canada), SSL 84-85 (USA)</p>	0-5
<p>Симбирцит, Экада 97, Маргарита, ЛТ-1, Саратовская 29, Росинка 2, Терция, Биора, Степная 1, Челябинка 2, ЮВ-3, Памяти Афродиты, Спрут, Геракл, Волхитка, Омская 23, Боевчанка, Новосибирская 31, Сибирская 14, Струна мироновская, Серебристая, Тарская 8, Ольга, Ульяновка 13, (Россия), Ghurab 2 (Сирия), K-65113 (Египет), Харьковская 30 (Украина), AC Majestic, CB 163-1, (Канада), Natassa (Сербия), Cahuide (Перу), Димитровка 5-14 ИЗР, Димитровка 5-2 ИЗР (Болгария), Aureore (Франция), Kitt, И-485788 (США), Мутант Л-3-24 (Эстония), Jaral F-66, Jahuara F-77, Hybrid (47719), Hybrid (47719), Hybrid (47841), Hybrid (48658), Sibia, Sasia (Мексика), Yan Shi 4, Jin Mai 71 (Китай), Кайыр (Казakhstan), Zebra (Швеция), Jara (Чехословакия) / Simbirsit, Ekada 97, Margarita, LT-1, Saratovskaya 29, Rosinka 2, Tertsia, Biora, Stepnaya 1, Chelyaba 2, UV-3, Pamyati Aphrodit, Sprut, Heracles, Volkhitka, Omskaya 23, Boyevchanka, Novosibirskaya 31, Sibirskaya 14, the Struna mironovskaya, Serebristaya, Tarskaya 8, Olga, Ulyanovka 13, (Russia), Ghurab 2 (Syria), K-65113 (Egypt), Kharkovskaya 30 (Ukraine), AC Majestic, CB 163-1, (Canada), Natassa (Serbia), Cahuide (Peru), Dimitrovka 5-14 IZR, Dimitrovka 5-2 IZR (Bulgaria), Aureore (France), Kitt, I-485788 (USA), Mutant L-3-24 (Estonia), Jaral F-66, Jahuara F-77, Hybrid (47719), Hybrid (47719), Hybrid (47841), Hybrid (48658), Sibia, Sasia (Mexico), Yan Shi 4, Jin Mai 71 (China), Kayyr (Kazakhstan), Zebra (Sweden), Jara (Czechoslovakia)</p>	6-25
<p>Баженка, Новосибирская 20, Радуга, Аншлаг, Омская 37, Форa, Ирменка 1, Уйская, Удача, Туринская, Алтайская 70, ЛТ-3, ЛТ-6, Люгесценс 121, Новосибирская 18, Оренбургская 23, Тулайковская надежда, Лавруша, МИС, АНК-4, Светланка, Ростань (Россия), Вишиванка, Кворум, Харьковская 28, Стависька (Украина), Виза (Беларусия), Э-737, Карабалькская 91, Ишимская 98, Самгау, Достык (Казakhstan), Bombona (Польша), Josselin (Франция), Triso, Epos (Германия), Jasna (Польша), AC Pollet, AC Gabriel, Oslo (Канада), ПХРСВ 02, UL Alta Blanca, Waverly, SSL 25-26, SSL 46-50, Adams, Lee (США), Таава (Финляндия), WW 17310, Varvete 11691, SW Vinjett (Швеция), Hybrid (МГ-12) (Мексика), Mian Young № 1 (Китай), Venera (Югославия) / Bazhenka, Novosibirskaya 20, Raduga, Anshlag, Omskaya 37, Fora, Irmenka 1, Uyskaya, Udacha, Turinskaya, Altayskaya 70, LT-3, LT-6, Lutescent 121, Novosibirskaya 18, Orenburgskaya 23, Tulaykovsky nadezhda, Lavrusha, MIS, ANK-4, Svetlanka, Rostan (Russia), Vishivanka, Qvorum, Harkovskaya 28, Staviska (Ukraine), Visa (Belarus), E-737, Karabalykская 91, Ishimskaya 98, Samgau, Dostyk (Kazakhstan), Bombona (Poland), Josselin (France), Triso, Epos (Germany), Jasna (Poland), AC Pollet, AC Gabriel, Oslo (Canada), PHRSV 02, UL Alta Blanca, Waverly, SSL 25-26, SSL 46-50, Adams, Lee (USA), Taava (Finland), WW 17310, Varvete 11691, SW Vinjett (Sweden), Hybrid (MG-12) (Mexico), Mian Young No. 1 (China), Venera (Yugoslavia)</p>	26-50
<p>Алтайская 81, Воронежская 8, Скала, Баганская 93, Краса 2, Линия 166, Люба, Сурента 5, В-1592, Тулунская 12, N-480, Люгесценс 3869/a831, (Россия), Байтерек (Казakhstan), K-58019 (Колумбия), Дарья (Беларусь), Та 3332 (Финляндия), Klein Vencedor (Аргентина), NOS Norko, Amaretto (Германия), WW 17272, Pompe (Швеция), Peak 72 (США), И-469103 (Мексика), Long Chun 7, Pin Chun 11 (Китай), Aletch (Чехословакия) / Altayskaya 81, Voronezhskaya 8, Scala, Baganskaya 93, Krasa 2, Line 166, Liouba, Surenta 5, B-1592, Tulunskaya 12, N-480, Lutescent 3869/a831, (Russia), Bayterek (Kazakhstan), K-58019 (Colombia), Darya (Belarus), Ta 3332 (Finland), Klein Vencedor (Argentina), NOS Norko, Amaretto (Germany), WW 17272, Pompe (Sweden), Peak 72 (USA), I-469103 (Mexico), Long Chun 7, Pin Chun 11 (China), Aletch (Czechoslovakia)</p>	>50

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING

Таблица 2 – Корреляционные связи показателей /
Table 2 – Correlation relations of indicators

Показатель / Indicator	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient				
	потери урожая, %/ yield losses, %	колошение – начало цветения / heading – beginning of blossoming		цветение – начало налива зерна / blossoming – beginning of grain filling	
		температура воздуха, °C / air temperature, °C	сумма осадков, мм / total precipitation, mm	температура воздуха, °C / air temperature, °C	сумма осадков, мм / total precipitation, mm
Поражение растений пыльной головнёй, % / Loose smut infesta- tion of plants, %	0,99*	0,68	0,71	0,88*	0,96*

*значимо при $P \leq 0,001$ % ; * significantly at $P \leq 0,001$ %

Таблица 3 – Урожайность сортов яровой мягкой пшеницы, устойчивых к пыльной головне
(инфекционный фон, 2013-2019 гг.) /
Table 3 – Productivity of spring soft wheat varietie resistant to loose smut (infection background, 2013-2019)

Сорт / Variety	Происхождение / Origin	Поражение стеблей, % / Stem affection %	Урожайность / Yield		Общие потери урожая, % / Total yield losses, %
			с 1 м ² , г / per 1 m ² , g	% к стандарту / % to standard	
Баженка – стандарт / Vazhenka - standard	Кировская обл./ Kirov region	40,9	174,4	100	41,7
Aletch – индикатор / indicator	Чехословакия / Czechoslovakia	66,8	77,0	-55,8	66,8
Елизавета / Elizaveta	Хабаровский край/ Khabarovski Krai	0	297,8	+70,8	0
Провинция / Provincia	Сиб. НИИСХ / Sib SRIA	0	325,5	+86,6	0
Мария 1 / Maria 1	Кемеровская обл./ Kemerovo Region	1,2	321,6	+84,4	2,9
Мелодия / Melodiya	Омская обл. / Omsk Region	0	358,9	+105,8	0
Сударушка / Sudarushka	-«-	0	383,7	+120,0	0
Нива 2 / Niva 2	-«-	0,7	379,4	+117,5	2,5
Тюменская 26 / Tyumenskaya 26	Тюменская обл. / Tyumen Region	0	356,7	+104,5	0
Фаворит / Favorit	Саратовская обл. / Saratov Region	2,0	273,6	+56,9	5,5
Эгисар 29 / Egisar 29	-«-	2,6	325,4	+86,6	4,9
ФПЧ-Ррpdм / FPCh-Rrdm	Ленинградская обл. / Leningrad Region	0	274,4	+57,3	0
Казанская юбилейная / Kazanskaya Yubileynaya	Татарстан / Tatarstan	0	326,3	+87,1	0
КВС Аквилон / KVS Akvilon	Германия / Germany	0	299,2	+71,6	0
Степная 50 / Stepnaya 50	Казахстан / Kazakhstan	0	379,1	+117,4	0
Харьковская10/ Kharkovskaya10	Украина / Ukraine	1,6	295,7	+69,6	4,2
Мажор / Mazhor	-«-	2,5	271,2	+55,5	3,9
Hoffman	Канада / Kanada	0	367,4	+110,7	0
Leguan	Чехословакия/ Czechoslovakia	0	298,1	+70,9	0
Ranger	США / USA	0	284,5	+63,1	0
UL Pettit	-«-	0	306,7	+75,9	0
Среднее по опыту / Average by experiment		25,7	186,3	+6,8	27,2
НСР ₀₅ / LSD ₀₅		16,8	84,8	-	16,1

Урожайность изучаемых сортов в среднем за годы исследований составила 265,8 г/м², изменяясь от 149,3 в 2013 г. до 373,7 г/м² в 2017 г. Варьирование средней урожайности по сортам на естественном фоне составило 117,3...442,2 г/м², на инфекционном фоне пыльной головни – 20,4...389,1 г/м².

Среди иммунных и практически иммунных сортов яровой пшеницы (табл. 3) 19 существенно превысили по урожайности на инфекционном фоне стандартный сорт Баженка. Прибавка урожая составила от 55,5 (сорт Мажор) до 120 % (сорт Сударушка).

В селекции на устойчивость к болезням, в том числе и к пыльной головне, определённую ценность имеют толерантные формы, которые при относительно сильном поражении сохраняют достаточно высокий уровень урожайности. В наших исследованиях этим свойством отличались 5 средневосприимчивых сортов (табл. 4). Они достоверно превышали или были на уровне стандартного сорта Баженка по урожайности зерна с 1 м². Прибавка урожая к стандарту составила от 40,9 до 62,3 %. При этом потери урожая были ниже или на уровне его (29,0-42,8 %).

Таблица 4 – Сорта яровой мягкой пшеницы, толерантные к поражению пыльной головней (инфекционный фон, 2013-2019 гг.) /

Table 4 – Spring soft wheat varieties tolerant to loose smut infestation (infection background, 2013-2019)

Сорт / Variety	Происхождение / Origin	Поражение стеблей, % / Stem affection, %	Урожайность / Yield		Общие потери урожая, % / Total yield losses, %
			с 1 м ² , г / per 1 m ² , g	% к стандарту / % to standard	
Баженка – стандарт / Bazhenka – standard	Кировская обл. / Kirov region	40,9	174,4	100	41,7
Aletch – индикатор / indicator	Чехословакия / Czechoslovakia	66,8	77,0	-55,8	66,8
Тулайковская надежда / Tulaykovskaya nadezhda	Самарская обл. / Samara Region	34,6	283,0*	+62,3	36,0
Карабалыкская 91 / Karabalykская 91	Казахстан / Kazakhstan	35,3	245,7	+40,9	35,9
Самгау / Samgau	-//-	42,8	260,7*	+49,5	42,8
Достык / Dostyk	-//-	28,7	261,1*	+49,7	29,0
Виза / Visa	Беларусь / Belarus	33,1	250,6	+43,7	33,1
Среднее по опыту / Average by experiment		25,7	186,3	+6,8	27,2
НСР ₀₅ /LSD ₀₅		16,8	84,8	-	16,1

*достоверно к стандарту Баженка / statistically significant to the Bazhenka standard variety

Следует отметить, что на продуктивный потенциал генотипа и его иммунный статус, особенно в отношении неспецифической устойчивости, значимое влияние оказывают факторы среды, и в меняющихся агроэкологических условиях вегетации растений эти признаки весьма подвижны. Поэтому оценка сортов по пластичности, фенотипической стабильности и гомеостазу является важным этапом в определении адаптивных свойств.

Пластичность – это способность генотипа приспосабливаться к постоянно меняющимся условиям среды⁹. Обычно пластичные сорта интенсивного типа хорошо отзываются на высокий агрофон. Пластичность оценивается по коэффициенту линейной регрессии (b_i), величина и значимость которого показывает на сколько изменится уровень признака при изменении комплекса условий.

⁹Корзун О. С., Бруйло А. С. Адаптивные особенности селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений: пособие. Гродно: ГГАУ, 2011. С. 7-9.

Были проанализированы параметры адаптивности у иммунологически исследуемых ценных сортов яровой пшеницы. Коэффициент вариации, характеризующий изменчивость урожайности по годам, составил от 16,8 (Казанская юбилейная) до 54,9 % (Мария 1) (табл. 5).

Это свидетельствует о различной пластичности изучаемых сортов. Средней изменчивостью урожайности по Б. А. Доспехову¹⁰ характеризовались сорта: Leguan (16,9 %), Провинция (18,2 %), Степная 50, Эгисар 29 (20,2 %), Тулайковская Надежда (20,3 %).

Таблица 5 – Параметры адаптивности сортов яровой мягкой пшеницы по урожайности на инфекционном фоне пыльной головни (2013-2019 гг.) /

Table 5 – Adaptability parameters of spring soft wheat varieties by productivity on loose smut infection background (2013-2019)

<i>Copm / Variety</i>	<i>Средний урожай, г/м² / Average yield, g/m²</i>	<i>V, %</i>	<i>b_i</i>	<i>ПУСС / ILSV</i>	<i>Ном</i>
Баженка – стандарт / Vazhenka – standard	174,4	33,2	0,7	100,0%	22,0
Елизавета / Elizaveta	297,8	41,4	1,5*	229,6	8,8
Провинция / Provincia	325,5	18,2	0,7	623,8	3,0
Мария 1 / Maria 1	321,6	54,9	1,7*	219,1	5,3
Мелодия / Melodiya	358,9	43,9	1,7*	314,5	7,8
Сударушка / Sudarushka	383,7	36,2	1,3	435,9	10,6
Нива 2 / Niva 2	379,4	54,6	1,8*	645,5	12,7
Тюменская 26 / Tyumenskaya 26	356,7	39,3	1,4*	346,9	9,7
Фаворит / Favorit	273,6	73,3	0,4*	131,7	2,9
Эгисар 29 / Egisar 29	325,4	20,2	1,3	571,2	12,6
ФПЧ-Ррdm / FPCh-Rrdm	274,4	40,9	1,0	197,3	9,0
Казанская юбилейная / Kazanskaya Yubileynaya	326,3	16,8	0,6	653,3	6,3
КВС Аквилон / KVS Akvilon	299,2	48,4	1,2	202,1	8,5
Степная 50 / Stepnaya 50	379,1	20,2	1,3	777,1	4,9
Харьковская10 / Kharkovskaya10	295,7	37,0	1,4*	258,2	20,8
Мажор / Mazhor	271,2	41,3	0,3*	201,2	8,6
Hoffman	367,4	32,8	0,7	441,1	13,9
Leguan	298,1	16,9	1,0	333,7	7,2
Ranger	284,5	49,8	1,8*	291,0	22,5
UL Pettit	306,7	57,7	1,9*	370,9	26,1
Тулайковская надежда / Tulaykovskaya nadezhda	283,0	20,3	1,2	356,6	4,8
Карабалыкская 91 / Karabalykskaya 91	245,7	39,6	0,4*	164,0	9,6
Самгау / Samgau	260,7	33,2	1,6*	219,7	18,2
Достык / Dostyk	261,1	21,0	1,2	354,5	7,8
Виза / Visa	250,6	38,1	1,7*	172,6	13,8

*-значимо по t-критерию на 5 %-ном уровне / *-significantly by t-criterion at the 5 % level

¹⁰Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1979. С. 190.

При оценке изучаемого генофонда по критерию b_i отечественные сорта Тюменская 26, Харьковская 10, Елизавета, Самгау, Виза, Мария 1, Мелодия, Нива 2, американские Ranger и UL Pettit можно отнести к группе интенсивных ($b_i > 1$).

У сортов Мажор, Фаворит и Карабалыкская 91 коэффициент регрессии достоверно ниже 1, что указывает на их слабую реакцию на изменения условий выращивания. Эти сорта лучше использовать на экстенсивном фоне. В таких условиях от них можно ожидать высоких урожаев, затрачивая при этом минимум средств. Остальные 12 сортов относятся к полуинтенсивному типу.

Критерий адаптивности ПУСС характеризует одновременно уровень и стабильность признака (урожайность) по отношению к стандарту и определяет селекционную ценность сорта. Чем он выше, тем ценнее генотип. Наиболее высокие значения ПУСС и урожайности получены у сортов Степная 50, Казанская Юбилейная, Нива 2, Провинция и Эгисар 29

(ПУСС = 777,1; 653,3; 645,5; 623,8 и 571,2 соответственно). Также высокая и стабильная урожайность отмечена у сортов Hoffman, Сударушка, UL Pettit, Тулайковская Надежда, Достык и Leguan (ПУСС = 444,1; 435,9; 370,9; 356,6; 354,5 и 333,7 соответственно).

Для адаптивной селекции особое значение имеют сорта с высокой способностью противостоять стрессам, обеспечивая высокий урожай в изменяющихся условиях выращивания. Лишь у двух сортов Ranger и UL Pettit значения *Hom* превзошли стандарт Баженка и составили 22,5 и 26,1. Они способны сочетать высокую потенциальную урожайность в благоприятных условиях с незначительным её снижением в неблагоприятных условиях выращивания.

Несмотря на то, что параметры экологической пластичности и стабильности дают всестороннюю оценку изучаемым сортам, они несколько сложны для восприятия. Поэтому далее были проанализированы взаимосвязи параметров адаптивности между собой и с урожайностью (табл. 6).

*Таблица 6 – Взаимосвязь урожайности и параметров адаптивности /
Table 6 – Interrelation of productivity and adaptability parameters*

Параметры / Parameters	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient			
	V, %	b_i	<i>Hom</i>	ПУСС / ILSV
Урожайность, г/м ² / Productivity, g/m ²	0,05	0,69*	0,73**	-0,39
Коэффициент вариации (V) / Variation coefficient(V)	-	0,17	-0,48**	0,22
Коэффициент регрессии (b_i) / Regression coefficient(b_i)	-	-	-0,01	-0,18
Гомеостатичность (<i>Hom</i>) / Homeostaticity (<i>Hom</i>)	-	-	-	-0,23

*, ** – значимо на 5 и 1 %-ном уровнях / *, ** – significant on 5 and 1 % levels

Коэффициент регрессии тесно связан с урожайностью ($r = 0,69$), т. е. сорта, обладающие высоким уровнем признака, характеризуются как более пластичные. Урожайность также тесно коррелирует с гомеостатичностью ($r = 0,73$), т. е. высокая урожайность подразумевает высокую устойчивость к стрессам (в нашем случае – пыльной головне).

Коэффициент вариации наиболее простой в определении показатель и хорошо согласовывается с показателем гомеостатичности. Как наиболее простой в определении параметр, он может использоваться для оценки адаптивности сорта в многолетних испытаниях.

Выводы. Среди изученных 178 сортов яровой мягкой пшеницы выделено 36 иммун-

ных и 12 практически иммунных к пыльной головне. Выявлена существенная зависимость интенсивности поражения растений пшеницы пыльной головней от температуры воздуха и количества осадков в период, когда происходит инфицирование завязи.

Наблюдалось снижение продуктивности сортов на инфекционном фоне пыльной головки при увеличении поражения растений, что привело к росту общих потерь урожая. Среди иммунных и практически иммунных сортов яровой пшеницы 19 существенно превысили по урожайности на инфекционном фоне стандартный сорт Баженка. Толерантными к болезни оказались 5 средневосприимчивых сортов.

К сортам интенсивного типа были отнесены: Тюменская 26, Харьковская 10, Елизавета, Самгау, Виза, Мария 1, Мелодия, Нива 2 и американские сорта Ranger и UL Pettit.

Сорта Мажор, Фаворит и Карабалыкская 91 слабо реагировали на изменение условий произрастания. Их лучше использовать на экстенсивном фоне. В данных условиях можно получить максимальный урожай, потратив минимум усилий. Наиболее высокой и стабиль-

ной урожайностью по годам отличались сорта Степная 50, Казанская Юбилейная, Нива 2, Провинция и Эгисар 29. Сорта Ranger и UL Pettit показывают высокую урожайность в благоприятных условиях выращивания. При ухудшении условий возделывания урожайность этих сортов снижается незначительно.

Для оценки адаптивности сорта в многолетних испытаниях наиболее простым параметром является коэффициент вариации.

Список литературы

1. Румянцев А. В., Глуховцев В. В., Кукушкина Л. А. Научные достижения в селекции сортов яровой мягкой пшеницы. Зернобобовые и крупяные культуры. 2015;(2):58-63. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23572880>
2. Дружин А. Е., Крупнов В. А. Пшеница и пыльная головня. Саратов: Изд-во Саратов. инс-та, 2008. 164 с.
3. Шешегова Т. К. Анализ фитосанитарного состояния посевов яровых зерновых культур в Кировской области (аналитический обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015;5(48):10-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24113596>
4. Кинчаров А. И., Дёмина Е. А., Муллаянова О. С., Таранова Т. Ю. Актуальные проблемы адаптивной селекции яровой мягкой пшеницы в среднем Поволжье и пути их решения. Известия Самарского научного центра РАН. 2018;20(2-3(82)):459-463. Режим доступа: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2018/2018_2_459_463.pdf
5. Нешумаева Н. А., Сидоров А. В., Голубев С. С. Селекция яровой пшеницы на устойчивость к пыльной головне. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(6):22-24. Режим доступа: <https://cyberle-ninka.ru/article/n/seleksiya-yarovoy-pshenitsy-na-ustoychivost-k-pylnoy-golovne>
6. Сюков В. В., Поротькин С. Е. Генетика устойчивости мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к пыльной головне (*Ustilago tritici* (Pers.)Jens) (Обзор). Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014;18(3):517-522. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22479659>
7. Жученко А. А. Возможности создания сортов и гибридов растений с учётом изменения климата. Стратегия адаптивной селекции полевых культур в связи с глобальным изменением климата. Саратов: ООО «Сателит», 2004. С. 10-16.
8. Fowler D. B. Winter wheat production manual. Crop development centre University of Saskatchewan, 2018. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.usask.ca/agriculture/plantsci/winter_cereals/winter-wheat-production-manual/chapter-11.php (Дата обращения: 22.12.2019)
9. Курылёва А. Г. Пластичность, стабильность и адаптивность сортов яровой пшеницы в условиях Удмуртской Республики. Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2015;(3(3)):28-31. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24898441>
10. Волкова Л. В., Гирёва В. М. Оценка сортов яровой мягкой пшеницы по урожайности и адаптивным свойствам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(4(59)):19-23. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29739671>
11. Плиско Л. Г., Пакуль В. Н. Адаптивная способность и стабильность сортов яровой пшеницы в условиях Западной Сибири. Международный научно-исследовательский журнал. 2017;(12-1(54)):140-144. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27534552>
12. James G. Menzies, Denis Gaudet. The surprising bunts and smuts. Agriculture and agri-food Canada, 2010. Режим доступа: http://umanitoba.ca/faculties/afs/agronomists_conf/media/Dec_15pm_4_Menzies_presentation.pdf
13. Кекало А. Ю., Немченко В. В., Заргарян Н. Ю., Цыпышева М. Ю. Защита зерновых культур от болезней. Куртамыш: ООО «Куртамышская типография», 2017. 172 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29053721>

References

1. Rumyantsev A. V., Glukhovtsev V. V., Kukushkina L. A. *Nauchnye dostizheniya v seleksii sortov yarovoy myagkoy pshenitsy*. [Scientific advances inbreeding varieties of spring wheat]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and Groat Crops*. 2015;(2):58-63. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23572880>
2. Druzhin A. E., Krupnov V. A. *Pshenitsa i pyl'naya golovnya*. [Wheat and loose smut]. *Saratov: Izd-vo Sarat. ins-ta*, 2008. 164 p.
3. Sheshegova T. K. *Analiz fitosanitarnogo sostoyaniya posevov yarovykh zernovykh kul'tur v Kirovskoy oblasti (analiticheskiy obzor)*. [Analysis of a phytosanitary condition of sowings of spring grain crops in the Kirov

region (Analytical review)]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2015;5(48):10-14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24113596>

4. Kincharov A. I., Demina E. A., Mullayanova O. S., Taranova T. Yu. *Aktual'nye problemy adaptivnoy seleksii yarovoy myagkoy pshenitsy v srednem Povolzh'e i puti ikh resheniya*. [Actual problems of adaptive breeding of spring soft wheat in the middle volga region and their solutions]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2018;20(2-3(82)):459-463. (In Russ.). URL: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2018/2018_2_459_463.pdf

5. Neshumaeva N. A., Sidorov A. V., Golubev S. S. *Seleksiya yarovoy pshenitsy na ustoychivost' k pyl'noy golovne*. [Breeding of spring wheat for resistance to head smut]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2016;30(6):22-24. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/seleksiya-yarovoy-pshenitsy-na-ustoychivost-k-pyl'noy-golovne>

6. Syukov V. V., Porot'kin S. E. *Genetika ustoychivosti myagkoy pshenitsy (Triticum aestivum L.) k pyl'noy golovne (Ustilago tritici (Pers.) Jens) (Obzor)*. [Genetics of common wheat (*Triticumaestivum* L.) resistance to loose smut (*Ustilago tritici* (Pers.) Jens.) (Review)]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*. 2014;18(3):517-522. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22479659>

7. Zhuchenko A. A. *Vozmozhnosti sozdaniya sortov i gibridov rasteniy s uchetom izmeneniya klimata. Strategiya adaptivnoy seleksii polevykh kul'tur v svyazi s global'nym izmeneniem klimata*. [Possibilities of creating varieties and hybrids of plants taking into account climate change. Strategy for adaptive selection of field crops in response to global climate change]. Saratov: ООО «Satelit», 2004. pp. 10-16.

8. Fowler D. B. *Winter wheat production manual*. Crop development centre University of Saskatchewan, 2018. Available at: https://www.usask.ca/agriculture/plantsci/winter_cereals/winter-wheat-production-manual/chapter-11.php (accessed: 22.12.2019)

9. Kuryleva A. G. *Plastichnost', stabil'nost' i adaptivnost' sortov yarovoy pshenitsy v usloviyakh Udmurtskoy Respubliki*. [Plasticity, stability and adaptability of cultivars of spring wheat cultivated in the conditions of the Udmurt Republic]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaystvennyye nauki. Ekonomicheskie nauki* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2015;(3(3)):28-31. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24898441>

10. Volkova L. V., Gireva V. M. *Otsenka sortov yarovoy myagkoy pshenitsy po urozhaynosti i adaptivnym svoystvam*. [Estimation of spring soft wheat varieties by yield and adaptive properties]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(4(59)):19-23. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29739671>

11. Plisko L. G., Pakul' V. N. *Adaptivnaya sposobnost' i stabil'nost' sortov yarovoy pshenitsy v usloviyakh Zapadnoy Sibiri*. [Adaptive ability and stability of grades of spring-sown soft field in the conditions of Western Siberia]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal. 2017;(12-1(54)):140-144. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27534552>

12. James G. Menzies, Denis Gaudet. *The surprising bunts and smuts*. Agriculture and agri-food Canada, 2010. Режим доступа: http://umanitoba.ca/faculties/afs/agronomists_conf/media/Dec_15pm_4_Menzies_presentation.pdf

13. Kekalo A. Yu., Nemchenko V. V., Zargaryan N. Yu., Tsyypysheva M. Yu. *Zashchita zernovykh kul'tur ot bolezney*. [Protection of grain crops from diseases]. Kurtamysh: ООО «Kurtamyshskaya tipografiya», 2017. 172 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29053721>

Сведения об авторах

✉ **Харина Анастасия Владимировна**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0554-5814>, e-mail: Khavchas@yandex.ru

Амунова Оксана Сергеевна, кандидат биол. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166-а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8560-840X>

Information about the authors

✉ **Anastasiya V. Kharina**, PhD in Agricultural Science, researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0554-5814>, e-mail: Khavchas@yandex.ru

Oksana S. Amunova, PhD in Biology, researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8560-840X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО. КОРМЛЕНИЕ/ FODDER PRODUCTION. FEEDING

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.28-42>

УДК 636.087.69



Результаты экспериментальных исследований экструдирования кормов, содержащих зерно пшеницы и биомассу личинок черной львинки

© 2020. В. И. Пахомов¹, С. В. Брагинец¹, О. Н. Бахчевников¹ ✉,
А. С. Алферов¹, А. И. Рухляда¹, А. С. Бабаджанян²

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Экспериментальные исследования выполнены в 2019 г. в Ростовской области. Экструдировали 3 варианта смеси измельченного зерна пшеницы и биомассы личинок черной львинки с содержанием животного сырья 10, 12,5 и 15 % по массе при различной температуре. Определяли содержание аминокислот в сырье и готовом экструдате. Установлено, что кормовая смесь из измельченного зерна и биомассы личинок черной львинки может быть успешно экструдирована при температуре 121-135 °С. При увеличении температуры экструдирования в диапазоне 115-140 °С содержание аминокислот в готовом экструдате снижается. Изменение содержания личинок насекомых в кормовой смеси не оказывает влияния на характер зависимости содержания аминокислот в экструдате от температуры экструдирования и протекание процесса. Установлено, что содержание аминокислот в экструдате при увеличении температуры уменьшается с возрастающей скоростью независимо от содержания биомассы насекомых. Определен рациональный диапазон температуры экструдирования кормовой смеси из зерна пшеницы и личинок насекомых – 121-127 °С, обеспечивающий снижение содержания незаменимых аминокислот в экструдате не более чем на 30 %. Экструдированный корм, включающий 15% биомассы личинок насекомых, содержит 9,6±0,13 % аминокислот, в том числе 4,38±2,01 % незаменимых аминокислот. Экструдирование биомассы личинок насекомых в смеси с зерном зерновых культур является перспективным направлением совершенствования производства кормов для рыб и сельскохозяйственных животных.

Ключевые слова: корма, корм из насекомых, экструдат, личинки насекомых, протеин, аминокислоты

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «АНЦ «Донской» (тема № 0706-2019-0006).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пахомов В. И., Брагинец С. В., Бахчевников О. Н., Алферов А. С., Рухляда А. И., Бабаджанян А. С. Результаты экспериментальных исследований экструдирования кормов, содержащих зерно пшеницы и биомассу личинок черной львинки. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(1):28-42. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.28-42>

Поступила: 10.02.2020

Принята к публикации: 27.02.2020

Опубликована онлайн: 28.02.2020

The results of experimental studies of extrusion of feed containing wheat grain and black soldier fly larvae biomass

© 2020. Viktor I. Pakhomov¹, Sergey V. Braginetz¹, Oleg N. Bakhchevnikov¹ ✉,
Aleksander S. Alferov¹, Artem I. Rukhlyada¹, Arkady S. Babajanyan²

¹Agricultural Research Centre Donskoy, Zernograd, Russian Federation

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

The experimental studies were carried out in the Rostov region of Russia in 2019. Three variants of grinded wheat grain mixed with biomass of black soldier fly larvae with raw animal material content of 10, 12.5 and 15 % by mass were extruded at varying temperature. The content of amino acids in raw material and finished extrudate was determined. It has been established that the feed mixture containing grinded wheat grain and biomass of black soldier fly larvae can be successfully extruded at the temperature of 121-135 °C. As the extrusion temperature rises in the range of 115-140 °C, the content of amino acids in a finished extrudate decreases. Change in larvae content in the feed mixture does not affect the nature of the correlation between the amino acids content in the extrudate and the extrusion temperature and process behavior. It has been found that with increasing temperature the amino acids content in the extruded feed decreases with an accelerated velocity irrespective of the insect biomass content. The rational temperature range for extrusion of feed mixture containing grinded wheat grain and larvae biomass was determined within 121-127 °C. This range provides no more than 30 % decrease in indispensable amino acids content in the extrudate. The extruded feed containing 15% of insect larvae biomass contains

9.6±0.13 % of amino acids, including 4.38±2.01 % of indispensable amino acids. Extrusion of larvae biomass mixed with grain of cereal crops is considered to be a promising direction for improving production of feed for fish and farm animals.

Keywords: feed, insect as feed, extrudate, insect larvae, protein, amino acids

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of the Agricultural Research Centre Donskoy (theme No. 0706-2019-0006).

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Pakhomov V. I., Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Alferov A. S., Rukhlyada A. I., Babajanyan A. S. The results of experimental studies of extrusion of feed containing wheat grain and black soldier fly larvae biomass. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(1):28-42. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.28-42>

Received: 10.02.2020

Accepted for publication: 27.02.2020

Published online: 28.02.2020

В настоящее время актуально повышение питательной ценности кормов для сельскохозяйственных животных и аквакультуры, для чего необходимо обеспечить высокое содержание в них белка [1]. Особенно важно наличие в кормах компонентов животного происхождения с высоким содержанием протеина для обеспечения потребности в незаменимых аминокислотах [2]. Но в последние годы происходит уменьшение объемов производства сырья животного происхождения, такого как рыбная, крилевая и мясокостная мука, вызывающее повышение его стоимости [3]. Это сопровождается ухудшением его качества и фальсификацией [4].

Во всем мире ведутся исследования по поиску новых недорогих кормовых компонентов с высоким содержанием белка, в том числе незаменимых аминокислот [5]. Одним из наиболее перспективных видов кормового сырья по экономическим критериям и содержанию протеина являются личинки синантропных мух [6], в частности личинки мухи черная львинка (*Hermetia illucens* L.) [7].

Личинок черной львинки выращивают на субстрате из растительного сырья или пищевых отходов, причем его биоконверсия достигает 77 %, что обуславливает низкую стоимость готовой продукции [8]. Достоинством личинок, как компонента кормов, является высокое содержание в них протеина – 35-48 %, при этом на долю переваримого протеина приходится 85-95 % [9]. Содержание жира в личинках также высокое и составляет 20-45 % [10].

Личинки черной львинки имеют высокую влажность – 60-65 % [9], поэтому для использования в составе кормов их необходимо предварительно высушивать [11].

Для включения биомассы личинок черной львинки в состав комбикормов ее необходимо предварительно обработать. Наиболее простым способом обработки является конвективная сушка личинок при температуре 70-80 °С и последующее измельчение [9, 11]. Недостатком этого способа является разруше-

ние части белков при длительном нагреве и наличие в корме непереваримого хитина.

Наибольшее распространение получили способы разделения биомассы личинок насекомых на фракции механическими (отжим жира, сепарация) и химическими (экстракция) методами, результатом применения которых является выделение из нее белков, жиров и хитина [12]. Выделенный белок подвергают измельчению и конвективной сушке, получая высушенную массу, представляющую собой аналог рыбной муки [13]. Экспериментальные исследования показали, что протеинсодержащая мука из личинок насекомых может служить адекватной заменой рыбной муке в составе комбикормов, не уступая ей по содержанию аминокислот [9, 14]. Выделенный из личинок насекомых жир также включают в рационы животных [15].

Недостатком этого способа переработки насекомых является его большая сложность и обусловленная этим высокая стоимость. Кроме того, разделение содержащихся в сырье белков и жиров не всегда оправдано, так как животным необходимы оба этих вида питательных веществ, что требует совместного введения в состав корма ранее разделенных компонентов.

Сложность получения протеиновой муки из личинок черной львинки обуславливает ее высокую себестоимость. В результате создается парадоксальная ситуация, когда недорогое исходное сырье (личинки насекомых) доходит до потребителя в форме дорогой протеинсодержащей муки. Сходная ситуация создается и при производстве рыбной муки из недорогой мелкой рыбы [16]. Это значительно снижает эффективность использования в составе кормов биомассы насекомых. Поэтому необходимо разработать недорогой способ подготовки и введения биомассы личинок в состав кормов.

При производстве комбикормов для сельскохозяйственных животных часть компонентов, а для хищных рыб – все компоненты в составе корма подвергают экструдированию для улучшения структуры и повышения усвоя-

емости питательных веществ [17]. Сравнительные экспериментальные исследования по экструдированию комбикормов для рыб, содержащих, соответственно, рыбную муку и протеиновую муку из черной львинки, показали, что эти виды сырья сопоставимы по содержанию аминокислот, в том числе незаменимых, и питательной ценности [18, 19].

Использование сырья из насекомых в комбикорме в форме протеиновой муки требует его предварительной дорогостоящей обработки [14]. Наилучшим вариантом по критерию себестоимости является введение личинок в состав корма без их предварительной обработки либо с минимальной обработкой.

Основным компонентом кормов для свиней, птицы и растительноядных рыб является фуражное зерно, в частности зерно пшеницы, бедное белком. Добавление к нему биомассы личинок позволит увеличить содержание протеина в готовом корме [9].

Авторами статьи предложен способ введения личинок насекомых в состав кормов, заключающийся в совместном экструдировании их биомассы с зерновыми компонентами корма (пшеница). Экструдирование растительного и животного сырья по причине большой энергоемкости этого процесса является дорогостоящей операцией. Но если технологическая схема производства комбикорма предусматривает экструдирование всех или части его компонентов, то добавление к ним биомассы личинок в количестве 10-15 % не приведет к ощутимому увеличению себестоимости готового корма, а себестоимость подготовки самой биомассы будет невелика.

Для экструдирования зерна его необходимо предварительно увлажнить, что удорожает приготовление кормов [20]. Альтернативой увлажнению является добавление к зерну растительного или животного сырья с высокой влажностью и их совместное экструдирование, что снижает энергоемкость процесса [20]. Биомасса личинок черной львинки имеет влажность 60-65 %, что позволяет снизить себестоимость приготовления корма за счет отказа от увлажнения сырья. Наличие жиров в личинках также может оказать положительное влияние на процесс экструдирования зерновых компонентов кормовой смеси, в частности снизить его удельную энергоемкость [21].

Перед экструдированием рационально отделить от биомассы личинок непереваримый хитин. Для этого возможно применить простой способ измельчения и последующего

механического разделения биомассы личинок [13, 22]. В результате его применения биомасса разделяется на две фракции – фракцию хитинсодержащей кутикулы и содержащую белки и жиры биомассу внутренностей личинок [22], которая и подвергается экструдированию.

Но существует потенциальное препятствие для производства кормов методом экструдирования смеси растительного и животного сырья. Согласно литературным источникам, в смесях с высоким содержанием углеводов и белков при значительном нагреве происходит реакция мелаидинообразования (реакция Майяра) [23, 24], в ходе которой происходит взаимодействие аминокислот с сахарами. В результате в подвергнутом тепловой обработке продукте снижается содержание аминокислот, происходит снижение усвояемости белка. Особенно активно в реакции Майяра участвует лизин [24].

Установлено, что высокая температура, создаваемая в процессе экструдирования, способствует протеканию реакции Майяра в сырье с большим содержанием углеводов [23]. В частности, при экструдировании смеси пшеницы и сои при температуре 170 °C снижение содержания лизина составило 40 % [25].

Согласно экспериментальным данным, потери лизина и других аминокислот при тепловой обработке увеличиваются с повышением температуры и уменьшаются при увеличении влажности сырья [23]. Таким образом, при экструдировании смеси из зерна пшеницы, богатого углеводами, и личинок насекомых, богатых белком, возможно протекание реакции Майяра и, как следствие, снижение содержания аминокислот в готовом корме. Однако высокая влажность биомассы личинок может способствовать минимизации потерь аминокислот.

Следует отметить, что в ходе известных исследований экструдирования кормов, содержащих зерно и личинки насекомых, последние вводились в состав корма в форме обезжиренной и обезвоженной протеинсодержащей муки [17, 18, 19] либо в форме обезвоженной и измельченной массы [26]. Исследований же по экструдированию личинок без их предварительной обработки или с минимальной обработкой (выделение хитина) ранее не проводили.

Цель исследований – экспериментальная проверка возможности экструдирования кормовых смесей, содержащих зерно пшеницы и личинки черной львинки, и определе-

ние рациональных параметров процесса экструдирования, обеспечивающих сохранность протеина в экструдированном корме.

Материал и методы. Экспериментальные исследования проведены в 2019 г. в Ростовской области. В ходе исследований приготавливали экструдированный корм для свиней. В качестве сырья для корма использовали личинки мухи черная львинка и зерно озимой пшеницы.

Личинки мухи черная львинка (*Hermetia illucens* L.) были выращены в «Исследовательском центре кормов для аквакультуры» Донского государственного технического университета (ДГТУ) в инсектарии на субстрате из смеси пищевых отходов и овсяных хлопьев

[27]. Для приготовления корма использовали личинки в стадии предкуколки [28].

Подготовка личинок включала их деактивацию понижением температуры воздуха, мойку, отделение от субстрата, измельчение в шнековой мясорубке (рис. 1). Выделение хитинсодержащей оболочки произведено в шнековой соковыжималке путем продавливания массы личинок через решетку с диаметром отверстий 1,5 мм [22]. В результате была получена однородная биомасса внутренностей личинок, богатая протеином и жиром ($36 \pm 0,4$ % протеина, $26 \pm 0,3$ % жира в сухом веществе), которую использовали для приготовления кормовой смеси. Влажность биомассы составила $60 \pm 0,6$ %.

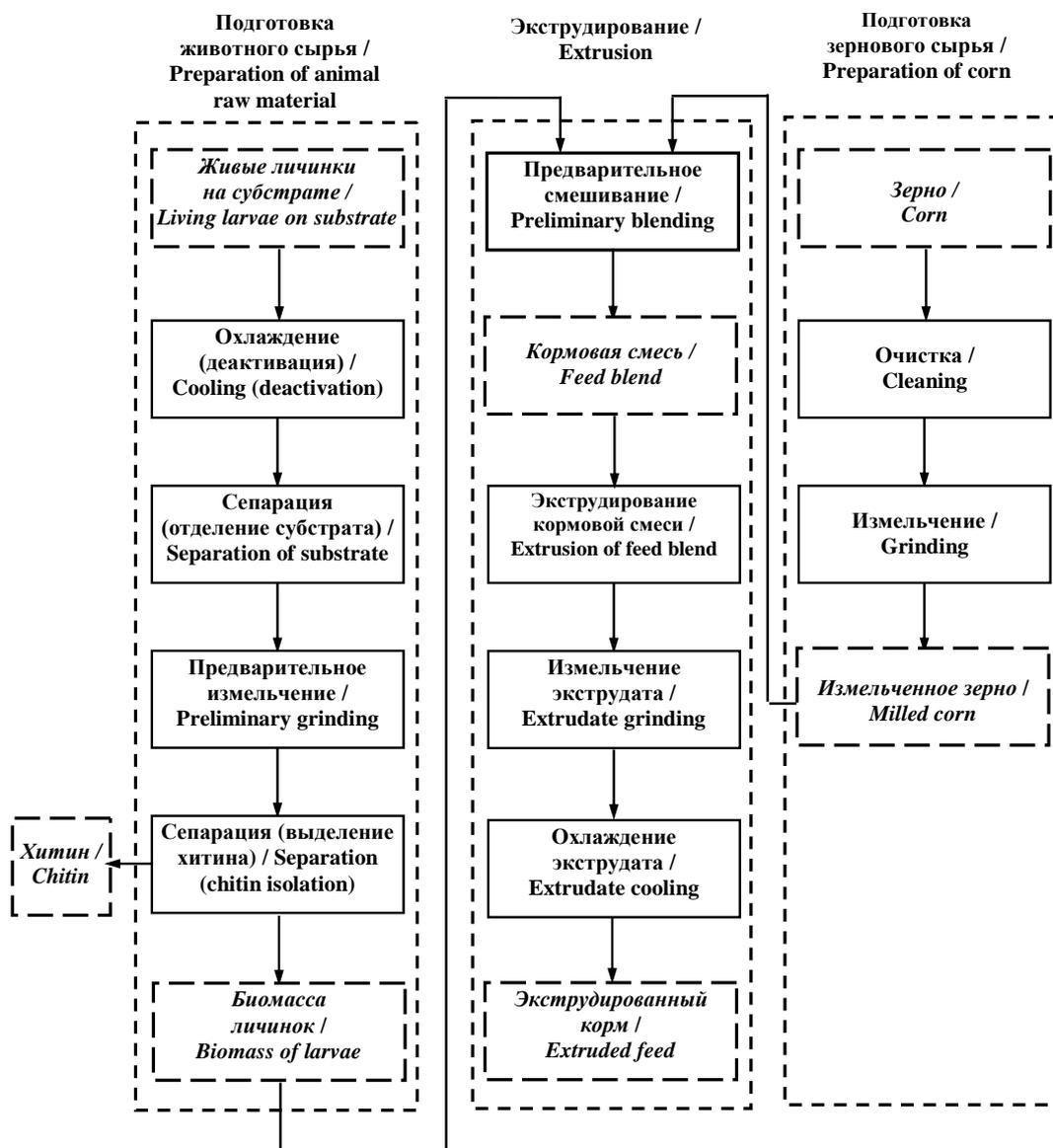


Рис. 1. Технологическая схема производства экструдированного корма из биомассы личинок черной львинки и зерна пшеницы

Fig. 1. Manufacturing scheme for production of extruded feed containing black soldierfly larvae and wheat grain

Использовали зерно озимой пшеницы урожая 2019 г., выращенное в «АНЦ «Донской». Зерно предварительно очистили от примесей и измельчили на молотковой дробилке с диаметром отверстий решета 3 мм. Влажность зерна пшеницы составляла $13,8 \pm 0,21$ %.

Для приготовления корма применяли малый одношнековый экструдер ЭК-80, разработанный в «АНЦ «Донской». Его максимальная производительность составляет 80 кг/ч, мощность электродвигателя – 7,5 кВт. Частота вращения шнека – 220-308 с^{-1} . Загрузочный бункер экструдера был оснащен объемным дозатором для равномерной подачи сырья. Отношение длины шнека к диаметру составляло $L/D = 6:1$ при $D = 55$ мм, диаметр выходного отверстия фильеры – 10 мм.

Измельченное зерно пшеницы и биомассу личинок смешивали в бытовом миксере. Каждый вариант кормовой смеси приготавливали в количестве 200 г. Смесь загружали в ЭК-80 и экструдировали при заданном значении частоты вращения шнека. На выходе из матрицы жгут экструдата измельчали вращающимся ножом, в результате чего получали гранулы длиной 100 ± 5 мм. Гранулы охлаждали до комнатной температуры путем естественного остывания, затем упаковывали в полиэтиленовые пакеты и отправляли на анализ.

Экструдировали 3 варианта смеси кормового сырья со следующим составом и соотношением компонентов (по массе): I – Биомасса личинок черной львинки + зерно пшеницы в соотношении 10:90. II – Биомасса личинок + зерно пшеницы в соотношении 12,5:87,5. III – Биомасса личинок + зерно пшеницы в соотношении 15:85. Для сравнения также экструдировали корм, содержащий только измельченное зерно пшеницы (контрольный образец).

Частоту вращения шнека изменяли с помощью частотного преобразователя в диапазоне 220-308 с^{-1} . Увеличение частоты вращения шнека экструдера приводило к повышению температуры экструдирования. Значение частоты вращения шнека 220 с^{-1} соответствует температуре экструдата $115 \pm 0,5$ °С, а 308 с^{-1} – $140 \pm 0,5$ °С. Температуру экструдата измеряли на выходе из фильеры матрицы экструдера термопарой.

Опыт по экструдированию каждого варианта кормовой смеси при определенной частоте вращения шнека экструдера производили в трех повторностях. Результаты измерений представлены в виде: среднее значение

\pm среднее квадратичное отклонение. Достоверность различий средних определяли методом однофакторного дисперсионного анализа с применением апостериорного анализа по критерию Тьюки при $p < 0,05$.

Пробы кормовых смесей и экструдатов отбирали согласно ГОСТ ISO 6497-2014 и готовили к анализу по ГОСТ ISO 6498-2014. Полученные образцы кормовых смесей и готовых экструдатов подвергали химическому анализу по стандартным методикам, определяя общее содержание протеина и жиров, а также влажность. Диаметр гранул экструдата для определения его индекса расширения измеряли штангенциркулем.

Критериями возможности экструдирования кормовой смеси определенного состава и удовлетворительного протекания процесса служили отсутствие заклинивания шнека экструдера, подгорания продукта, снижения производительности экструдера, а также равномерное прохождение сырья через экструдер, получение экструдата хорошего качества. Качество экструдата оценивали органолептическим методом. Экструдат хорошего качества должен иметь плотную пористую однородную структуру, равномерную окраску и приятный запах, его гранулы должны иметь достаточную прочность [20, 26].

Содержание в кормовых смесях и экструдатах различных аминокислот определяли методом капиллярного электрофореза [29] согласно ГОСТ Р 55569-2013. Исследование образцов проводили в лаборатории «Биохимический и спектральный анализ пищевых продуктов» ДГТУ с помощью прибора СКЭ «Капель-104Т».

Метод капиллярного электрофореза состоит в разложении проб корма кислотным гидролизом, вызывающим переход аминокислот в свободные формы, получении ФТК-производных и их электрофоретическом разделении [29]. Количественное определение содержания аминокислот производили путем анализа электрофореграмм. Определяли суммарное содержание аспарагиновой кислоты и аспарагина, глутаминовой кислоты и глутамина, лейцина и изолейцина без их разделения.

В результате обработки результатов анализа определяли количественное содержание в пробе каждой из следующих аминокислот: аланин, аргинин, аспарагин, валин, гистидин, глицин, глутамин, лейцин, лизин, метионин, пролин, серин, тирозин, треонин, триптофан, фенилаланин, цистин. На основе полученных

данных определяли массовую долю каждой аминокислоты в исследуемом образце корма, выраженную в процентах. Полученные значения суммировали, определяя общее содержание аминокислот в корме и отдельно суммарное содержание незаменимых аминокислот (аргинин, валин, гистидин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин).

При обработке результатов экспериментов оценивали влияние температуры экструдирования и содержания биомассы личинок в кормовой смеси на содержание аминокислот в готовом экструдате. В качестве основного показателя качества экструдированного корма использовали общее содержание аминокислот в экструдате и содержание в нем незаменимых аминокислот. В качестве вспомогательных показателей качества экструдата использовали его влажность и индекс расширения.

В данном исследовании температуру экструдирования кормовой смеси оценивали путем измерения температуры экструдата при его выходе из фильеры, так как ее определение не вызывает значительных трудностей. Температура готового экструдата ниже, чем температура в рабочей камере экструдера, но находится от нее в прямой зависимости.

Для оценки влияния температуры на процесс экструдирования кормовой смеси на основе экспериментальных данных вычисляли мгновенную скорость изменения содержания аминокислот, которая показывает, на сколько процентов изменяется содержание аминокислот в экструдате при изменении температуры экструдирования на один градус ($^{\circ}\text{C}$).

Результаты и их обсуждение. Содержание аминокислот в исходной кормовой смеси и ее влажность приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание аминокислот и влажность кормовой смеси из зерна пшеницы и биомассы личинок черной львинки

Table 1 – Amino acids and moisture content in the feed mixture containing black soldier fly larvae and wheat grain

<i>Вариант кормовой смеси / Variant of feed mixture</i>	<i>Общее содержание аминокислот, % / Amino acids content, %</i>	<i>Содержание незаменимых аминокислот, % / Indispensable amino acids content, %</i>	<i>Влажность, % / Moisture content, %</i>
I – Биомасса личинок 10 % + зерно пшеницы 90 %) / I – Larvae biomass 10 % + wheat grain 90 %)	13,25±0,12	5,05±0,08	18,6±0,18
II – Биомасса личинок 12,5 % + зерно пшеницы 87,5 %) / II – Larvae biomass 12.5 % + wheat grain 87.5 %)	13,71±0,15	5,28±0,09	19,7±0,2
III – Биомасса личинок 15 % + зерно пшеницы 85 %) / III (larvae biomass 15 % + wheat grain 85 %)	14,12±0,13	5,63±0,07	20,9±0,18
Контрольный образец (пшеница 100 %) / Control sample (wheat grain 100 %)	11,81±0,13	3,93±0,08	13,8±0,21

Введение в состав корма биомассы личинок (10-15 %) увеличивало общее содержание аминокислот на 1,44-2,31 %, а незаменимых аминокислот – на 1,12-1,7 % по сравнению с зерном пшеницы (до тепловой обработки). Но при этом влажность кормовой смеси увеличивалась с 13,8 до 18,6-20,9 %.

В результате экспериментов установлено, что кормовая смесь, состоящая из зерна пшеницы и биомассы личинок черной львинки, может быть экструдирована в одношнековом экструдере.

Процесс экструдирования кормовой смеси протекает удовлетворительно при температуре 121-135 $^{\circ}\text{C}$. При температуре менее

121 $^{\circ}\text{C}$ процесс протекает неэффективно, экструдат получается неудовлетворительного качества с резко неоднородной структурой, рыхлый и непрочный. При температуре экструдирования более 135 $^{\circ}\text{C}$ происходит подгорание экструдата, сопровождающееся, как будет показано далее, значительным снижением содержания протеина.

В результате экструдирования смеси зерна пшеницы и биомассы личинок черной львинки при температуре 121-135 $^{\circ}\text{C}$ получен экструдированный корм хорошего качества. Готовый экструдат имел однородную пористую структуру, был плотным и прочным. Экструдат, содержащий биомассу личинок, имел более темный

цвет, чем экструдат только из зерна пшеницы. На рисунке 2 представлены образцы экструдата из зерна пшеницы и биомассы черной

львинки (вариант II: биомасса личинок 12,5 % + зерно пшеницы 87,5 %), полученные при различной температуре.



Рис. 2. Образцы экструдата из зерна пшеницы и биомассы личинок черной львинки (вариант II: биомасса личинок 12,5 % + зерно пшеницы 87,5 %), полученный при температуре: 1, 2 – 115 °С; 3, 4 – 118 °С; 5, 6 – 121 °С; 7, 8 – 124 °С; 9, 10 – 127 °С; 11, 12 – 130 °С; 13, 14 – 132 °С; 15, 16 – 135 °С; 17, 18 – 138 °С; 19, 20 – экструдат только из пшеницы, полученный при температуре 124 °С (контрольный образец)

Fig. 2. Samples of the extrudate containing black soldier fly larvae biomass and wheat grain (Variant II: larvae biomass 12.5 % + wheat grain 87.5 %) obtained at the temperature: 1, 2 – 115 °C; 3, 4 – 118 °C; 5, 6 – 121 °C; 7, 8 – 124 °C; 9, 10 – 127 °C; 11, 12 – 130 °C; 13, 14 – 132 °C; 15, 16 – 135 °C; 17, 18 – 138 °C; 19, 20 – extrudate containing only wheat grain obtained at the temperature of 124 °C (control sample)

Влажность готового экструдированного корма составила 9,3-11,8 %, в результате чего отсутствовала необходимость в его сушке (табл. 2). Увеличение содержания биомассы личинок в кормовой смеси приводило к увеличению влажности готового экструдата. Диаметр жгута экструдата составил 14,1-16,2 мм. Индекс расширения экструдата равен 1,41-1,62, индекс расширения экструдата только из пшеницы – 1,79. Низкая величина индекса расширения экструдата обусловлена добавлением в кормовую смесь личинок черной львинки – сырья с высоким содержанием протеина и жиров. При этом увеличение содержания биомассы личинок в кормовой смеси и, соответственно, содержания жира и протеина приводило к снижению индекса расширения готового экструдата.

Не выявлено существенного влияния увеличения влажности кормовой смеси, происходящего при повышении содержания био-

массы личинок, на сохранность аминокислот в процессе экструдирования ($p > 0,05$). Очевидно, объясняется это тем, что при возрастании содержания биомассы с 10 до 15 % общая влажность кормовой смеси увеличивается лишь на 2,3 %, что не оказывает существенно влияния на процесс экструдирования.

Изменение температуры экструдирования не оказало значительного влияния на содержание жиров в готовом экструдате, которое практически не изменилось по сравнению с содержанием в исходной кормовой смеси.

Установлено, что добавление к зерну пшеницы биомассы личинок черной львинки в количестве от 10 до 15 % по массе (при температуре 124 °С) увеличивает общее содержание аминокислот в экструдированном корме от 68 до 105 % по сравнению с экструдатом только из зерна пшеницы (табл. 2). При этом содержание незаменимых аминокислот в экструдате увеличивается в пределах от 112 до 165 %.

Таблица 2 – Показатели качества экструдированного корма из зерна пшеницы и биомассы личинок черной львинки (произведен при температуре 124 °С)

Table 2 – Quality parameters of the extruded feed containing black soldier fly larvae biomass and wheat grain (produced at the temperature of 124 °C)

<i>Вариант кормовой смеси / Variant of feed mixture</i>	<i>Общее содержание аминокислот, % / Amino acids content, %</i>	<i>Содержание незаменимых аминокислот, % / Indispensable amino acids content, %</i>	<i>Влажность, % / Moisture content, %</i>	<i>Индекс расширения / Expansion index</i>
<i>I – Биомасса личинок 10 % + зерно пшеницы 90 % / I – Larvae biomass 10 % + wheat grain 90 %</i>	7,85±0,13	3,51±0,09	9,3±0,19	1,62±0,2
<i>II – Биомасса личинок 12,5 % + зерно пшеницы 87,5 % / II – Larvae biomass 12.5 % + wheat grain 87.5 %</i>	8,55±0,14	3,89±0,09	10,4±0,18	1,53±0,24
<i>III – Биомасса личинок 15 % + зерно пшеницы 85 % / III – (larvae biomass 15 % + wheat grain 85 %)</i>	9,6±0,13	4,38±0,1	11,8±0,21	1,41±0,19
<i>Контрольный образец (пшеница 100 %) / Control sample (wheat grain 100%)</i>	4,68±0,16	1,65±0,11	8,2±0,23	1,79±0,22

На рисунках 3 и 4 показаны графики, иллюстрирующие зависимость содержания аминокислот в экструдированном корме от температуры экструдирования (температуры готового экструдата). Установлено, что при увеличении температуры экструдирования в диапазоне 115-140 °С содержание аминокислот в готовом экструдате из зерна пшеницы и биомассы личинок черной львинки снижается. Влияние уровней варьирования фактора на измеряемый параметр достоверно различимо при $p < 0,05$.

Полученные графики показывают, что изменение содержания биомассы личинок в кормовой смеси с 10 до 15 % практически не оказывает влияния на характер графической зависимости содержания аминокислот в экструдате от температуры экструдирования. В результате анализа результатов экспериментов не выявлено значительных различий между характером изменения общего содержания аминокислот (рис. 3) и содержания незаменимых аминокислот (рис. 4) в экструдате при увеличении температуры экструдирования ($p < 0,05$).

Анализ графиков на рисунках 3 и 4 показывает, что на кривых, отражающих содержание аминокислот в экструдате в зависимости от температуры, отчетливо выделяются три участ-

ка с различным характером протекания процесса экструдирования кормовой смеси.

При температуре 115-121 °С содержание аминокислот в готовом экструдате снижается незначительно. Общее содержание аминокислот при температуре 121 °С снижается на 1,9-2,4 отн.% по сравнению с содержанием при температуре 115 °С. Содержание незаменимых аминокислот уменьшается при этом на 2,6-3,8 отн.%. Установлено, что в данном температурном диапазоне процесс экструдирования протекает неэффективно, не приводя к получению однородного плотного экструдата, что и является причиной незначительного изменения содержания аминокислот.

В диапазоне 121-135 °С наблюдается более значительное снижение содержания аминокислот, причем скорость снижения этого показателя увеличивается по сравнению с диапазоном 115-121 °С. Общее содержание аминокислот в экструдате при температуре 135 °С на 23,3-29,6 % ниже, чем при температуре 121 °С. Содержание незаменимых аминокислот уменьшается при этом на 28,1-29,3 %. Именно в этом диапазоне температуры был получен однородный плотный экструдат хорошего качества. Таким образом, снижение содержания аминокислот на 23,3-29,6 % озна-

чает, в данном случае, эффективное протекание процесса экструдирования кормовой смеси, в ходе которого происходит деструкция сво-

бодных аминокислот. Возможно, в этом диапазоне, особенно при температуре 130-135 °С, реакция Майяра протекает более активно.

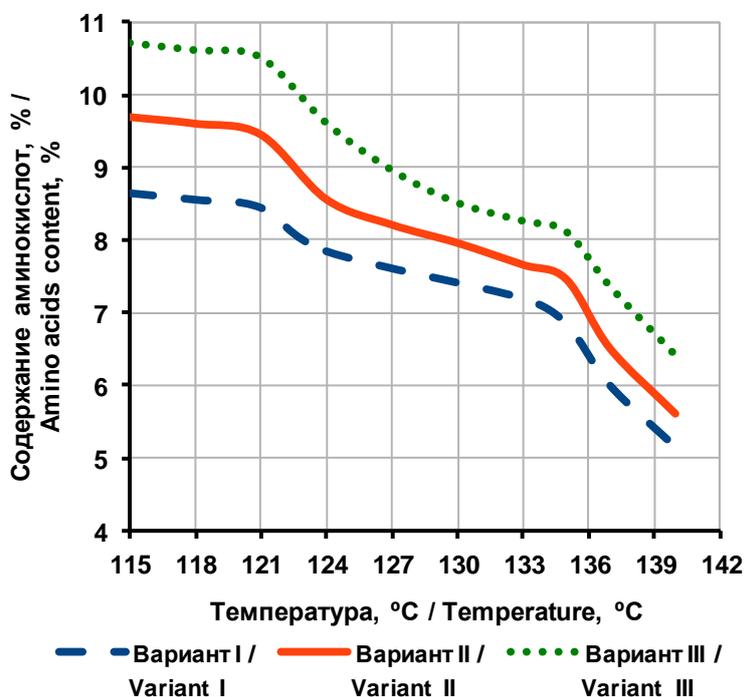


Рис. 3. Зависимость общего содержания аминокислот в экструдированном корме от температуры экструдирования

Fig. 3. The correlation between the general amino acids content in the extruded feed and the extrusion temperature

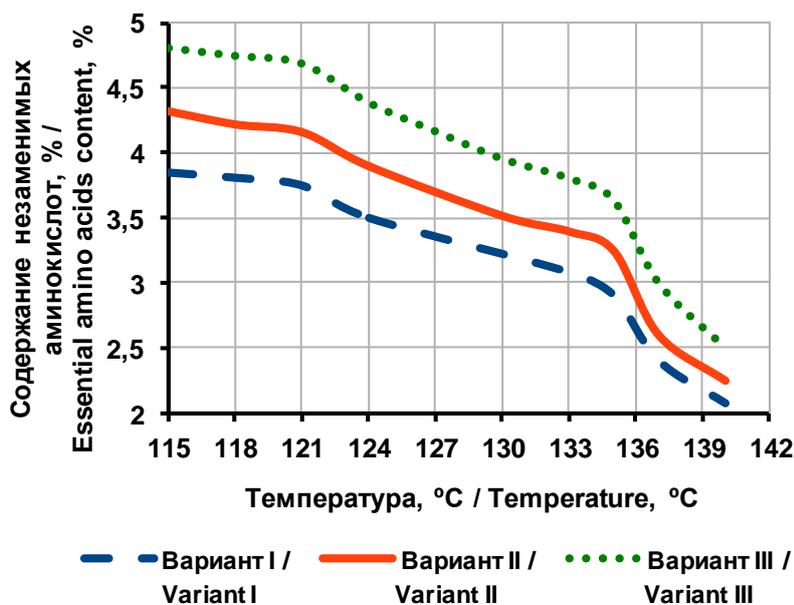


Рис. 4. Зависимость содержания незаменимых аминокислот в экструдированном корме от температуры экструдирования

Fig. 4. The correlation between indispensable amino acids content in the extruded feed and the extrusion temperature

Диапазон 135-140 °С характеризуется резким снижением содержания аминокислот в готовом экструдате. Общее содержание аминокислот в экструдате, полученном при температуре 140 °С, на 26,5-33,0 % ниже, чем при температуре 135°С. Содержание незаменимых аминокислот уменьшается при этом на 40-45 %. В этом диапазоне температуры был получен экструдат неудовлетворительного качества. Очевидно, значительное снижение содержания аминокислот вызвано их взаимодействием с сахарами и образованием меланоидинов (реакция Майяра). Это подтверждается и значительно более темным цветом полученного при температуре 135-140 °С экструдата. Также происходит подгорание

экструдата, вызывающее термическое разрушение аминокислот.

На рисунке 5 представлен график зависимости содержания незаменимых аминокислот в экструдированном корме от температуры экструдирования и содержания биомассы личинок черной львинки в кормовой смеси. График показывает, что протекание процесса экструдирования мало зависит от содержания биомассы личинок насекомых в кормовой смеси, основное влияние на него оказывает температура экструдирования. При увеличении температуры экструдирования происходит снижение общего содержания аминокислот и содержания незаменимых аминокислот в готовом экструдате.



Рис. 5. Зависимость содержания незаменимых аминокислот в экструдированном корме от температуры экструдирования и содержания биомассы личинок насекомых в кормовой смеси

Fig. 5. The correlation between indispensable amino acids content in the extruded feed and the extrusion temperature and larvae biomass content in the feed mixture

Анализ экспериментальных данных (рис. 3, 4, 5, табл. 1, 2) показал, что общее содержание аминокислот в экструдате, произведенном при температуре 121 °С, в среднем составляет 69 % от первоначального их содержания до экструдирования. Содержание незаменимых аминокислот в таком экструдате составляет 78,6 % от первоначального. Таким образом, экструдирование кормовой смеси в диапазоне температур 118-121 °С снижает содержание аминокислот на 31 % (незаменимых на 21,4 %).

Общее содержание аминокислот в экструдате, произведенном при температуре 135 °С составляет в среднем 50,8 % от первоначального их содержания в исходной кормовой смеси, содержание незаменимых аминокислот – составляет 52,1 % от первоначального. Таким образом, экструдирование кормовой смеси

в диапазоне температур 121-135 °С снижает содержание аминокислот еще примерно на 20 % (незаменимых на 26 %).

При температуре экструдирования более 135°С содержание аминокислот уменьшается значительно быстрее, составляя при температуре 139 °С 41,7 % от первоначального (для незаменимых 42,7 %).

По показателю снижения содержания аминокислот по сравнению с первоначальным между вариантами кормовой смеси не выявлено статистически значимых различий ($p > 0,05$). Это также подтверждает, что содержание личинок насекомых в кормовой смеси не влияет на сохранность аминокислот в результате экструдирования. Также можно сделать вывод о том, что осуществлять экструдирование при температуре экструдата

более 135 °С не следует, так это приведет к снижению содержания аминокислот в готовом корме более чем наполовину по сравнению с первоначальным.

Наглядно оценить влияние температуры на процесс экструдирования кормовой смеси позволяет мгновенная скорость изменения содержания аминокислот в экструдате (табл. 3).

Таблица 3 – Мгновенная скорость изменения содержания аминокислот в экструдате из зерна пшеницы и биомассы личинок черной львинки при различной температуре экструдирования (относительно общего содержания различных веществ в экструдате), %/°С

Table 3 – Instantaneous rate of amino acids content change in the extrudate containing black soldier fly larvae biomass and wheat grain at varying extrusion temperature (in relation to the general content of different substances in the extrudate), %/°С

Диапазон температуры, °С / Range of temperature, °С	I вариант / I variant		II вариант / II variant		III вариант / III variant	
	биомасса личинок 10 % + зерно пшеницы 90 %) / larvae biomass 10 % + wheat grain 90 %)		биомасса личинок 12,5 % + зерно пшеницы 87,5 %) / larvae biomass 12.5 % + wheat grain 87.5 %)		биомасса личинок 15 % + зерно пшеницы 85 %) / (larvae biomass 15 % + wheat grain 85 %)	
	для всех аминокислот / for all amino acids	для незаменимых аминокислот / for indispensable amino acids	для всех аминокислот / for all amino acids	для незаменимых аминокислот / for indispensable amino acids	для всех аминокислот / for all amino acids	для незаменимых аминокислот / for indispensable amino acids
115-121	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02
121-135	0,17	0,06	0,14	0,07	0,17	0,07
135-140	0,34	0,17	0,37	0,2	0,34	0,23

При изменении температуры в диапазоне 115-121 °С средняя мгновенная скорость изменения общего содержания аминокислот составляет 0,033 %/°С, а незаменимых аминокислот – 0,023 %/°С. Такая незначительная скорость изменения содержания аминокислот указывает на неэффективное протекание процесса экструдирования.

При изменении температуры в диапазоне 121-135 °С средняя мгновенная скорость изменения общего содержания аминокислот увеличивается и составляет 0,16 %/°С, а незаменимых аминокислот – 0,007 %/°С. Это указывает на эффективное протекание процесса экструдирования кормовой смеси.

При изменении температуры в диапазоне 135-140 °С средняя мгновенная скорость изменения общего содержания аминокислот значительно увеличивается и составляет 0,35 %/°С, а незаменимых аминокислот – 0,2 %/°С. Таким образом, в диапазоне 135-140 °С при увеличении температуры общее содержание аминокислот снижается в среднем в 2,5 раза быстрее, чем в диапазоне 121-135 °С. Содержание незаменимых аминокислот при этом снижается в сред-

нем в 2,85 раза быстрее. Это подтверждает нерациональность экструдирования кормовой смеси в данном диапазоне температур по причине плохой сохранности аминокислот.

Сравнение результатов для разных вариантов кормовой смеси, приведенных в таблице 3, показывает, что мгновенная скорость изменения содержания аминокислот в процессе экструдирования не имеет зависимости от содержания биомассы личинок в смеси и определяется лишь температурой экструдирования.

Анализ результатов экспериментов показывает, что отсутствуют факторы, ограничивающие возможность эффективного экструдирования кормовой смеси зерна пшеницы и биомассы личинок черной львинки при содержании насекомых до 15 %, а возможно и более. Можно предположить, что установленные в результате экспериментов закономерности действительно и для случаев экструдирования кормовых смесей из зерна и иного богатого белком сырья животного происхождения.

Эффективное осуществление процесса экструдирования кормовой смеси из зерна и биомассы насекомых зависит от температуры.

Экструдат удовлетворительного качества может быть получен при температуре от 121 до 135 °С. Но с увеличением температуры неуклонно снижается содержание аминокислот в готовом экструдате. Поэтому необходимо определить рациональный диапазон температуры экструдирования кормовой смеси, при котором процесс протекает удовлетворительно, но еще не происходит значительного снижения содержания аминокислот в экструдате.

В качестве показателя, определяющего рациональный температурный диапазон экструдирования, лучше всего использовать содержание незаменимых аминокислот в готовом экструдате. По нашему мнению, для экструдирования следует использовать такие значения температуры, при которых содержанием незаменимых аминокислот в экструдате не более чем на 30 % ниже, чем в исходной кормовой смеси. Этому требованию соответствует диапазон температуры экструдирования 121-127 °С. Этот диапазон выявлен для кормовой смеси с содержанием личинок до 15 % (по массе). Однако можно предположить, что диапазон 121-127 °С будет рациональным и для экструдирования кормовых смесей с большим содержанием личинок черной львинки. Также можно предположить, что возможно эффективное производство экструдированного корма из смеси личинок насекомых и зерна других зерновых культур, например ячменя или сорго.

Заключение. В результате экспериментальных исследований установлено, что кормовая смесь, состоящая из измельченного зерна пшеницы и биомассы личинок черной львинки (10-15 % по массе), может быть успешно подвергнута экструдированию при температуре 121-135 °С (температура готового экструдата). В данном диапазоне температур был получен экструдат хорошего качества.

Добавление к зерну личинок насекомых на 68-105 % увеличивает содержание протеина, в том числе незаменимых аминокислот, в готовом корме. Экструдированный корм может быть использован для кормления сельскохозяйственных животных, в частности свиней, в целом виде либо как один из компонентов комбикорма. При увеличении массовой доли биомассы личинок насекомых такой корм может быть использован для кормления рыб.

Установлено, что при увеличении температуры экструдирования в диапазоне 115-140 °С содержание аминокислот в готовом экструдате из зерна пшеницы и личинок насекомых снижается. Изменение содержания личинок насекомых в кормовой смеси не оказы-

вает влияния на характер зависимости содержания аминокислот в экструдате от температуры экструдирования и протекание процесса экструдирования.

Установлено, что существуют три температурных диапазона, в которых процесс экструдирования кормовой смеси протекает различно. При температуре 115-121 °С содержание аминокислот в готовом экструдате снижается незначительно, но процесс экструдирования протекает неэффективно, не приводя к получению однородного экструдата. В диапазоне 121-135 °С наблюдается более значительное снижение содержания аминокислот, процесс экструдирования протекает эффективно, приводя к получению однородного экструдата. Диапазон 135-140 °С характеризуется резким снижением содержания аминокислот в экструдате и его подгоранием.

Установлено, что содержание аминокислот в экструдированном корме при увеличении температуры уменьшается с возрастающей скоростью независимо от содержания биомассы насекомых в кормовой смеси. Мгновенная скорость изменения содержания аминокислот в процессе экструдирования не имеет значимой зависимости от содержания биомассы личинок в смеси и определяется лишь температурой процесса.

Полученные данные согласуются с результатами исследований Ottoboni et al. [30], который установил, что в процессе экструдирования смеси пшеницы и высушенных личинок по достижении определенной температуры содержание аминокислот линейно уменьшается. В наших опытах такое явление наблюдалось при экструдировании в диапазоне 121-135 °С.

Определен рациональный диапазон температуры экструдирования кормовой смеси из зерна пшеницы и личинок насекомых – 121-127 °С, обеспечивающий снижение содержания незаменимых аминокислот в экструдате не более чем на 30 % по сравнению с их содержанием в исходном сырье. Полученный при данных параметрах экструдированный корм, включающий 15% биомассы насекомых, содержит 9,6 % аминокислот, в том числе 4,38 % незаменимых, что на 105 и 165% больше, чем в экструдате только из пшеницы.

Предлагаемая технология обработки личинок насекомых и их введения в состав корма является значительно более простой и, следовательно, более дешевой, чем используемая технология разделения биомассы насекомых

на жировую и протеиновую фракции с последующей сушкой последней для получения белковой муки. Благодаря этому производить такой корм могут и малые предприятия, например аквакультурные фермы.

Экструдирование биомассы насекомых в смеси с зерном зерновых культур является перспективным направлением совершенствования производства кормов для рыб и сельскохозяйственных животных.

Список литературы

1. Kim S. W., Less J. F., Wang L., Yan T., Kiron V., Kaushik S. J., Lei X. G. Meeting global feed protein demand: challenge, opportunity, and strategy. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2019;7(1):17.1-17.23. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-030117-014838>
2. Пономарев С., Федоровых Ю., Ширина Ю., Левина О., Куркембаева Б., Порфирьев А., Ушакова Н., Новиков С. Корма для ценных объектов аквакультуры: проблемы и решения. *Комбикорма*. 2019;4:57-58. DOI: <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2019-04-3-062>
3. Ponomarev S., Fedorovych Yu., Shirina Yu., Levina O., Kurkembraeva B., Porfir'ev A., Ushakova N., Novikov S. *Korma dlya tsennykh ob'ektov akvakul'tury: problemy i resheniya*. [Feed for valuable objects of aquaculture: problems and decisions]. *Kombikorma*. 2019;4:57-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2019-04-3-062>
4. Ayadi F. Y., Rosentrater K. A., Muthukumarappan K. Alternative protein sources for aquaculture feeds. *Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition*. 2012;4(1):1-26. DOI: <https://doi.org/10.3923/joafsnu.2012.1.26>
5. Агеев В. Ю., Микаелян А. Р., Кошак Ж. В., Бабаян Б. Г., Дегтярик С. М. Современные тенденции в разработке эффективных комбикормов для рыб. *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук*. 2019;57(3):315-331. DOI: <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-3-323-333>
6. Ageets V. Yu., Mikaelyan A. R., Koshak Zh. V., Babayan B. G., Degtyarik S. M. *Sovremennye tendentsii v razrabotke effektivnykh kombikormov dlya ryb*. [Ways to improve efficiency of compound feed for fish]. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk*. 2019;57(3):315-331. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2019-57-3-323-333>
7. Протеины: новое в технологии производства и возможности использования. *Комбикорма*. 2017;10:59-62. URL: https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/10_17/10_2017_059-062.pdf
8. *Proteiny: novoe v tekhnologii proizvodstva i vozmozhnosti ispol'zovaniya*. [Proteins: new technologies in the production and possibility of use]. *Kombikorma*. 2017;10:59-62. (In Russ.). URL: https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/10_17/10_2017_059-062.pdf
9. Van Huis A. Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2020;6(1):27-44. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2019.0017>
10. Wang Y. S., Shelomi M. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*. 2017;6(10):91. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods6100091>
11. Ушакова Н. А., Бастратов А. И., Карагодин В. П., Павлов Д. С. Особенности биоконверсии органических отходов личинками мухи *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758). *Успехи современной биологии*. 2018;138(2):172-182. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0042132418020060>
12. Ushakova N. A., Bastrakov A. I., Karagodin V. P., Pavlov D. S. *Osobennosti biokonversii organicheskikh otkhodov lichinkami mukhi Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758)*. [Specific features of bioconversion of organic waste by *Hermetia illucens* larvae (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758)]. *Uspekhi sovremennoy biologii*. 2018;138(2):172-182. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0042132418020060>
13. Некрасов Р. В., Чабаяев М. Г., Зеленченкова А. А., Бастратов А. И., Ушакова Н. А. Питательные свойства личинок *Hermetia Illucens* L. – нового кормового продукта для молодняка свиней (*Sus Scrofa Domesticus Erxleben*). *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(2):316-325. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.2.316rus>
14. Nekrasov R. V., Chabaev M. G., Zelenchenkova A. A., Bastrakov A. I., Ushakova N. A. *Pitatel'nye svoystva lichinok Hermetia Illucens L. – novogo kormovogo produkta dlya molodnyaka sviney (Sus Scrofa Domesticus Erxleben)*. [Nutritional properties of *Hermetia illucens* L., a new feed product for young pigs (*Sus scrofa domesticus Erxleben*)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2019;54(2):316-325. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.2.316rus>
15. Ушакова Н. А., Бродский Е. С., Коваленко А. А., Бастратов А. И., Козлова А. А., Павлов Д. С. Особенности липидной фракции личинок чёрной львинки *Hermetia illucens*. *Доклады Академии наук*. 2016;468(4):462-462. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0869565216160258>
16. Ushakova N. A., Brodskiy E. S., Kovalenko A. A., Bastrakov A. I., Kozlova A. A., Pavlov D. S. *Osobennosti lipidnoy fraktsii lichinok chernoy l'vinki Hermetia illucens*. [Features of black soldier fly larvae lipidic fraction]. *Doklady Akademii nauk*. 2016;468(4):462-462. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0869565216160258>
17. Nekrasov R., Zelenchenkova A., Chabaev M., Ivanov G., Antonov A., Pastukhova N. PSIII-37 Dried Black Soldier Fly larvae as a dietary supplement to the diet of growing pigs. *Journal of Animal Science*. 2018;96(S.3):314-314. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/sky404.691>

12. Caligiani A., Marseglia A., Leni G, Baldassarre S., Maistrello L., Dossena A., Sforza S. Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food Research International*. 2018;105:812-820. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.012>
13. Тупольских Т. И., Яковлев Д. А., Рудой Д. В., Сердюк В. А. Биотехнология переработки органических отходов с получением белковых продуктов. *Современная наука и инновации*. 2019;1:148-153. DOI: <https://doi.org/10.33236/2307-910X-2019-25-1-147-152>
- Tupol'skikh T. I., Yakovlev D. A., Rudoy D. V., Serdyuk V. A. *Biotehnologiya pererabotki organicheskikh otkhodov s polucheniem belkovykh produktov*. [Biotechnology of organic wastes recycling with protein production]. *Sovremennaya nauka i innovatsii*. 2019;1:148-153. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33236/2307-910X-2019-25-1-147-152>
14. Makkar H. P. S., Tran G., Heuze V., Ankers P. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*. 2014;197:1-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
15. Schiavone A., Dabbou S., De Marco M., Cullere M., Biasato I., Biasibetti E., Capucchio M. T., Bergagna S., Dezzutto D., Mrnrguz M., Gai F., Dalle Zotte A., Gasco L. Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source. *Animal*. 2018;12(10):2032-2039. DOI: <https://doi.org/10.1017/s1751731117003743>
16. Olsen R. L., Hasan M. R. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. *Trends in Food Science & Technology*. 2012;27(2):120-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.003>
17. Irungu F. G., Mutungi C., Faraj A., Affognon H., Ekese S., Nakimbugwe D., Fiaboe K. K. Optimization of extruder cooking conditions for the manufacture of fish feeds using response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering*. 2018;42(2):e12980. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12980>
18. Irungu F. G., Mutungi C. M., Faraj A. K., Affognon H., Kibet N., Tanga C., Ekese S., Nakimbugwe D., Fiaboe K. K. M. Physico-chemical properties of extruded aquafeed pellets containing black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and adult cricket (*Acheta domesticus*) meals. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2018;4(1):19-30. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0008>
19. Irungu F. G., Mutungi C. M., Faraj A. K., Affognon H., Ekese S., Nakimbugwe D., Fiaboe K. K. M. Proximate composition and in vitro protein digestibility of extruded aquafeeds containing *Acheta domesticus* and *Hermetia illucens* fractions. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2018;4(4):275-284. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0089>
20. Alam M. S., Kaur J., Khaira H., Gupta K. Extrusion and Extruded Products: Changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015;56(3):445-473. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>
21. Glencross B., Hawkins W., Evans D., Rutherford N., McCafferty P., Dods K., Hauler R. A comparison of the effect of diet extrusion or screw-press pelleting on the digestibility of grain protein products when fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 2011.312(1-4):154-161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.025>
22. Яковлев Д. А., Михайлова П. К., Вифлянцева Т. А., Рудой Д. В., Сердюк В. А. Разработка технологии разделения предкуколки мухи черной львинки на фракции. Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: Междунар. научн.-практ. конф. Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2019. С. 118-122.
- Yakovlev D. A., Mikhaylova P. K., Viflyantseva T. A., Rudoy D. V., Serdyuk V. A. *Razrabotka tekhnologii razdeleniya predkukolki mukhi chernoy l'vinki na fraktsii*. [Development of the fraction separation technology for black soldier fly prepupae]. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.* [Current state and development trends of agricultural engineering: *International scientific and practical Conf.*]. Rostov-na-Donu: DGTU-Print, 2019. pp. 118-122.
23. Мартинчик А. Н., Шариков А. Ю. Влияние экструзии на сохранность аминокислот и пищевую ценность белка. Вопросы питания. 2015;84(3):13-21. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2015-00018>
- Martinchik A. N., Sharikov A. Yu. *Vliyanie ekstruzii na sokhrannost' aminokislot i pishchevuyu tsennost' belka*. [Effect of extrusion on the retention of amino acids and the nutritional value of the protein]. *Voprosy pitaniya*. 2015;84(3):13-21. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2015-00018>
24. De Oliveira F. C., Coimbra J. S. dos R., de Oliveira E. B., Zuniga A. D. G., Rojas E. E. G. Food protein-polysaccharide conjugates obtained via the maillard reaction: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2014;56(7):1108-1125. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.755669>
25. Singh S., Gamlath S., Wakeling L. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science & Technology*. 2007;42(8):916-929. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
26. Alam M. R., Scampicchio M., Angeli S., Ferrentino G. Effect of hot melt extrusion on physical and functional properties of insect based extruded products. *Journal of Food Engineering*. 2019;259:44-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.04.021>
27. Яковлев Д. А., Сердюк В. А., Михайлова П. К., Вифлянцева Т. А., Бабаджанян А. С., Тупольских Т. И. Разработка автономного инсектария для воспроизведения мухи черной львинки. Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: Междунар. научн.-практ. конф. Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2019. С. 554-559.
- Yakovlev D. A., Serdyuk V. A., Mikhaylova P. K., Viflyantseva T. A., Babadzhanyan A. S., Tupol'skikh T. I. *Razrabotka avtonomnogo insektariya dlya vosproizvedeniya mukhi chernoy l'vinki*. [Development of autonomous insectary for reproduction of black soldier fly].

tarium for reproduction of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.]. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. [Current state and development trends of agricultural engineering: International scientific and practical Conf.]*. Rostov-na-Donu: DGTU-Print, 2019. pp. 554-559.

28. Liu X., Chen X., Wang H., Yang Q., ur Rehman K., Li W., Cai M., Li Q., Mazza L., Zhang J., Yu Z., Zheng L. Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLOS ONE*. 2017;12(8):e0182601. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>

29. Desiderio C., Iavarone F., Rossetti D. V., Messana I., Castagnola M. Capillary electrophoresis-mass spectrometry for the analysis of amino acids. *Journal of Separation Science*. 2010;33(16):2385-2393. DOI: <https://doi.org/10.1002/jssc.201000171>

30. Ottoboni M., Spranghers T., Pinotti L., Baldi A., De Jaeghere W., Eeckhout M. Inclusion of *Hermetia Illucens* larvae or prepupae in an experimental extruded feed: process optimisation and impact on in vitro digestibility. *Italian Journal of Animal Science*. 2017;17(2):418-427. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051x.2017.1372698>

Сведения об авторах

Пахомов Виктор Иванович, доктор техн. наук, заместитель директора по науке по механизации и электрификации, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>**, e-mail: vniptim@gmail.com

Брагинец Сергей Валерьевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>**, e-mail: sbraginets@mail.ru

✉ **Бахчевников Олег Николаевич**, кандидат техн. наук, научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>**, e-mail: oleg-b@list.ru

Алферов Александр Сергеевич, кандидат техн. наук, научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5210-781X>**, e-mail: alfa-8303@yandex.ru

Рухляда Артем Игоревич, младший научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2597-0818>**, e-mail: Ruhlada1990@yandex.ru

Бабаджаниян Аркадий Спартакович, ассистент кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции АПК», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», пл. Гагарина 1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344010, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6436-0628>**, e-mail: babajanyan.arkady2015@yandex.ru

Information about the authors

Viktor I. Pakhomov, D.Sc. in Engineering, Deputy Director for Science of Mechanization and Electrification, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>**, e-mail: vniptim@gmail.com

Sergey V. Braginets, Ph.D in Engineering, leading researcher, the Department of Plant Product Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>**, e-mail: sbraginets@mail.ru

✉ **Oleg N. Bakhchevnikov**, Ph.D in Engineering, researcher, the Department of Plant Product Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>**, e-mail: oleg-b@list.ru

Aleksander S. Alferov, Ph.D in Engineering, researcher, the Department of Plant Product Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5210-781X>**, e-mail: alfa-8303@yandex.ru

Artem I. Rukhlyada, junior researcher, the Department of Plant Product Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, 347740, Russia, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2597-0818>**, e-mail: Ruhlada1990@yandex.ru

Arkady S. Babajanyan, research assistant, the Department of Technologies and Equipment for Processing of Agro-industrial Complex Production, Don State Technical University, sq. Gagarina, 1, Rostov-on-Don, 344010, Russia, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6436-0628>**, e-mail: babajanyan.arkady2015@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

**ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ /
AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT**

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.43-51>
УДК 632.122.2

**Влияние нефтяного загрязнения и носителей биопрепарата на агрофизические показатели дерново-подзолистых почв**

© 2020. А. В. Леднев ✉, А. В. Ложкин

ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Российская Федерация

В статье представлены результаты влияния различных разрыхлителей-носителей нефтеокисляющего биопрепарата нового поколения на агрофизические показатели дерново-подзолистой почвы, загрязнённой нефтью в сильной степени (до 10 %), и на скорость разложения в ней нефти. Исследования проведены в микрополе в условиях Удмуртской Республики. Установлено, что в течение вегетационного периода 2019 г. все изучаемые носители биопрепарата оказали положительное влияние на эти показатели, однако параметры изменений определялись их видом. Так, внесение в почву опила, ячменной соломы и льняной костры обеспечило повышение коэффициента структурности на 0,83-0,99 ед., или на 35-43 %. Все изучаемые носители биопрепарата статистически достоверно снизили плотность загрязнённой почвы, наибольшее действие на этот показатель оказала костра льняная (на 0,42 г/см³, или на 32 %) и опил (на 0,34 г/см³, или на 26 %). Наиболее значительно увеличило содержание продуктивной влаги в загрязнённой почве внесение вермикулита – на 115 м³/га, или на 50,7 %. Улучшение агрофизических свойств нефтезагрязнённой почвы носителями биопрепарата резко повысило его эффективность по разложению в ней нефти. Наибольшее снижение содержания нефтепродуктов (на 9,9-10,9 мг/кг, или 40,2-44,3%) оказал биопрепарат в сочетании с кострой льняной, лигнином и соломой. Внесение в загрязнённую почву органоминеральных удобрений также значительно улучшило агрофизические свойства нефтезагрязнённых почв и снизило остаточное содержание в ней нефти на 13,0 мг/кг, или 52,8 %.

Ключевые слова: нефть, рекультивация почв, плотность почвы, коэффициент структурности, продуктивная влага

Благодарности: работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-416-180005 р_а.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Леднев А. В., Ложкин А. В. Влияние нефтяного загрязнения и носителей биопрепарата на агрофизические показатели дерново-подзолистых почв. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(1):43-51. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.43-51>

Поступила: 03.02.2020 Принята к публикации: 14.02.2020 Опубликовано онлайн: 28.02.2020

The influence of oil pollution and carriers of biological product on the agrophysical indicators of sod-podzolic soils

© 2020. Andrey V. Lednev ✉, Andrey V. Lozhkin

Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russian Federation

The article presents the results of the influence of various aerating agents, carriers of new generation oil-oxidizing biological product on the agrophysical parameters of sod-podzolic soil highly contaminated with oil (up to 10%), and on the rate of oil decomposition in it. The studies were carried out in a microfield experiment in the conditions of the Udmurt Republic. It was established that during the growing season of 2019 all studied carriers of the biological product had positive effect on these indicators, however, the parameters of the changes were determined by their types. Thus, the application of sawdust, barley straw and flax shive into the soil provided an increase in the structural coefficient by 0.83-0.99 units or 35-43 %. All studied carriers of the biological product statistically significantly reduced the density of the contaminated soil, the greatest effect on this indicator was exerted by flax shive (by 0.42 g/cm³ or 32 %) and sawdust (by 0.34 g/cm³ or by 26 %). The application of vermiculite increased the productive moisture content in the contaminated soil most significantly - by 115 m³/ha or by 50.7 %. The improvement of agrophysical properties of oil-contaminated soil by carriers of the biological product increased drastically the effectiveness of the preparation for oil decomposition. The greatest effect on this indicator (by 9.9-10.9 mg/kg or 40.2-44.3 %) was exerted by the biological product in combination with flax shive, lignin and straw. The application of organomineral fertilizers into the contaminated soil also improved the agrophysical properties of oil-contaminated soils significantly and reduced the residual oil content in it by 13.0 mg/kg or 52.8 %.

Keywords: oil, soil remediation, soil density, structural coefficient, productive moisture

Acknowledgement: the research was supported by the RFBR grant No. 18-416-180005 р_a.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Lednev A. V., Lozhkin A. V. The influence of oil pollution and carriers of biological product on the agrophysical indicators of sod-podzolic soils. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(1):43-51. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.43-51>

Received: 03.02.2020

Accepted for publication: 14.02.2020

Published online: 28.02.2020

Нефтедобывающий комплекс оказывает сильное отрицательное влияние на окружающую среду, в том числе на почвенный покров. Только в 2018 г. по официальной статистике Минэнерго России на предприятиях топливно-энергетического комплекса произошло 13612 порывов трубопроводов, в том числе 8126 нефтепроводов, на поверхность почвы и в водоёмы попало 2269 м³ нефти, загрязнено 7430,8 га земель, общий ущерб от происшедших аварий составил 488,2 млн руб.¹ Сброс чужеродных и, как правило, геохимически активных соединений вызывает трансформацию и последующее разрушение природных систем, вплоть до полной деградации. Необходимость восстановления экологического состояния нарушенных территорий и возвращение земельных участков в хозяйственный оборот требует оперативного устранения последствий нефтяного загрязнения почвенного покрова. Это достигается проведением комплекса работ по их ремедиации, для успешного выполнения которых необходимо иметь объективное представление о процессах, протекающих в загрязнённых нефтью почвах, что придаёт данным исследованиям высокую степень актуальности.

Вопросам оценки действия нефти и нефтепродуктов на свойства почвы, продуктивность растений и разработки приемов восстановления плодородия нефтезагрязнённых почв посвящены многие исследования зарубежных [1, 2, 3, 4, 5] и отечественных [6, 7, 8, 9, 10] ученых. К настоящему времени доказана ведущая роль в разложении нефтепродуктов углеродоокисляющей микрофлоры, разработаны многочисленные биопрепараты, содержащие различные их штаммы. Применение биопрепаратов для разложения нефти достаточно хорошо изученный метод, однако их эффективность определяется не только штаммами микроорганизмов, входящих в их состав, но и применяемым его носителем (разрыхли-

телем почв). Вид носителя-разрыхлителя почв (далее носителя) играет ключевую роль в эффективности биопрепарата, он не только позволяет более равномерно распределять биопрепарат в нефтезагрязнённой почве, но и резко улучшать агрофизические (плотность, пористость и др.) и водно-воздушные (воздухопроницаемость, воздухоёмкость, влагёмкость и др.) свойства. Кроме этого, в состав носителя можно включить различные элементы минерального питания, регуляторы роста, мелиоративные добавки (известняковую муку, гипс и др.), что позволяет оптимизировать пищевой режим нефтеокисляющей микрофлоры в первый, самый сложный период её адаптации к почвенно-климатическим условиям нефтезагрязнённой почвы.

Данные исследования имеют высокую степень новизны, так как в литературе имеются лишь единичные данные по влиянию носителей биопрепарата на его эффективность по разложению нефтепродуктов [11,12]. В качестве носителя в основном изучали отходы деревопереработки (стружку, опил, хвою и др.) и их применяли только с целью разрыхления загрязнённых почв (улучшения их аэрации). Сведений по изучению других видов носителей биопрепаратов и, тем более, их сравнению между собой в одном опыте в литературе не выявлено.

Цель исследований – установить влияние различных носителей нефтеокисляющих биопрепаратов на основные агрофизические свойства почв, загрязнённых нефтью в сильной степени, для разработки технологии их ремедиации.

Материал и методы. Площадь дерново-подзолистых почв в Удмуртской Республике 68 % [13]. Именно они, в первую очередь, подвергаются интенсивному антропогенному воздействию, в том числе загрязнению нефтепродуктами, что определило их в качестве объекта исследований.

¹Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды РФ, 2019. Режим доступа: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2018/

Из большого количества современных сертифицированных нефтеокисляющих биопрепаратов был выбран биопрепарат нового поколения, разработанный Пермским институтом экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН (ИЭГМ). Данный олеофильный биопрепарат представляет собой совокупность ассоциации микроорганизмов-нефтеразрушителей *Rhodococcus erythropolis* ИЭГМ 708 и *Rhodococcus ruber* ИЭГМ 327 (50,0-80,0 мас. %), биосурфактанта – *Rhodococcus* (5,0-30,0 мас. %) и минеральных солей азота, фосфора и калия (остальное). Основные преимущества данного олеофильного биопрепарата: высокая степень солюбилизации с нефтяными углеводородами, в результате которой бактерии-нефтедеструкторы вступают в непосредственный контакт с загрязнителем; повышение биодоступности нефтяных углеводородов в результате их десорбции с почвенными частицами под действием биосурфактанта; заключенный в олеофильном матриксе комплекс питательных

соединений; высокая биодegradабельность; отсутствие токсического воздействия на микрофлору почвы. Биопрепарат характеризуется высокой жизнеспособностью входящих в его состав микроорганизмов, удобен в хранении и при транспортировке [14].

Влияние разных носителей нефтеокисляющего биопрепарата изучали в мелкоделяночном полевом опыте в течение вегетационного периода 2019 г.

Микрополевой опыт заложен в мае 2019 г. на опытном поле Удмуртского НИИСХ в Завьяловском районе Удмуртской Республики. Опытный участок расположен на средней части слабопокатого юго-западного склона увала. Угодье – пашня, почва – агродерново-среднеподзолистая слабосмытая среднесуглинистая на покровных глинах и тяжёлых суглинках. Агрохимические показатели почвы до закладки опыта приведены в таблице 1. Они типичны для среднеокультуренных дерново-подзолистых почв.

Таблица 1 – Химические и физико-химические свойства почвы до закладки опыта / Table 1 – Chemical and physico-chemical properties of soil before trial establishment

Органическое вещество, % / Organic matter, %	pH _{KCl}	Физико-химические показатели, ммоль/100г / Physicochemical indicators, mmol/100g		Химические показатели, мг/кг / Chemical indicators, mg/kg			
		H ₂	S	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NH ₄	N-NO ₃
1,8	5,3	2,31	15,5	170	80	16	10

Схема полевого опыта включала 10 вариантов: абсолютный контроль (без нефти) и 9 вариантов загрязнённых товарной нефтью до 10 вес. % от массы абс. сухой почвы. В 6 вариантах изучались различные виды носителей биопрепарата: опил, низинный торф, ячменная солома, вермикулит, костра льняная и лигнин. Количество внесённых носителей соответствовало 1/8 части от общего объёма загрязнённого пахотного горизонта.

Биопрепарат был внесён два раза: первый – в составе носителя (20 июня), второй – с помощью опрыскивателя на поверхность почвы (23 июля). В варианте без носителя биопрепарат вносили в эти же сроки. Он был разлит с помощью опрыскивателя на поверхность почвы. В каждом варианте было внесено по 3 литра биопрепарата.

Почва в опыте три раза перекапывалась на глубину 0-20 см (один раз для перемешива-

ния нефти с почвой и два раза для перемешивания биопрепарата). В качестве контрольных вариантов сравнения взята нефтезагрязнённая почва без биопрепарата (контроль 1), нефтезагрязнённая почва с биопрепаратом, но без носителя (контроль 2) и нефтезагрязнённая почва, где в качестве способа ремедиации выбрана органоминеральная система удобрения, которая проявила наиболее высокую эффективность при более низких уровнях загрязнения почвы нефтью (контроль 3) [10].

Размер делянок 1,0×1,0 м. Делянки между собой отделены двойной полиэтиленовой плёнкой на глубину 30 см. Опыт заложен в 4-кратной повторности. Размещение делянок систематическое со смещением, в 2 яруса.

Почвенные образцы отобраны 21 июля и 21 сентября 2019 года и проанализированы в биохимической лаборатории Удмуртского НИИСХ гостигрованными методиками,

содержание нефтепродуктов определено по ПНД Ф 16.1:2.2.22-98², плотность почвы – буровым методом, структура почвы – методом сухого просеивания³. Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа⁴.

Результаты и их обсуждение. Как уже говорилось, одной из главных функций носителей биопрепаратов является улучшение агрофизических свойств загрязнённых почв. В числе агрофизических свойств особо важное значение имеет структура почвы, то есть её способность агрегатироваться и распадаться на относительно устойчивые отдельности.

Структура во многом определяет водно-воздушный и тепловой режимы почв.

Одним из показателей структурного состояния почв является коэффициент структурности, который определяется отношением массы агрегатов 10,0...0,25 мм к сумме агрегатов > 10 мм и < 0,25 мм. В условиях полевого опыта доза нефтяного загрязнения 10% оказала небольшое оструктурирующее действие, склеивая частицы пылеватой фракции между собой, что привело к повышению коэффициента структурности (K_c) на 0,05 ед. Однако это отмеченное изменение происходило только на уровне положительной тенденции (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние биопрепарата и его носителей на изменение структурного состояния нефтезагрязнённой почвы (21.07.2019) /

Table 2 – The effect of the biological product and its carriers on change in the structural state of oil-contaminated soil (21.07.2019)

Вариант / Variant	Размер агрегатов (мм) и их содержание (% от массы воздушно-сухой почвы) / Unit size (mm) and their contents (% of weight of air-dry soil)										K_c / structural coefficient
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25<	0,25-10	
Без нефти (абс. контроль) / Oil free (absolute control)	22,0	7,0	8,5	16,1	10,5	17,1	3,1	7,1	8,6	69,4	2,27
Нефть 10% (контроль 1) / Oil 10% (control 1)	22,2	6,8	8,6	16,6	10,5	17,0	3,2	7,2	7,9	69,9	2,32
Нефть + биопрепарат (фон) (контроль 2) / Oil + biopreparation (background) (control 2)	21,9	7,2	9,4	17	10,5	17,7	3	7,8	5,5	72,6	2,65
Фон + опил / Background + sawdust	18,4	8	9,7	19,7	12,2	17	3	6,8	5,2	76,4	3,24
Фон + торф / Background + peat	22,6	8,6	9,1	17,6	10,3	17,8	3,3	6,8	3,9	73,5	2,77
Фон + солома / Background + straw	19,3	8,4	9,7	18,5	11,5	18,4	3,6	6,7	3,9	76,8	3,31
Фон + вермикулит / Background + vermiculite	25,1	7,5	9,6	16,1	9,8	18,5	2,7	6,3	4,4	70,5	2,39
Фон + костра / Background + flax shive	18,0	7,6	10,8	19,2	9,8	15,9	4,1	8,5	6,1	75,9	3,15
Фон + лигнин / Background + lignin	22,8	7,9	8,3	15,9	10,6	19	3	7,3	5,2	72,0	2,57
Нефть + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + навоз 30 т/га (контроль 3) / Oil + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + manure 30 tons/hectare (control 3)	19,9	7,9	9,4	17,8	12,3	17,2	2,5	5,3	7,7	72,4	2,62
HCP ₀₅ / LSD ₀₅											0,82

²ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органометных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. Утв. 10.11.1998 Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. 18 с. Режим доступа: https://standartgost.ru/g/%D0%9F%D0%9D%D0%94_%D0%A4_16.1:2.2.22-98

³Вадюнина Л.Н. Корчагина Л.Н. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат; 1986. 416 с.

⁴Доспехов В.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

По литературным данным [7, 15, 16] и результатам предыдущих исследований [10], нефтяное загрязнение оказывает неоднозначное действие на этот показатель. С одной стороны, оно способствует повышению агрегатированности, вызывая слипание почвенных частиц и агрегатов мелких фракций между собой. За счет этого уменьшается на 10...50 % содержание фракции < 0,25 мм [7, 10]. С другой стороны, при высоких уровнях загрязнения нефтью наблюдается слипание более крупных агрегатов между собой, что вызывает значительное увеличение глыбистой фракции [15]. Этим объясняется, что в одних случаях после нефтяного загрязнения наблюдается уменьшение коэффициента структурности в почве [7, 15], а в других случаях – его увеличение [10, 16].

По данным микрополевого опыта, внесение биопрепарата обусловило повышение этого коэффициента по сравнению с контролем 1 – на 0,38 ед., но оно также наблюдалось только на уровне положительной тенденции.

Использование носителей биопрепарата, в большинстве случаев, способствовало зна-

чительному улучшению структуры почвы. Статистически достоверное повышение K_c обеспечило внесение в почву опила, соломы и льняной костры (повышение на 0,83-0,99 ед., или на 35-43 %).

Другим важнейшим агрофизическим показателем почв, определяющим её водно-воздушные свойства, является плотность почвы. Проведёнными исследованиями установлено, что нефтяное загрязнение и внесение одного биопрепарата (без носителей) обусловило уменьшение этого показателя соответственно на 0,03 и 0,07 г/см³, однако оно статистически не доказывалось и проявлялось только на уровне тенденции (табл. 3). Это связано с тем, что, во-первых, нефть способствует некоторому улучшению структуры почвы, во-вторых, она сама имеет низкую плотность – 0,830-0,926 г/см³. Внесение всех изучаемых носителей биопрепарата резко и статистически достоверно снизило плотность загрязнённой почвы, наиболее действие на этот показатель оказала костра льняная (на 0,42 г/см³, или на 32 %) и опил (на 0,34 г/см³, или на 26 %).

Таблица 3 – Влияние биопрепарата и его носителей на изменение плотности и влажности нефтезагрязнённой почвы (21.07.2019) /

Table 3 – The effect of the biological product and its carriers on the change in the density and moisture of oil-contaminated soil (21.07.2019)

Вариант / Variant	Плотность почвы, г/см ³ / Soil density, g/cm ³		Полевая влажность, % / Soil moisture, %		Продуктивная влага, м ³ /га / Productive moisture, m ³ /ha	
	значение / value	отклонение, ± / deviation, ±	значение / value	отклонение, ± / deviation, ±	значение / value	отклонение, ± / deviation, ±
Без нефти (абс. контроль) / Oil free (absolute control)	1,30	-	10,85	-	227	-
Нефть 10 % (контроль 1) / Oil 10% (control 1)	1,27	-0,03	9,08	-1,78	178	-49
Нефть + биопрепарат (фон) (контроль 2) / Oil + biopreparation (background) (control 2)	1,23	-0,07	9,23	-1,63	179	-48
Фон + опил / Background + sawdust	0,95	-0,34	17,95	7,10	296	69
Фон + торф / Background + peat	1,05	-0,25	18,35	7,50	287	60
Фон + солома / Background + straw	1,11	-0,19	13,08	2,23	243	16
Фон + вермикулит / Background + vermiculite	1,08	-0,22	18,50	7,65	342	115
Фон + костра / Background + flax shive	0,88	-0,42	17,23	6,38	267	40
Фон + лигнин / Background + lignin	1,14	-0,15	14,88	4,03	228	1
Нефть+N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ +навоз 30 т/га (контроль 3) / Oil + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + manure 30 tons/hectare (control 3)	1,01	-0,29	16,28	5,43	278	51
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	0,08	-	4,63	-	-

Нефтяное загрязнение способствовало снижению полевой влажности на 1,78 % и, как следствие, запасов продуктивной влаги на 49 м³/га. Это связано с двумя причинами. Во-первых, нефть резко увеличивает водопропрочность агрегатов, коэффициент водопропрочности достигает 0,7-1,0 [7, 10, 15]. Появление этого свойства обусловлено гидрофобностью агрегатов загрязненных почв и поэтому не является положительным изменением, образуется так называемая «псевдowodopропрочность». В результате её появления воде очень сложно проникнуть в почвенные агрегаты, и поэтому она не впитывается в почву, а стекает по её поверхности или просачивается в нижние горизонты по крупным порам. Второй причиной снижения влагоёмкости почвы является закупорка нефтепродуктами макро- и микропор в почвенной толще, в результате чего общая порозность загрязнённой почвы снижается на 24-28 и более процентов [10, 15].

Внесением в загрязнённую почву носителей биопрепарата удалось не только достичь по запасам продуктивной влаги показателя абсолютного контроля (варианта с незагрязнённой почвой), но и значительно его превысить. Наибольшее действие на продуктивную влагу оказало внесение в почву вермикулита (увеличение на 115 м³/га, или на 50,7 %).

Таблица 4 – Влияние биопрепарата и его носителей на содержание нефтепродуктов в нефтезагрязнённой почве, г/кг /

Table 4 – Effect of the biological product and its carriers on the content of oil products in oil-contaminated soil, g/kg

Вариант / Variant	21.07.2019 г.			21.09.2019 г.		
	значение / value	отклонение, ± / deviation, ±		значение / value	отклонение, ± / deviation, ±	
		г/кг / g/kg	%		г/кг / g/kg	%
Без нефти (абс. контроль) / Oil free (absolute control)	0,1	-	-	0,1	-	-
Нефть 10 % (контроль 1) / Oil 10% (control 1)	77,7	-	-	24,6	-	-
Нефть + биопрепарат (фон) (контроль 2) / Oil + biopreparation (background) (control 2)	71,6	-6,1	-7,9	19,1	-5,5	-22,4
Фон + опил / Background + sawdust	62,9	-14,8	-19,0	18,4	-6,2	-25,2
Фон + торф / Background + peat	66,2	-11,5	-14,8	20,7	-3,9	-15,9
Фон + солома / Background + straw	62,3	-15,4	-19,8	14,7	-9,9	-40,2
Фон + вермикулит / Background + vermiculite	49,7	-28,0	-36,0	16,6	-8,0	-32,5
Фон + костра / Background + flax shive	32,7	-45,0	-57,9	14,0	-10,6	-43,1
Фон + лигнин / Background + lignin	63,4	-14,3	-18,4	13,7	-10,9	-44,3
Нефть + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + навоз 30т/га (контроль 3) / Oil + N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + manure 30 tons / hectare (control 3)	52,6	-25,1	-32,3	11,6	-13,0	-52,8
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	6,0	7,7	-	5,2	21,1

Необходимо отметить положительное действие на агрофизические показатели нефтезагрязнённой почвы внесения органоминеральных удобрений, они снизили плотность почвы на 0,29 г/см³, или на 22,3 % и увеличили запасы продуктивной влаги на 51 м³/га, или на 22,4 %.

Наибольшее внимание в данном опыте было обращено на действие биопрепарата и его носителей на снижение содержания в загрязнённой почве нефтепродуктов, так как именно по этому показателю определяют эффективность ремедиации почв, загрязнённых нефтью. Необходимо отметить, что даже без внесения биопрепарата в контрольном варианте за два месяца (с 21.07.2020 по 21.09.2020) произошло снижение содержания нефтепродуктов на 53,1 мг/кг, или на 68,3 %, что свидетельствует о достаточно высокой способности дерново-подзолистых почв южной тайги к процессу самовосстановления (табл. 4). Внесением одного биопрепарата удалось снизить содержание нефти на 5,5-6,1 мг/кг, или на 7,9-22,4 %. При совместном внесении биопрепарата с носителями-разрыхлителями его эффективность значительно возросла. Наиболее значительно снизило содержание нефти в почве внесение биопрепарата с кострой льняной, лигнином и ячменной соломой – на 9,9-10,9 мг/кг, или 40,2-44,3 %.

Очень высокую эффективность обеспечило внесение в загрязнённую почву органоминеральных удобрений, они обусловили дополнительное снижение остаточного содержания в ней нефти по сравнению с контролем на 13,0 мг/кг, или 52,8 %.

Выводы. 1. Использование носителей биопрепарата, в большинстве случаев, способствовало значительному улучшению структуры нефтезагрязнённой почвы. Статистически достоверное повышение коэффициента структурности обеспечило внесение в почву опила, соломы и льняной костры (повышение на 0,83-0,99 ед., или на 35-43 %).

2. Внесение всех изучаемых носителей биопрепарата резко и статистически достоверно снизило плотность загрязнённой почвы, наибольшее действие на этот показатель оказала костра льняная (на 0,42 г/см³, или на 32 %) и опил (на 0,34 г/см³, или на 26 %).

3. Установлено, что все изучаемые носители значительно увеличили влагоёмкость загрязнённой почвы. Самое большее действие на содержание продуктивной влаги оказало внесение в почву вермикулита (увеличение на 115 м³/га, или на 50,7 %).

4. Относительно низкое содержание нефти в загрязнённой почве наблюдалось при совместном внесении биопрепарата с носителями-разрыхлителями. Значительно снизило этот показатель внесение биопрепарата с кострой льняной, лигнином и ячменной соломой – на 9,9-10,9 мг/кг, или 40,2-44,3 %.

5. Внесение в загрязнённую почву органоминеральных удобрений обусловило статистически достоверное улучшение агрофизических свойств нефтезагрязнённых почв и снижение остаточного содержания в ней нефти по сравнению с контролем на 13,0 мг/кг, или 52,8 %.

Список литературы

1. Bramley-Alves J., Wasley J., King C. K. Phytoremediation of hydrocarbon contaminants in subantarctic soils: an effective management option *Environ. Manage.* 2014;142:60-69. URL: https://www.researchgate.net/publication/262419225_Phytoremediation_of_hydrocarbon_contaminants_in_subantarctic_soils_An_effective_management_option
2. Nwankwegu A. S., Anaukwu C. G., Onwosi C. O., Azi F., Azumini P. Use of rice husk as bulking agent in bioremediation of automobile gas oil impinged agricultural soil. *Soil and Sediment Contamination.* 2017; 26(1):96-114. DOI: <https://doi.org/10.1080/15320383.2017.1245711>
3. Polyak Y. M., Bakina L. G., Chugunova M. V. Effect of remediation strategies on biological activity of oilcontaminated soil – A field study. *Int. Biodet. Biodeg.* 2018;126:57-68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.10.004>
4. Rusin M., Gospodarek J., Nadgorska-Socha A. The effect of petroleum-derived substances on the growth and chemical composition of Vicia Faba L. *Polish journal of environmental studies.* 2015;24(5):2157-2166. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/41378>
5. Ebadi A., Khoshkholgh Sima N. A., Hashemi M., Olamaee M., Ghorbani Nasrabadi R. Remediation of saline soil contaminated with crude oil using the Halophyte *Salicornia Persica* in conjunction with hydrocarbon-degrading bacteria. *Journal of environmental management.* 2018;219:260-268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.115>
6. Солнцева Н. П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 376 с.
7. Гилязов М. Ю., Гайсин И. А. Агроэкологическая характеристика и приемы рекультивации нефтезагрязнённых черноземов Республики Татарстан. Казань: Фэн, 2003. 228 с.
8. Вершинин А. А., Петров А. М., Акайкин Д. В., Игнатъев Ю. А. Оценка биологической активности дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава в условиях нефтяного загрязнения. *Почвоведение.* 2014; (2): 250-256. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21092644>
9. Пиковский Ю. И., Коротков Л. А., Смирнова М. А., Ковач Р. Г. Лабораторно-аналитические методы при определении углеводородного состояния почв. *Почвоведение.* 2017;(10):1165-1178. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032180X17100070>.
10. Леднёв А. В. Изменение свойств почв европейской части Нечерноземной зоны РФ под действием продуктов нефтедобычи и приемы их ремедиации. Ижевск: Цифра, 2018. 229 с.
11. Куюкина М. С., Ившина И. Б., Серебренникова М. К. Оптимизация процесса иммобилизации клеток алканотрофных родококков на хвойных опилках в условиях колоночного биореактора. *Вестник Пермского университета. Серия «Биология».* 2010;(1):69-72. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17024553>
12. Куюкина М. С., Ившина И. Б., Осипенко М. А., Няшин Ю. И., Тюленёва А. Н., Серебренникова М. К., Криворучко А. В. Кинетическая модель процесса иммобилизации бактериальных клеток на твер-

дом носителя. Российский журнал биомеханики. 2007;11(2):79-87. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11732564>

13. Ковриго В. П. Почвы Удмуртской Республики. Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2004. 490 с.

14. Куюкина М. С., Ившина И. Б. Олеофильный биопрепарат, используемый для очистки нефтезагрязнённой почвы: пат. № 2180276 Российская Федерация. № 2001104629/13: заяв. 19.02.2001; опубл. 10.03.2002. 10 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37880767>

15. Сулейманов Р. Р., Габбасова И. М., Ситдииков Р. Н. Изменение свойств нефтезагрязнённой серой лесной почвы в процессе биологической рекультивации. Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2005;(1):109-115.

16. Габбасова И. М., Хазиев Ф. Х., Сулейманов Р. Р. Оценка состояния почв с давними сроками загрязнения сырой нефтью после биологической рекультивации. Почвоведение. 2002;(10):1259-1273.

References

1. Bramley-Alves J., Wasley J., King C. K. Phytoremediation of hydrocarbon contaminants in subantarctic soils: an effective management option *Environ. Manage.* 2014;142:60-69. URL: https://www.researchgate.net/publication/262419225_Phytoremediation_of_hydrocarbon_contaminants_in_subantarctic_soils_An_effective_management_option

2. Nwankwegu A. S., Anaukwu C. G., Onwosi C. O., Azi F., Azumini P. Use of rice husk as bulking agent in bioremediation of automobile gas oil impinged agricultural soil. *Soil and Sediment Contamination.* 2017; 26(1):96-114. DOI: <https://doi.org/10.1080/15320383.2017.1245711>

3. Polyak Y. M., Bakina L. G., Chugunova M. V. Effect of remediation strategies on biological activity of oilcontaminated soil – A field study. *Int. Biodet. Biodeg.* 2018;126:57-68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.10.004>

4. Rusin M., Gospodarek J., Nadgorska-Socha A. The effect of petroleum-derived substances on the growth and chemical composition of *Vicia Faba L.* *Polish journal of environmental studies.* 2015;24(5):2157-2166. DOI: <https://doi.org/10.15244/pjoes/41378>

5. Ebadi A., Khoshkholgh Sima N. A., Hashemi M., Olamaee M., Ghorbani Nasrabadi R. Remediation of saline soil contaminated with crude oil using the Halophyte *Salicornia Persica* in conjunction with hydrocarbon-degrading bacteria. *Journal of environmental management.* 2018;219:260-268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.115>

6. Solntseva N. P. *Dobycha nefi i geokhimiya prirodnykh landshaftov.* [Oil production and geochemistry of natural landscapes]. Moscow: *Izd-vo MGU*, 1998. 376 p.

7. Gilyazov M. Yu., Gaysin I. A. *Agroekologicheskaya kharakteristika i priemy rekul'tivatsii neftezagryaznennykh chernozemov Respubliki Tatarstan.* [Agroecological characteristics and methods of reclamation of oil-contaminated chernozems of the Republic of Tatarstan]. Kazan': *Fen*, 2003. 228 p.

8. Vershinin A. A., Petrov A. M., Akaykin D. V., Ignat'ev Yu. A. *Otsenka biologicheskoy aktivnosti dernovo-podzolistykh pochv raznogo granulometricheskogo sostava v usloviyakh nefyanogo zagryazneniya.* [Assessment of the biological activity of sod-podzolic soils of different particle size distribution under oil pollution]. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science.* 2014; (2): 250-256. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21092644>

9. Pikovskiy Yu. I., Korotkov L. A., Smirnova M. A., Kovach R. G. *Laboratno-analiticheskie metody pri opredelenii uglevodorodnogo sostoyaniya pochv.* [Laboratory and analytical methods for determining the hydrocarbon state of soils]. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science.* 2017;(10):1165-1178. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0032180X17100070>, URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30060591>

10. Lednev A. V. *Izmenenie svoystv pochv evropeyskoy chasti Necher-nozemnoy zony RF pod deystviem produktov neftedobychi i priemy ikh remediatsii.* [Change in soil properties in the European part of the Non-Black Earth Zone of the Russian Federation under the influence of oil production products and methods of their remediation]. *Izhevsk: Tsifra*, 2018. 229 p.

11. Kuyukina M. S., Ivshina I. B., Serebrennikova M. K. *Optimizatsiya protsessa immobilizatsii kletok alkanotrofnyykh rodokokkov na khvoynyykh opil'kakh v usloviyakh kolonochnogo bioreaktora.* [Optimization of the immobilization process for alkanotrophic rhodococci on sawdustcarrier in the column bioreactor]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya = Bulletin of Perm University. Biology.* 2010;(1):69-72. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17024553>

12. Kuyukina M. S., Ivshina I. B., Osipenko M. A., Nyashin Yu. I., Tyu-leneva A. N., Serebrennikova M. K., Krivoruchko A. V. *Kineticheskaya model' protsessa immobilizatsii bakterial'nykh kletok na tverdom nositele.* [A kinetic model of bacterial cell immobilization process on the solid carrier]. *Rossiyskiy zhurnal biomekhaniki = Russian Journal of Biomechanics.* 2007;11(2):79-87. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11732564>

13. Kovriго V. P. *Pochvy Udmurtskoy Respubliki.* [Soils of the Udmurt Republic]. *Izhevsk: RIO Izhevskaya GSKhA*, 2004. 490 p.

14. Kuyukina M. S., Ivshina I. B. Oleophilic biological preparation useful for cleaning oil-polluted soil: patent RF no. 2180276, 2002. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37880767>

15. Suleymanov R. R., Gabbasova I. M., Sitdikov R. N. *Izmenenie svoystv neftezagryaznennoy seroy lesnoy pochvy v protsesse biologicheskoy rekul'tivatsii*. [Change in the properties of oil-contaminated sulfur forest soil in the process of biological reclamation]. *Izvestiya rossiyской akademii nauk. Seriya biologicheskaya*. 2005;(1):109-115 (In Russ.).

16. Gabbasova I. M., Khaziev F. Kh., Suleymanov R. R. *Otsenka sostoyaniya pochv s davnimi srokami zagryazneniya syroy nef'tyu posle biologicheskoy rekul'tivatsii*. [Assessment of the condition of soils with long periods of contamination with crude oil after biological reclamation]. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2002;(10):1259-1273. (In Russ.).

Сведения об авторах

✉ **Леднев Андрей Викторович**, доктор с.-х. наук, руководитель Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина 1, с. Первомайский, Завьяловского района, Российская Федерация, 427007, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-768x>**, e-mail: av-lednev@yandex.ru

Ложкин Андрей Владимирович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник управления НИР Удмуртского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ФГБУН «Удмуртский Федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина 1, с. Первомайский, Завьяловского района, Российская Федерация, 427007, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9654-7462>**, e-mail: lozhkin127@gmail.com

Information about the authors

✉ **Andrey V. Lednev**, DSc in Agricultural Science, head of the Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture - Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», st. Lenin 1, v. Pervomaisky, Zavyalovsky district, Russian Federation, 427007, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8602-768x>**, e-mail: av-lednev@yandex.ru

Andrey V. Lozhkin, PhD in Agricultural Science, senior researcher of the Research Department, Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture - Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», st. Lenin 1, v. Pervomaisky, Zavyalovsky district, Russian Federation, 427007, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9654-7462>**, e-mail: lozhkin127@gmail.com

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.52-61>

УДК 631.171+635.25



Теоретические исследования технологического процесса работы пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна

© 2020. А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв ✉, А. Г. Аксенов

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

В статье представлена конструкция пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна, обеспечивающего снижение повреждений товарной продукции корнеплодов и луковиц при максимальной полноте сепарации. Приведены результаты теоретических исследований пруткового элеватора по обоснованию конструктивных и технологических параметров при его взаимодействии с ворохом лука-севка. Обоснована и разработана конструктивно-технологическая схема сепарирующего пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна, обеспечивающего повышение качественных показателей уборки лука-севка. Установлено, что с увеличением угла продольного наклона полотна относительная скорость движения вороха лука-севка уменьшается. При отсутствии воздушного потока относительная скорость движения вороха лука-севка при изменении угла наклона полотна пруткового элеватора в продольном направлении в рассматриваемом диапазоне изменяется от 0,34 до 0,47 м/с. Изменение угла продольного наклона пруткового элеватора на 5° значительно изменяет относительную среднюю скорость движения вороха лука-севка. Разработана математическая модель движения вороха лука-севка по поверхности пруткового элеватора при изменении направления его колебаний в горизонтальной плоскости.

Ключевые слова: перемещение вороха, математическая модель, скорость движения луковиц

Благодарности: работа выполнена по гранту Президента РФ для государственной поддержки молодых ученых – кандидатов наук МК – 4002.2018.8.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г. Теоретические исследования технологического процесса работы пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(1):52-61. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.52-61>

Поступила: 03.12.2019

Принята к публикации: 11.02.2020

Опубликована онлайн: 28.02.2020

Theoretical studies of the technological process of a rod elevator with an adjustable inclination angle of the apron

© 2020. Aleksey S. Dorokhov, Aleksey V. Sibiriev ✉, Aleksandr G. Aksenov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The article presents the design of a rod elevator with an adjustable inclination angle of the apron, which reduces damage to marketable products of root crops and bulbs with maximum separation. The results of theoretical studies of a rod elevator on substantiation of the structural and technological parameters during its interaction with a heap of onion sets are presented. The constructive-technological scheme of the separating rod elevator with an adjustable inclination angle of the apron which improves the quality indicators of harvesting onion sets is substantiated and developed. It has been established that with increasing angle of the longitudinal inclination of the apron, the relative speed of movement of the heap of onion sets decreases. In the absence of air flow, the relative velocity of the onion set heap with a longitudinal change in the inclination of the rod elevator apron in the considered range varies from 0.34 to 0.47 m / s. Changing the angle of the longitudinal inclination of the rod elevator by 5° significantly changes the relative average speed of movement of the heap of onion sets. A mathematical model of the movement of a heap of onion sets along the surface of the rod elevator with a change in the direction of its oscillations in the horizontal plane is developed.

Keywords: heap movement, mathematical model, bulb speed

Acknowledgement: The study was conducted within the RF President grant for state support of young Russian scientists – PhD МК – 4002.2018.8.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Dorokhov A. S., Sibiriev A. V., Aksenov A. G. Theoretical studies of the technological process of a rod elevator with an adjustable inclination angle of the apron. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(1):52-61. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.52-61>

Received: 03.12.2019

Accepted for publication: 11.02.2020

Published online: 28.02.2020

Наиболее энергоемкой отраслью сельского хозяйства остается растениеводство, на которое приходится 70 % всех затрат, в том числе более 40 % на операции, связанные с уборкой урожая.

Важнейшей проблемой при реализации любой технологии является уменьшение затрат труда, энергии и ресурсосбережение с одновременным повышением урожайности возделываемых культур и, как следствие, снижение себестоимости продукции. Несмотря на значительное количество научных изысканий, посвященных проблеме энерго-, ресурсосбережения при возделывании и уборке сельскохозяйственных культур и разработке средств механизации, обеспечивающих качественное выполнение технологических операций, остаются вопросы, которые до настоящего времени решены не полностью. Не все результаты известных теоретических и экспериментальных исследований могут быть непосредственно применены для интенсификации процесса уборки корнеплодов и лука, так как в зависимости от типа и технологических параметров сепарирующих рабочих органов зависят качественные показатели товарной продукции. Специфической особенностью уборки лука является потребность в таком агротехническом приеме, как дозаривание и просушивание луковиц после извлечения их из почвы. С учетом вышеизложенного различают два способа уборки лука: однофазный и двухфазный.

На этапе второй фазы уборки лука используются машины, технологический процесс работы которых повторяет этап первой фазы уборки. Таким образом, возникает противоречивая ситуация, обусловленная постоянством режимно-технологических параметров уборочной машины на всех этапах уборки лука, что является неприемлемым для работ второй фазы уборки и приводит к повреждению луковиц [1]. Данное обстоятельство обусловлено тем, что уменьшение заглубления лемеха в почве на этапе подбора луковиц из валков приводит к снижению подъема совместно с луковицами соизмеримых с ними почвенных комков, что обеспечивает более качественный процесс сепарации лука. С другой стороны, за счет снижения поступления количества почвы на под-

капывающие и сепарирующие органы возникают повреждения луковиц в результате уменьшения почвенной прослойки между рабочей поверхностью элеватора и очищаемой продукцией, кроме того, прутковые элеваторы не всегда обеспечивают качественное отделение почвенных примесей [2, 3, 4].

С целью повышения качества сепарации вороха лука в конструкции прутковых элеваторов применяют различные типы пассивных или активных встряхивателей. Кинематический режим колебания рабочей ветви пруткового элеватора принимается таким, что луковицы (или клубни картофеля) подбрасываются на полотно элеватора и, падая на прутки, повреждаются за счет вертикальной составляющей силы тяжести [5, 6, 7]. Для снижения разрушающих воздействий сепарирующих рабочих органов машин на луковицы необходима конструкция сепарирующего устройства, интенсифицирующего процесс очистки и снижающего до минимума воздействие вертикальной составляющей силы тяжести [8, 9, 10].

Известно, что сепарирующая способность пруткового элеватора зависит от угла наклона α и скорости $v_{ЭЛ}$ движения элеватора (рис. 1). Коэффициент сепарации ϵ при любом угле наклона α возрастает с увеличением скорости $v_{ЭЛ}$ движения пруткового элеватора до некоторого максимального значения, после которого она начинает уменьшаться. Оптимальной скоростью $v_{ЭЛ}$ движения пруткового элеватора является интервал 2,0-2,5 м/с. Кроме того, для исключения сгруживания вороха лука на поверхности пруткового элеватора необходимо соблюдение условия [4, 11]:

$$v_{ЭЛ} = v_{Me} = v_K \cdot A, \quad (1)$$

где v_K – поступательная скорость движения уборочной машины, м/с; A – коэффициент ($A = 1,3$).

Таким образом, решение проблемы повышения качества уборки лука видится, с одной стороны, в экстенсивном развитии и совершенствовании технических средств, способствующих повышению качественных показателей выполнения технологического процесса уборки лука, что приводит к повышению их материалоемкости за счет механического наращивания массы сепарирующих

устройств [12]. С другой стороны – в повышении уровня интеллектуальности, быстродействия и отзывчивости функционирующих

элементов уборочной машины на изменяющиеся условия внешней среды с регулированием их технологических и режимных параметров.

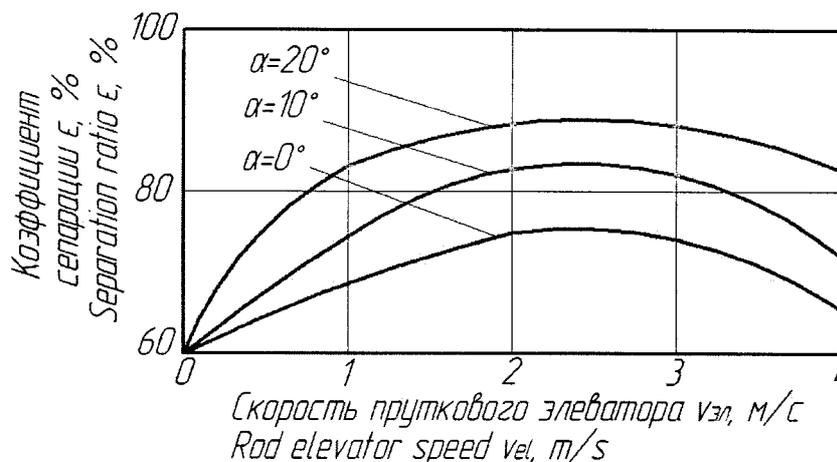


Рис. 1. График зависимости коэффициента сепарации ϵ пруткового элеватора от угла α наклона пруткового элеватора и поступательной $v_{эл}$ скорости движения /

Fig. 1. Graph of dependence of the separation coefficient ϵ of the rod elevator on the angle α of the inclination of the rod elevator and translational speed v_{EL}

Цель исследования – теоретически обосновать технологический процесс работы сепарирующего пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна в зависимости от изменяющихся почвенно-климатических условий уборки лука.

Материал и методы. Сепарирующий прутковый элеватор с асимметрично установленными эллиптическими встряхивателями и регулируемым углом наклона (патент РФ № 2679734) обеспечивает уменьшение повреждений и повышение качества сепарируемой продукции в результате снижения до минимума воздействия вертикальной составляющей силы тяжести луковиц, а также повышение равномерности распределения вороха луковиц по сепарирующей поверхности при изменении угла α наклона пруткового элеватора в результате изменения почвенно-климатических условий уборки лука [13].

Сепарирующий транспортер машины для уборки лука содержит установленный на раме 1 прутковый элеватор 2, под сторонами 3 и 4 которого установлены ведущий 5, поддерживающий 6 и ведомый 7 ролики, смонтированные на раме 1.

Под противоположными сторонами 3 и 4 пруткового элеватора 2 установлены встряхиватели 8 со смещением осей вращения в горизонтальной плоскости по длине на величину S и несовпадением фаз подъема и опускания

противоположных сторон 3 и 4 пруткового элеватора 2.

Для регулирования угла α наклона пруткового элеватора в пределах $15-23^\circ$ вал 9 ведомого ролика 7 перемещается в пазу 10 рамы 1 на механизме 11 регулирования вертикального перемещения. При данном расположении встряхивателей 8 на сепарирующем элеваторе обеспечивается режим работы, при котором происходит перемещение вороха лука по поверхности пруткового элеватора 2 без подбрасывания.

В момент опускания стороны 3 пруткового элеватора 2 происходит подъем противоположной стороны 4 по длине S пруткового элеватора, т.е. противоположные стороны 3 и 4 пруткового элеватора 2 работают в противофазе. Вероятность повреждения луковиц в этом случае меньше, а качество сепарации лучше, так как время соприкосновения луковицы с поверхностью пруткового элеватора будет продолжительнее. При этом повышение качественных показателей сепарации лука-севка в результате исполнения ведомого ролика 7 на механизме 11 вертикального перемещения обеспечивается изменением угла α наклона пруткового элеватора 2, в зависимости от величины подачи вороха лука-севка с подкапывающих рабочих органов при постоянной поступательной скорости движения пруткового элеватора 2, так как коэффициент сепарации возрастает пропорционально углу α наклона пруткового элеватора 2.

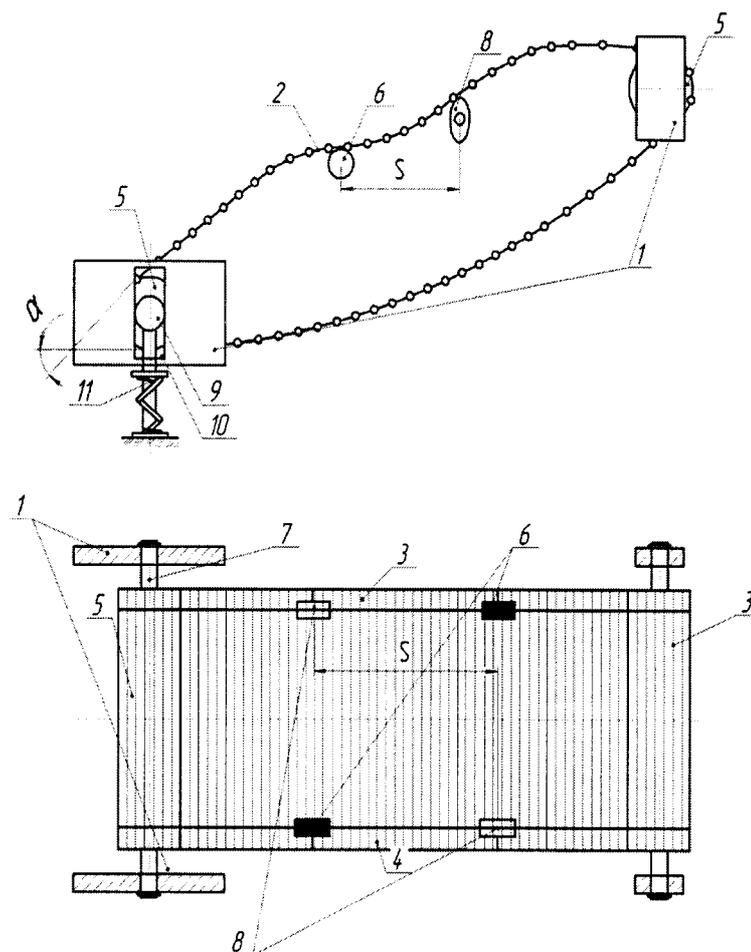


Рис. 2. Схема сепарирующего пруткового элеватора: 1 – рама; 2 – элеватор прутковый; 3, 4 – ветви пруткового элеватора; 5 – ролик ведущий; 6 – ролик поддерживающий; 7 – ролик ведомый; 8 – эллиптический встряхиватель; 9 – вал ведомого ролика; 10 – паз рамы; 11 – механизм регулирования вертикального перемещения /

Fig. 2. Diagram of a separating rod elevator: 1 – frame; 2 – rod elevator; 3, 4 – flights of a rod elevator; 5 – leading roller; 6 – supporting roller; 7 – driven roller; 8 – elliptical shaker; 9 – shaft of the driven roller; 10 – frame groove; 11 – mechanism for regulating vertical movement

Кроме того, варьирование угла α наклона пруткового элеватора, в зависимости от величины подачи вороха лука, обеспечивает регулирование равномерности подачи вороха на устройства вторичной сепарации при постоянной поступательной скорости движения пруткового элеватора, что приводит к повышению производительности и полноты сепарации при работе машины для уборки лука.

Результаты и их обсуждение. Для регулирования угла наклона полотна пруткового элеватора 1 используются датчики веса 2, закрепленные на подкапывающем лемехе 3 (рис. 3).

Датчики веса 2 в процессе выполнения технологической операции сепарации вороха лука и регулирования угла α_1 наклона пруткового элеватора 1 измеряют вес поступающего вороха лука на подкапывающем лемехе 3 и передают показания на микроконтроллер 4.

Линейный привод, представленный электроцилиндрами 5 в зависимости от показаний датчиков веса 2, получая сигнал от микроконтроллера 4, перемещает шток линейного привода на требуемое расстояние S_1 или S_2 , изменяя угол α_1 наклона полотна пруткового элеватора 1.

При прохождении вороха лука по поверхности пруткового элеватора 1 происходит просеивание почвы через щелевые отверстия, образованные смежными прутками полотна. Регистрация просеянной почвы осуществляется посредством инерционных датчиков 6, установленных по длине пруткового элеватора 1. При оценке эффективности сепарации инерционным датчиком 6 частота колебаний будет характеризоваться и скоростью движения пруткового элеватора 1 (сменой просветов и прутков над датчиком). Однако количество

просеившейся почвы будет характеризоваться пиковыми амплитудными значениями. Поэтому

оценка эффективности сепарации элеватора проводится по амплитудным значениям.

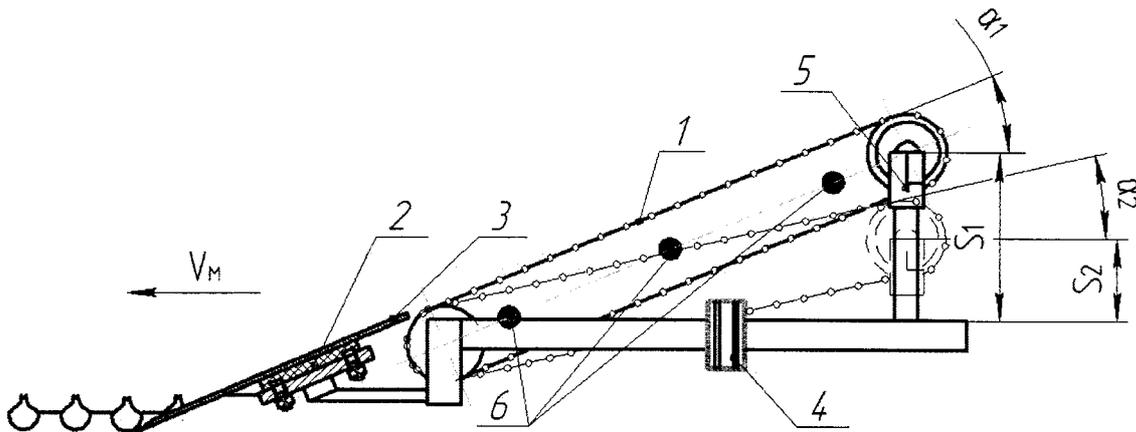


Рис. 3. Схема изменения угла наклона полотна пруткового элеватора: 1 – элеватор прутковый; 2 – датчик веса подкапывающего лемеха; 3 – лемех подкапывающий; 4 – микроконтроллер; 5 – электроцилиндр; 6 – датчик инерционный /

Fig. 3. Diagram of changes in the angle of inclination of the rod elevator apron: 1 – rod elevator; 2 – weight sensor of digging share; 3 – digging share; 4 – microcontroller; 5 – electric cylinder; 6 – inertial sensor

Если просеивание почвы на прутковом элеваторе осуществляется ниже требуемого значения, установленного микроконтроллером 4, происходит корректировка угла α_1 наклона полотна пруткового элеватора 1 в установленном интервале значений.

Основным компонентом системы адаптации рабочих органов пруткового элеватора машины для уборки лука является микроконтроллер управления движением исполнительных устройств – линейных актуаторов. Определив массу вороха лука на подкапывающем лемехе, контроллер с задержкой времени (T , с) движением пруткового элеватора передает управляющий сигнал на перемещение штока актуаторов.

Задание и контроль регулируемого угла α_1 наклона пруткового элеватора осуществляется автоматически посредством бортового компьютера (БУ). Относительное изменение управляемого перемещения рабочего исполнительного механизма (РО), регулирующего угол α наклона пруткового элеватора, производится в соответствии с разработанным алгоритмом:

$$\frac{\Delta y}{y} = \delta Q_{Вп} + K_m \frac{1}{f_m}, \quad (2)$$

где $Q_{Вп}$ – подача вороха лука-севка на подкапывающий лемех, кг/с; K_m – коэффициент преобразования тензодатчика веса в частоту электрического сигнала; f_m – частота электрического сигнала на выходе из тензодатчика, Гц.

$$Q_{Вп} = \frac{m \cdot v_{Д}}{L_{Д}}, \quad (3)$$

где m – масса луко-почвенного вороха, кг; $v_{Д}$ – поступательная скорость движения уборочной машины, м/с; $L_{Д}$ – длина подкапывающего лемеха, м.

В связи с тем, что регулирование угла α_1 наклона полотна пруткового элеватора осуществляется перемещением заднего вала приводного барабана пруткового элеватора диаметром $D_{ПР}$, то требуемое расстояние S_1 перемещения штока актуаторов в теле цикла осуществляется по формуле:

$$S_1 = \left[L_{ЭЛ} - \left(\frac{D_{ВЕД}}{2} + \frac{D_{ПР}}{2} \right) \right] \cdot \sin \alpha_1, \quad (4)$$

где $L_{ЭЛ}$ – длина пруткового элеватора, м; $D_{ВЕД}$ – диаметр ведомого вала барабана пруткового элеватора, м; $D_{ПР}$ – диаметр приводного вала барабана пруткового элеватора, м.

Угол продольного наклона поверхности пруткового элеватора (рис. 4) относительно горизонта α_1 определен в виде суммы углов – наклона поверхности пруткового элеватора относительно подкапывающего лемеха σ и наклона подкапывающего лемеха относительно горизонта σ_K :

$$\alpha_1 = \sigma + \sigma_K, \quad (5)$$

где α_1 – угол наклона пруткового элеватора относительно горизонта, град; σ – угол наклона поверхности пруткового элеватора относительно подкапывающего лемеха, град; σ_K – угол наклона подкапывающего лемеха относительно горизонта, град.

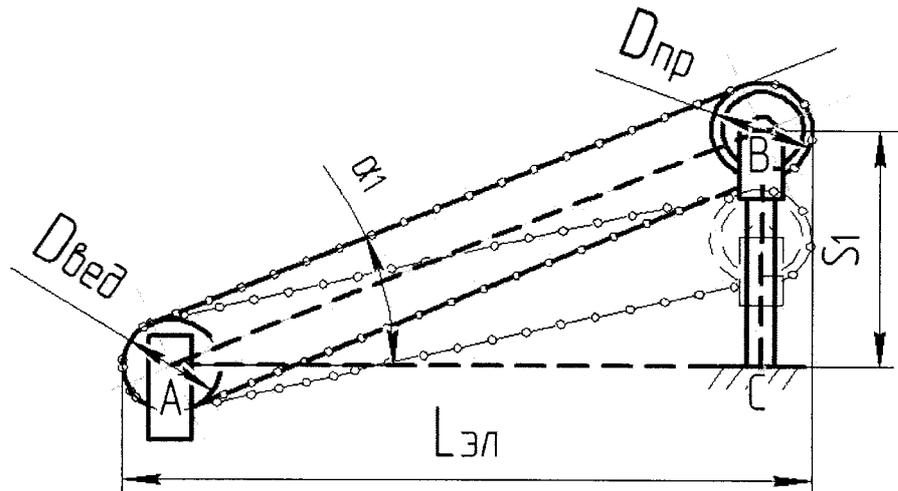


Рис. 4. Схема определения расстояния перемещения штоков актуаторов / Fig. 4. Scheme for determining the distance of movement of the actuator rods

Рассмотрим движение элемента вороха лука, имеющего приведённый коэффициент парусности и фрикционные свойства вороха

лука. Схема сил, действующих на элемент, представлена на рисунке 5.

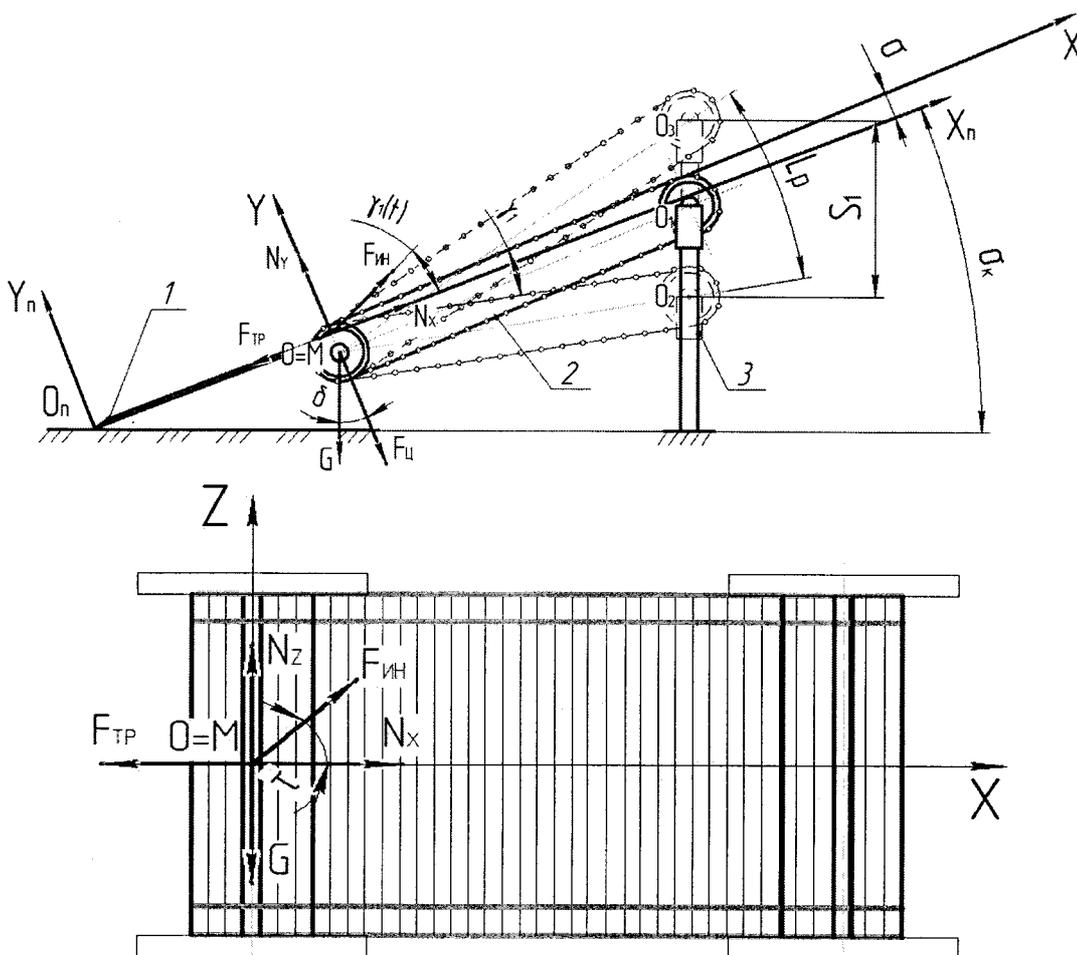


Рис. 5. Силы, действующие на элемент вороха лука: 1 – лемех подкапывающий; 2 – элеватор прутковый; 3 – электроцилиндр /

Fig. 5. Forces acting on an element of a heap of onion sets: 1 – digging share; 2 – rod elevator; 3 – electric cylinder

Введём подвижную систему координат ОХУ, связанную с поверхностью пруткового элеватора, и систему координат ОПХПУП, связанную с подкапывающим лемехом лукоуборочной машины.

Направление действия сил, воздействующих на элемент луко-почвенного вороха, находящегося на прутковом элеваторе с регулируемым углом наклона полотна, выбрано исходя их законов динамики движения материальной точки, совершающей сложное движение, а именно: G – сила тяжести луко-почвенного вороха, H ; N_X, N_Y – нормальные реакции пруткового элеватора на элемент луко-почвенного вороха по осям X, Y и Z, H ; $F_{ин}$ – сила инерции элемента луко-почвенного вороха от колебаний пруткового элеватора в горизонтальной плоскости, H ; $F_{тр}$ – сила трения элемента луко-почвенного вороха о поверхность пруткового элеватора, H ; $F_{ц}$ – центробежная сила инерции, H .

$$G = m_B \cdot g, \quad (6)$$

где m_B – масса луко-почвенного вороха, кг.

Силами воздействия R_V и сопротивлению R_W воздушного потока при движении элемента луко-почвенного вороха в поперечном направлении пренебрегаем, так как согласно результатам исследований Н. П. Ларюшина [8] следует, что траектория движения элемента луко-почвенного вороха с учетом сопротивления воздуха незначительно отличается от траектории без учета составляющей данной силы.

При движении вороха лука по поверхности пруткового элеватора большое значение имеет направление его скорости в момент отрыва, поэтому рассмотрим движение элеватора по дуге окружности L_P с углом сектора при

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x} = F_{ин} \cdot \cos \gamma_1(t) \cdot \cos \tau + F_{ц} \cdot \sin \gamma_1(t) \cdot \cos \tau + N_X - F_{тр} - G \cdot \sin \delta, \\ m \cdot \ddot{y} = F_{ин} \cdot \cos \gamma_1(t) \cdot \sin \tau + F_{ц} \cdot \sin \gamma_1(t) \cdot \sin \tau + N_Y - G \cdot \cos \delta, \\ m \cdot \ddot{z} = F_{ин} \cdot \sin \gamma_1(t) \cdot \cos \tau - F_{ц} \cdot \cos \gamma_1(t) \cdot \cos \tau + N_Z - F_{тр} - G \cdot \cos \delta. \end{cases} \quad (11)$$

Предположим, что элемент вороха лука начинает движение по поверхности пруткового элеватора в положительном направлении оси X в момент времени t_1 , не отрываясь от поверхности пруткового элеватора, т. е. при $t = t_1, z = 0, \dot{z} = 0, \ddot{z} = 0, N_Z > 0, N_X = 0$.

Из третьего выражения системы уравнений (11) имеем:

$$N_Z = -F_{ин} \cdot \sin \gamma_1(t) \cdot \cos \tau + F_{ц} \cdot \cos \gamma_1(t) \cdot \cos \tau + F_{тр} + G \cdot \cos \delta. \quad (12)$$

основании α_1 , имеющий радиус R_P , равным ходу штока электроцилиндра S_1 , т. е.:

$$R_P = S_1. \quad (7)$$

Длину элеватора $L_{ЭЛ}$ принимаем равной расстоянию между осями вращения его барабанов:

$$L_{ЭЛ} = 2 \cdot OO_1. \quad (8)$$

В связи с тем, что движение пруткового элеватора происходит по дуге окружности с радиусом R_P , то на элемент вороха лука-севка также действует центробежная сила инерции:

$$F_{ц} = m_B \cdot \omega_e^2 \cdot R_P, \quad (9)$$

где ω_e – угловая скорость элемента вороха лука-севка, c^{-1} .

Центробежная сила инерции $F_{ц}$ совершает движение по направлению к центру приложения силы, соответственно в нашем случае она приложена к центру нижнего вала пруткового элеватора, в точке M . Для определения направления силы инерции $F_{ин}$ примем допущение о том, что сила инерции вороха лука направлена по хорде под углом $\gamma_1 = \text{const}$. Однако при небольшом ходе штока электроцилиндра, указанное допущение приводит к большой погрешности определения направления силы инерции.

Следовательно, угол γ_1 определен в виде функции времени t :

$$\gamma_1(t) = \gamma_1 + \arcsin \frac{\cos(\omega_e \cdot t)}{S_1}. \quad (10)$$

Дифференциальные уравнения относительного движения элемента вороха лука по поверхности пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна имеют следующий вид (верхние знаки – при движении элемента в положительном направлении осей):

Принимаем, что

$$F_{тр} = f_{ЭЛ} \cdot N_Z, \quad (13)$$

где $f_{ЭЛ}$ – коэффициент трения элемента вороха лука по поверхности пруткового элеватора, $f_{ЭЛ} = 0,4$.

$$F_{ин} = \omega \cdot R_P \cdot \cos(\omega \cdot t_1). \quad (14)$$

Согласно выражениям (13) и (14) условие движения элемента вороха лука по поверхности пруткового элеватора с регулируемым

мым углом наклона полотна в положительном направлении оси X запишется в виде:

$$\omega \cdot R_p \cdot \cos(\omega \cdot t_1) \cdot \cos \gamma_1(t) \cdot \cos \tau + m_B \cdot \omega_c^2 \cdot R_p \cdot \sin \gamma_1(t) \cdot \cos \tau - f_{эл} \cdot N_z - m_B \cdot g \cdot \sin \delta = 0. \quad (15)$$

Условие отрыва элемента вороха лука от поверхности пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна:

$$\begin{cases} t = t_0, \\ z = 0, \dot{z} = 0, \ddot{z} = 0, \\ N_z = 0. \end{cases} \quad (16)$$

Из третьего выражения системы уравнений (12) согласно условию отрыва элемента

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \omega \cdot R_p \cdot \cos(\omega \cdot t_1) \cdot \cos \gamma_1(t) \cdot \cos \tau + \omega_c^2 \cdot R_p \cdot \sin \gamma_1(t) \cdot \cos \tau - \frac{f_{эл} \cdot N_z}{m_B} \cos \left(\arctg \frac{\dot{y}}{\dot{x}} \right) - g \cdot \sin \delta = 0, \\ \frac{dy}{dt} = \omega \cdot R_p \cdot \cos(\omega \cdot t_1) \cdot \cos \gamma_1(t) \cdot \sin \tau + \omega_c^2 \cdot R_p \cdot \sin \gamma_1(t) \cdot \sin \tau + \frac{f_{эл} \cdot N_z}{m_B} \sin \left(\arctg \frac{\dot{y}}{\dot{x}} \right) - g \cdot \cos \delta, \\ \frac{dz}{dt} = \omega \cdot R_p \cdot \cos(\omega \cdot t_1) \cdot \sin \gamma_1(t) \cdot \cos \tau - \omega_c^2 \cdot R_p \cdot \cos \gamma_1(t) \cdot \cos \tau + N_z \cdot (1 - f_{эл}) - g \cdot \cos \delta. \end{cases} \quad (19)$$

Система дифференциальных уравнений (19) движения элемента вороха лука по поверхности пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна предназначена для определения абсолютной скорости движения материальной точки М элемента вороха лука при условии отрыва элемента вороха лука от поверхности пруткового элеватора с регулируемым углом наклона, следовательно, для проведения исследований необходимо лишь третье выражение системы уравнений (19).

Силы N_x, N_y при проецировании на координатную ось Z равны нулю, соответственно в уравнении (12) и последующих аналитических зависимостях они не учитывались.

После двойного интегрирования системы уравнений (19) получаем уравнение движения материальной точки М элемента вороха лука в проекции на координатные оси XYZ с последующим определением скорости движения материальной точки М элемента вороха лука по поверхности пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна по выражению:

$$v_{Mг} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}, \quad (20)$$

где v_x – проекция относительной скорости движения материальной точки элемента вороха лука на ось X, м/с; v_y – проекция относительной скорости движения материальной точки элемента вороха лука на ось Y, м/с; v_z – проекция относительной скорости дви-

вороха лука имеем:

$$F_{ин} \cdot \sin \gamma_1(t) \cdot \cos \tau - F_{ц} \cdot \cos \gamma_1(t) \cdot \cos \tau - F_{тр} - G \cdot \cos \delta = 0. \quad (17)$$

После преобразования выражения (17) имеем:

$$\omega \cdot R_p \cdot \cos(\omega \cdot t_1) \cdot \sin \gamma_1(t) \cdot \cos \tau - m_B \cdot \omega_c^2 \cdot R_p \cdot \cos \gamma_1(t) \cdot \cos \tau - m_B \cdot g \cdot \cos \delta = 0. \quad (18)$$

Дифференциальные уравнения движения элемента вороха лука по поверхности пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна имеют вид:

жения материальной точки элемента вороха лука на ось Z, м/с.

Выводы. Обоснована и разработана конструктивно-технологическая схема сепарирующего пруткового элеватора с регулируемым углом наклона полотна, обеспечивающего повышение качественных показателей уборки лука. Анализ системы уравнений (11), отражающей относительную скорость движения элемента вороха лука по поверхности пруткового элеватора в продольном направлении, свидетельствует о том, что с увеличением угла α_1 продольного наклона полотна относительная скорость $v_{Mг}$ движения вороха лука уменьшается. При отсутствии воздушного потока относительная скорость $v_{Mг}$ движения вороха лука при изменении угла наклона полотна пруткового элеватора в продольном направлении в рассматриваемом диапазоне изменяется от 0,34 до 0,47 м/с. Изменение угла α_1 продольного наклона пруткового элеватора на 5° значительно $v_{Mг}$ изменяет относительную среднюю скорость движения вороха лука, что повышает качество сепарации вороха лука без увеличения поступательной скорости движения пруткового полотна, но приводит к повышению повреждений лукович в результате интенсивного воздействия встряхивателей полотна пруткового элеватора на обрабатываемый ворох лука.

Получена математическая модель движения вороха лука по поверхности пруткового элеватора при изменении направления его колебаний в горизонтальной плоскости.

Список литературы

1. Протасов А. А. Функциональный подход к созданию лукоуборочной машины. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина. 2011;(2(47)):37-43. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20231280>
2. Рембалович Г. К. Повышение эффективности уборки картофеля на тяжелых суглинистых почвах совершенствованием сепарирующих органов комбайнов (монография). Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2014. 300 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008509833>
3. Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Aksenov A. G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines. INMATEH – Agricultural Engineering. 2019;(2(58)):63-75. URL: http://www.inmateh.eu/INMATEH_2_2019/INMATEH-Agricultural_Engineering_58_2019.pdf
4. Трубилин Е. И., Абликов В. А. Машины для уборки сельскохозяйственных культур (конструкции, теории и расчет). Краснодар: КГАУ, 2010. 325 с. Режим доступа: <https://kubsau.ru/upload/iblock/03e/03e2ee02ecd7db9a0a557082bdc4446b.pdf>
5. Рембалович Г. К., Костенко М. Ю., Каширин И. А., Успенский И. А., Голиков А. А. Теоретические исследования процесса интенсификации первичной сепарации в картофелеуборочных машинах динамическим методом. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014;102:417-431. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22628249>
6. Subaeva A. K., Zamaidinov A. A., Kurdyumov V. I., Zykin E. S. Quality control indicators of soil ridges at sowing cultivated crops. International Journal of Pharmacy and Technology. 2016;8(3):14965-14972. URL: https://www.researchgate.net/publication/309671675_Quality_control_indicators_of_soil_ridges_at_sowing_cultivated_crops
7. Subaeva A. K., Zamaidinov A. A., Kurdyumov V. I., Zykin E. S. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught. Journal of fundamental and applied sciences. 2017;9(1S):1945-1955. Режим доступа: <https://jfas.info/pjfas/index.php/jfas/article/view/2897/1519>
8. Ларюшин Н. П., Пивоваров В. Ф., Кухарев О. Н., Вершинин Ю. А. Комплекс машин для производства лука по ресурсосберегающим технологиям. Овощи России. 2019;(6):141-145. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-141-145>
9. Калинин А. Б., Теплинский И. З., Кудрявцев П. П. Почвенное состояние в интенсивной технологии. Картофель и овощи. 2016;(2):35-36. Режим доступа: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2013/03/2_2016_kio.pdf
10. Рейнгарт Э. С., Сорокин А. А., Пономарев А. Г. Унифицированные картофелеуборочные машины нового поколения. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2006;(10):3-5. Режим доступа: <http://www.avtomash.ru/gur/2006/200610.htm>
11. Ларюшин Н. П., Кухарев О. Н., Кирюхин Т. А. Исходные положения при проектировании машин для уборки лука. Наука в центральной России. 2015;(6(18)):48-58. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25118239>
12. Hevko R. B., Tkachenko I. G., Synii S. V. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters. INMATEH-agricultural engineering. 2016;49(2):53-60. URL: <http://oaji.net/articles/2016/1672-1481650176.pdf>
13. Сибирёв А. В., Аксенов А. Г., Кынев Н. Г., Сазонов Н. В. Сепарирующий транспортер машины для уборки корнеклубнеплодов и лукович; пат. № 2679734 (Российская Федерация). № 2018117525: заяв. 11.05.2018; опубл. 12.02.2019. Бюл. № 5. 8 с. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2679734C1_20190212

References

1. Protasov A. A. *Funktsional'noy podkhod k sozdaniyu lukouborochnoy mashiny*. [Functional approach to onion harvester designing]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin". 2011;(2(47)):37-43. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20231280>
2. Rembalovich G. K. *Povyshenie effektivnosti uborki kartofelya na tyazhelykh suglinistykh pochvakh sovershenstvovaniem separiruyushchikh organov kombaynov (monografiya)*. [Improving the efficiency of potato harvesting on heavy loamy soils by improving the separating organs of combines (monograph)]. Ryazan': *FGBOU VPO RGATU*, 2014. 300 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01008509833>
3. Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Aksenov A. G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines. INMATEH – Agricultural Engineering. 2019;(2(58)):63-75. URL: http://www.inmateh.eu/INMATEH_2_2019/INMATEH-Agricultural_Engineering_58_2019.pdf
4. Trubilin E. I., Ablikov V. A. *Mashiny dlya uborki sel'skokhozyaystvennykh kul'tur (konstruktsii, teorii i raschet)*. [Machines for harvesting agricultural crops (construction, theory and calculation)]. Krasnodar.: *KGAU*, 2010. 325 p. URL: <https://kubsau.ru/upload/iblock/03e/03e2ee02ecd7db9a0a557082bdc4446b.pdf>

5. Rembalovich G. K., Kostenko M. Yu., Kashirin I. A., Uspenskiy I. A., Golikov A. A. *Teoreticheskie issledovaniya protsessa intensivatsii pervichnoy separatsii v kartofeleuborochnykh mashinakh dinamicheskim metodom*. [Theoretical studies of the process of intensification of the primary separation in potato machines using a dynamic method]. *Politematicheskii setevoj elektromnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2014;102:417-431. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22628249>

6. Subaeva A. K., Zamaidinov A. A., Kurdyumov V. I., Zykin E. S. Quality control indicators of soil ridges at sowing cultivated crops. *International Journal of Pharmacy and Technology*. 2016;8(3):14965-14972. URL: https://www.researchgate.net/publication/309671675_Quality_control_indicators_of_soil_ridges_at_sowing_cultivated_crops

7. Subaeva A. K., Zamaidinov A. A., Kurdyumov V. I., Zykin E. S. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught. *Journal of fundamental and applied sciences*. 2017;9(1S):1945-1955. Режим доступа: <https://jfas.info/pjfas/index.php/jfas/article/view/2897/1519>

8. Laryushin N. P., Pivovarov V. F., Kukharev O. N., Vershinin Yu. A. *Kompleks mashin dlya proizvodstva luka po resursoberegayushchim tekhnologiyam*. [Complex machines for the production of onions on resource-saving technologies]. *Ovoshchi Rossii* = Vegetable crops of Russia. 2019;(6):141-145. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-141-145>

9. Kalinin A. B., Teplinskiy I. Z., Kudryavtsev P. P. *Pochvennoe sostoyanie v intensivnoy tekhnologii*. [Soil condition in the intensive technology]. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2016;(2):35-36. (In Russ.). URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2013/03/2_2016_kio.pdf

10. Reyngart E. S., Sorokin A. A., Ponomarev A. G. *Unifitsirovannye kartofeleuborochnye mashiny novogo pokoleniya*. [Unified new generation potato harvesters]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny*. 2006;(10):3-5. (In Russ.). URL: <http://www.avtomash.ru/gur/2006/200610.htm>

11. Laryushin N. P., Kukharev O. N., Kiryukhin T. A. *Iskhodnye polozheniya pri proektirovanii mashin dlya uborki luka*. [Original position when designing onion harvesting machines]. *Nauka v tsentral'noy Rossii* = Science in Central Russia. 2015;(6(18)):48-58. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25118239>

12. Hevko R. B., Tkachenko I. G., Synii S. V. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters. *INMATEH-agricultural engineering*. 2016;49(2):53-60. URL: <http://oaji.net/articles/2016/1672-1481650176.pdf>

13. Sibirev A. V., Aksenov A. G., Kynev N. G., Sazonov N. V. The separating conveyor of the machine for harvesting root crops and bulbs: patent RF no. 2679734, 2019. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2679734C1_20190212

Сведения об авторах

Дорохов Алексей Семенович, доктор техн. наук, член-корреспондент РАН, зам. директора по научно-организационной работе ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID**: <http://orcid.org/0000-0002-4758-3843>, e-mail: dorokhov@rgau-msha.ru

✉ **Сибирёв Алексей Викторович**, кандидат техн. наук, ст. научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID**: <http://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, e-mail: sibirev2011@yandex.ru,

Аксенов Александр Геннадьевич, кандидат техн. наук, вед. научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID**: <http://orcid.org/0000-0002-9546-7695>, e-mail: 1053vim@mail.ru.

Information about the authors

Aleksey S. Dorokhov, DSc in Engineering, corresponding member of RAS, Deputy Director for Scientific and Organizational Work, Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID**: <http://orcid.org/0000-0002-4758-3843>, e-mail: dorokhov@rgau-msha.ru,

✉ **Aleksey V. Sibirev**, PhD in Engineering, senior researcher, Department of Technology and Machines in Vegetable Farming, Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID**: <http://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, e-mail: sibirev2011@yandex.ru,

Aleksandr G. Aksenov, PhD in Engineering, leading researcher, Department of Technology and Machines in Vegetable Farming, Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM», 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, **ORCID**: <http://orcid.org/0000-0002-9546-7695>, e-mail: 1053vim@mail.ru

✉ - Для контактов / Corresponding author

Расчет траекторий частиц в пневмосепарирующем канале различными методами

© 2020. А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин ✉

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Приведено сравнение траекторий частиц в пневмосепарирующем канале (ПСК) фракционного сепаратора семян СП-2Ф и его отвода, рассчитанных методом компьютерного моделирования и двумя экспериментально-теоретическими методами. Последние основаны на учете реального поля скоростей воздушного потока. В одном варианте поле скоростей измеряли в режиме без зерновой нагрузки, во втором – при номинальной зерновой нагрузке. Исследования проводили в разделенном на две части перегородкой вертикальном ПСК с опорной сеткой. В варианте с теоретическим полем скоростей траектории легких и зерновых примесей в I части ПСК смещены ближе к наружной стенке. Во II части канала частицы со скоростью витания 8,0...10,0 м/с выносятся вверх, а со скоростью витания 11,0 м/с падают вниз в очищенный материал. С экспериментальным полем скоростей без зерновой нагрузки частицы со скоростью витания 7,0...10,0 м/с поднимаются вверх во второй части ПСК. В варианте с зерновой нагрузкой частицы со скоростью витания 7,0...9,0 м/с поднимаются вверх и рикошетят о внутреннюю стенку ПСК и стенку отвода, а частицы со скоростью витания более 10,0 м/с падают вниз в очищенный материал. В варианте эксперимента с зерновой нагрузкой скорость частиц со скоростью витания 5,0...9,0 м/с при выходе из отвода ПСК в сравнении с другими вариантами более выровненная – 2,3...2,7 м/с, а вектор скорости большинства частиц направлен под меньшим углом к горизонту: от 4° вверх до 17° вниз от горизонтали. Наиболее точным является расчет траекторий частиц с использованием поля скоростей в ПСК при номинальной зерновой нагрузке. Результаты исследования могут быть использованы при теоретическом обосновании конструктивных параметров пневмосистем зерноочистительных машин.

Ключевые слова: пневмосепаратор, теоретический и экспериментально-теоретические методы расчета траекторий частиц, скорость витания

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (тема № 0767-2019-0094).

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А. Расчет траекторий частиц в пневмосепарирующем канале различными методами. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(1):62-70. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.62-70>

Поступила: 05.11.2019

Принята к публикации: 03.02.2020

Опубликована онлайн: 28.02.2020

Calculation of particle trajectories in the pneumatic separation channel using various methods

© 2020. Aleksander I. Burkov, Andrei L. Glushkov, Victor A. Lazykin ✉

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The article presents the comparison testing of particle trajectories in the pneumatic separation channel (PSC) of the pneumatic seed separator SP-2F and its bend, calculated using computer simulation method and two experimental-theoretical methods. They are based on taking into account the real airflow velocity field. In the first variant, the velocity field was measured in an idle mode, in the second at the nominal grain load. The studies were carried out in a vertical PSC with a supporting grid divided into two parts by a partition wall. In the variant with the theoretical velocity field the trajectories of light and grain impurities in the first part of the PSC are shifted closer to the outer wall. In the second part of the channel, particles with hovering speed of 8.0...10.0 m/s are carried upwards, and with hovering speed of 11.0 m/s they fall down into the purified material. In the variant of the experiment in an idle mode, particles with the hovering speed of 7.0...10.0 m/s rise up in the second part of the PSC. In the variant with grain load, particles with the hovering speed of 7.0...9.0 m/s rise upward and ricochet off the inner walls of the PSC and a bend wall, and particles with the hovering speed of more than 10.0 m/s fall down into the purified material. In the variant of the experiment with the grain load, the particle velocity with the hovering speed of 5.0...9.0 m/s at the exit of the PSC bend is more evened as compared to other options - 2.3...2.7 m/s, and the velocity vector of most particles is directed at a lower angle to the horizontal: from 4° up from the horizontal to 17° down from the horizontal. The most accurate is the calculation of particle trajectories using the velocity field in the PSC at the nominal grain load. The results of the study can be useful in the theoretical substantiation of the design parameters of pneumatic systems of grain cleaning machines.

Keywords: pneumatic separator; theoretical and experimental-theoretical methods of particle trajectories calculation; hovering velocity

Acknowledgement: the research was carried out within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0094).

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazukin V. A. Calculation of particle trajectories in the pneumatic separation channel using various methods. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(1):62-70. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.62-70>

Received: 05.11.2019

Accepted for publication: 03.02.2020

Published online: 28.02.2020

Наиболее распространенным и эффективным способом очистки семян от примесей является обработка воздушным потоком (разделение по аэродинамическим свойствам). Пневмосепарирующие устройства используются на всех стадиях очистки семян как в составе сложных зерно- и семяочистительных машин, так и в виде отдельных машин – пневмосепараторов. При разработке технологических схем пневмосепараторов важно знать траектории частиц зерновой смеси в пневмосепарирующих каналах (ПСК) и их аэродинамические параметры на выходе из отвода канала. Это позволит в первом приближении определить основные конструктивные параметры как самого канала, так и всех основных элементов сепаратора в целом (разделительная камера, пылесаждающие устройства и др.).

Для расчета траекторий частиц применяют различные методы, в основе которых лежит анализ поля векторов скоростей [1, 2]. При этом поле векторов скоростей описывается известными аналитическими зависимостями, численно моделируется с помощью пакетов прикладных программ или измеряется экспериментальным путем. Проблема заключается в том, что в литературе отсутствуют сведения о сравнении методов расчета траекторий частиц в ПСК и их аэродинамических параметров. В данной статье авторами сравниваются расчетные траектории

частиц в пневмосепарирующем канале и его отводе, полученные при теоретическом описании поля скоростей методом компьютерного моделирования [3, 4] и экспериментально-теоретическими методами [5, 6], что позволит более объективно подойти к выбору метода при расчете траекторий частиц в других элементах пневмосепараторов.

Цель исследования – изучить влияние методов расчета траекторий частиц на их координаты, значения и направления векторов скорости в пневмосепарирующем канале.

Материал и методы. Объектами исследования являлись процесс очистки семян в вертикальном ПСК и траектории частиц, рассчитанные методом компьютерного моделирования и экспериментально-теоретическими методами.

В начале исследования методом математического моделирования и экспериментальными методами было построено поле скоростей в вертикальном ПСК. Далее были рассчитаны траектории частиц, получены сведения о их местоположении, направлении и значении векторов скоростей на выходе из отвода канала.

За основу был взят вертикальный ПСК фракционного сепаратора семян СП-2Ф (рис. 1) со следующими конструктивными параметрами: $H_{ПСК} = 0,55$ м, $h = h_{омв} = 0,3$ м, $h_1 = 0,21$ м, $h_{омв.1} = 0,18$ м, $S = 0,1$ м [7].

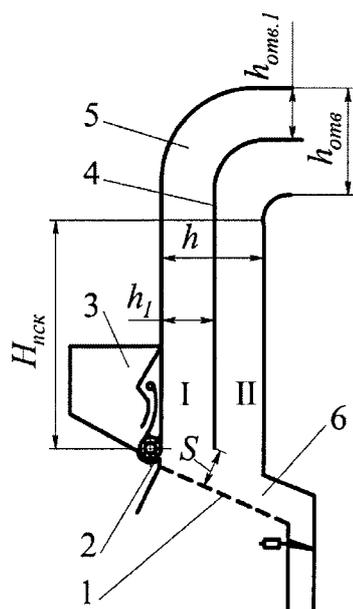


Рис. 1. Схема пневмосепарирующего канала фракционного сепаратора семян СП-2Ф:

- 1 – опорная сетка; 2 – загрузочное окно;
- 3 – устройство ввода материала активного типа;
- 4 – разделительная перегородка;
- 5 – отвод; 6 – выгрузное окно;
- I и II – первая и вторая части ПСК /

Fig. 1. Diagram of the pneumo-separating channel of pneumatic separator of seeds SP-2F:

- 1 – supporting grid; 2 – loading window;
- 3 – input device of the active type of material;
- 4 – partition wall;
- 5 – bend; 6-discharge window;
- I and II – first and second parts of the PSC

Средняя скорость воздушного потока в первой части канала I составляла 8,5 м/с, во второй части канала II – 12,0 м/с. Она выбиралась по допустимым потерям полноценного зерна в отходы (10%) [8].

Первый метод построения поля скоростей – это метод математического моделирования, основанный на применении современного программного комплекса и на конечно-объемном методе решения уравнений гидродинамики. Для создания геометрии расчетной области пневмосепарирующего канала использовали систему автоматизации проектирования Solid Works [3, 4, 9], затем с помощью дополнительного модуля Flow Simulation [10, 11] были произведены расчет и построение поля. В качестве математической модели выбрали модель турбулентной несжимаемой жидкости. Граничные условия: вход, стенка, выход. Вход – тип свободный, скорость воздушного потока в векторном виде и ее значение по модулю в абсолютной системе координат. Стенка – логарифмический закон изменения скорости в турбулентном пограничном слое. Выход – свободный, нулевое давление.

Второй и третий экспериментальные методы основаны на учете реального поля скоростей воздушного потока. В первом случае поле скоростей измеряли в холостом режиме [5], во втором – при номинальной зерновой нагрузке (удельная подача семян яровой пшеницы 1,85 кг/с на метр ширины) [6].

По результатам измерений и расчетов были получены векторные поля скоростей воздушного потока в ПСК математическим моделированием, экспериментально – при работе вхолостую и с зерновой нагрузкой (рис. 2).

Затем для каждого варианта поля скоростей были рассчитаны траектории частиц компонентов семенного материала, представляющего собой зерновую смесь, состоящую из основной культуры (яровая пшеница), зерновой примеси (щуплое зерно озимой ржи) и легких примесей (древесный опил). Для расчета траекторий была составлена система дифференциальных уравнений второго порядка путем проецирования действующих на частицу в вертикальном воздушном потоке сил на оси неподвижной системы координат xOy :

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k_n(\dot{x} - V_x)\sqrt{(\dot{x} - V_x)^2 + (\dot{y} - V_y)^2}; \\ \ddot{y} = -g - k_n(\dot{y} - V_y)\sqrt{(\dot{x} - V_x)^2 + (\dot{y} - V_y)^2}, \end{cases}$$

где k_n – коэффициент парусности частицы, m^{-1} ; \dot{x} и \dot{y} – проекции абсолютной скорости частицы

на оси координат, м/с; V_x и V_y – горизонтальная и вертикальная составляющие скорости воздушного потока, м/с; g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

При решении данных дифференциальных уравнений значения скоростей воздушного потока определялись системами уравнений, описывающими вертикальные V_y и горизонтальные V_x составляющие скоростей в зависимости от расположения частицы в данный момент времени. При расчетах принимали начальную скорость частиц $V_0 = 0,2$ м/с и угол их ввода в канал, равный 0° . Расчет и построение траекторий проводили с помощью программы MathCAD [12, 13].

По результатам расчета построены траектории частиц компонентов семенного материала в ПСК, определено их местоположение, координаты по высоте патрубка, направление и значение векторов скорости на выходе из отвода пневмосепарирующего канала.

Результаты и их обсуждение. Анализируя структуру воздушного потока, следует отметить, что поле скоростей, полученное методом математического моделирования (рис. 2, а), в обеих частях канала достаточно выровненное по глубине на всей прямолинейной части канала, а перераспределение скоростей происходит только в отводе. Это обусловлено тем, что в этом варианте не учтена неравномерность поля скоростей, а расчет и построение производится по среднему значению.

Поля скоростей, полученные экспериментально (рис. 2, б и в), значительно отличаются от математического моделирования, поскольку отражают реальную неравномерность. Причем при зерновой нагрузке воздушный поток более выровненный. При этом направление векторов скоростей на высоте $y = 0,2...0,4$ м смещено в сторону наружной стенки в I части канала и разделительной перегородки во II части канала. Данное явление происходит в результате перемещения воздушного потока в зоны меньшего сопротивления.

Рассматривая траектории частиц в канале (рис. 3), можно сделать вывод, что наибольшее влияние на них оказывает равномерность поля скоростей, скорость витания, абсолютная скорость и угол ввода частицы в ПСК. При данной конфигурации ПСК видно, что в его первой части в основном выделяются легкие примеси. Более тяжелые частицы сорной и зерновой примеси перемещаются в сторону разделительной перегородки, тормозятся об нее, а затем падают на движущийся по опорной сетке основной поток очищаемого материала.

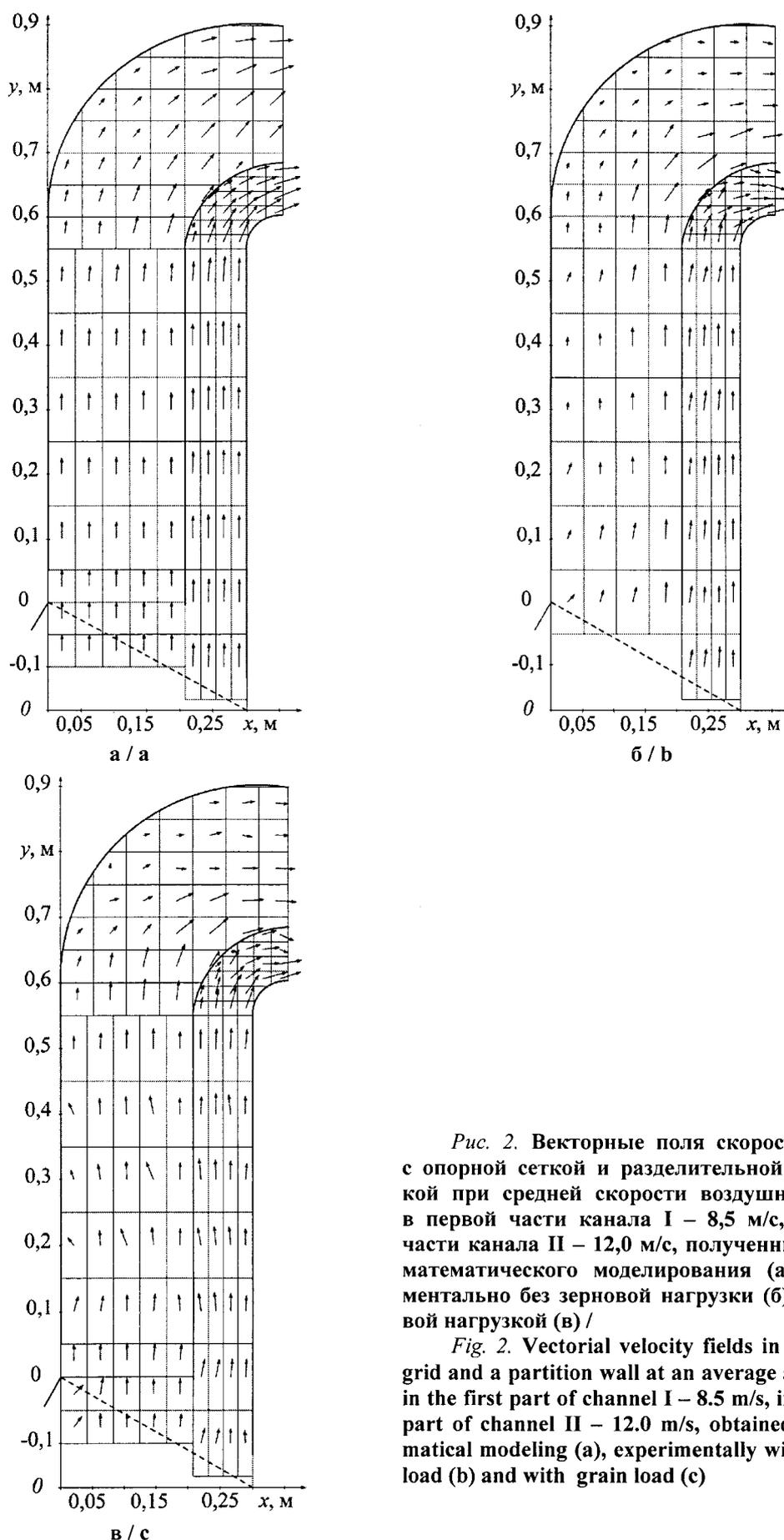


Рис. 2. Векторные поля скоростей в ПСК с опорной сеткой и разделительной перегородкой при средней скорости воздушного потока в первой части канала I – 8,5 м/с, во второй части канала II – 12,0 м/с, полученные методом математического моделирования (а), экспериментально без зерновой нагрузки (б) и с зерновой нагрузкой (в) /

Fig. 2. Vectorial velocity fields in PSC with a grid and a partition wall at an average air flow rate in the first part of channel I – 8.5 m/s, in the second part of channel II – 12.0 m/s, obtained by mathematical modeling (a), experimentally without grain load (b) and with grain load (c)

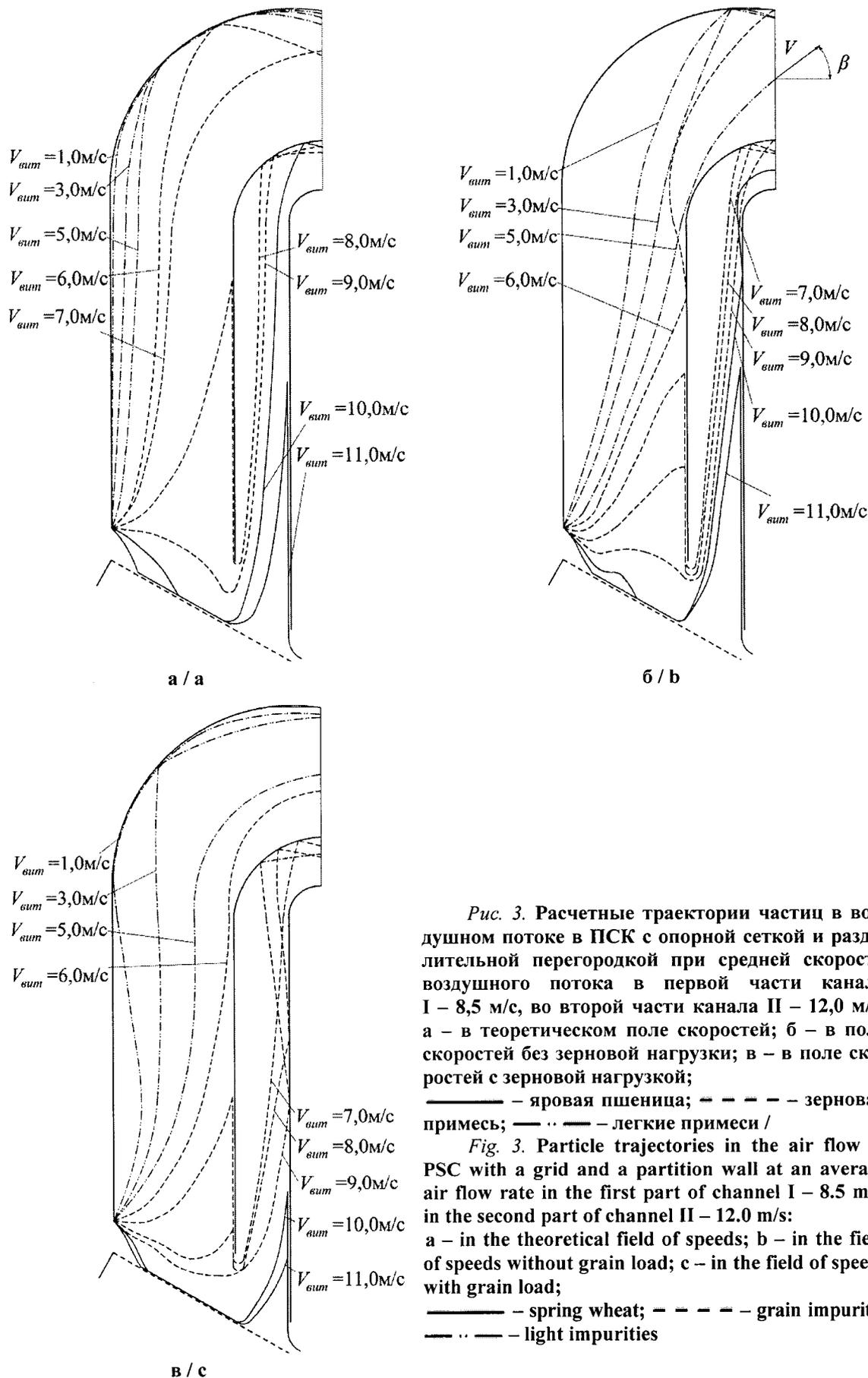


Рис. 3. Расчетные траектории частиц в воздушном потоке в ПСК с опорной сеткой и разделительной перегородкой при средней скорости воздушного потока в первой части канала I – 8,5 м/с, во второй части канала II – 12,0 м/с: а – в теоретическом поле скоростей; б – в поле скоростей без зерновой нагрузки; в – в поле скоростей с зерновой нагрузкой;

— — — — — яровая пшеница; - - - - - зерновая примесь; — · — — — — легкие примеси /

Fig. 3. Particle trajectories in the air flow in PSC with a grid and a partition wall at an average air flow rate in the first part of channel I – 8.5 m/s, in the second part of channel II – 12.0 m/s: а – in the theoretical field of speeds; б – in the field of speeds without grain load; в – in the field of speeds with grain load;

— — — — — spring wheat; - - - - - grain impurity; — · — — — — light impurities

Во II части канала происходит выделение оставшихся легких и зерновых примесей, а также щуплого, дробленого и мелкого зерна основной культуры. Очищенный материал сходит с опорной сетки через выгрузное окно вы-

водится из канала. Некоторые частицы достигают разделительную перегородку и внутреннюю стенку II части канала под острым углом, ricochetят и продолжают движение вверх с изменившимися составляющими скорости.

Таблица. Координаты, значение и направление вектора скорости V частиц при выходе из отвода пневмосепарирующего канала в зависимости от их скорости витания и метода расчета / Table. Coordinates, value and direction of the velocity vector V of particles at the exit from the outlet of the pneumo-separating channel, depending on their hovering velocity and the calculation method

Скорость витания частицы $V_{\text{внт}}$, м/с / Particle hovering velocity V_{hov} , m/s	Координаты частицы по оси y, м / Coordinates of the particle on the y axis, m	Значение скорости V, м/с / Speed value V, m/s	Угол β , град / Angle β , deg	Значение скорости V по осям координат, м/с / Speed value V for coordinate axes, m/s	
				V_x	V_y
Поле скоростей в ПСК, полученное с помощью математического моделирования / Velocity field in PSC obtained by mathematical modeling					
1,0	0,84	4,71	-2	4,71	0,16
3,0	0,83	3,83	-4	3,82	0,27
5,0	0,82	3,22	-7	3,20	0,39
6,0	0,77	1,87	-25	1,69	0,79
7,0	0,78	1,48	19	1,40	0,48
8,0	0,63	2,63	14	2,55	0,64
9,0	0,61	1,91	-3	1,91	0,10
10,0	0,62	1,77	-16	1,70	0,49
Поле скоростей в ПСК без зерновой нагрузки / Velocity field in PSC without grain load					
1,0	0,84	1,23	-26	1,11	0,54
3,0	0,84	2,56	-16	2,46	0,71
5,0	0,73	3,00	54	1,76	2,43
6,0	0,85	1,39	-30	1,20	0,70
7,0	0,61	2,55	-11	2,50	0,49
8,0	0,62	1,91	-28	1,69	0,90
9,0	0,63	1,22	-35	1,00	0,70
10,0	0,58	1,24	14	1,20	0,30
Поле скоростей в ПСК при зерновой нагрузке / Velocity field in PSC with grain load					
1,0	0,84	3,61	-4	3,60	0,25
3,0	0,83	3,82	11	3,75	0,73
5,0	0,74	2,33	15	2,25	0,60
6,0	0,71	2,71	15	2,62	0,70
7,0	0,62	2,73	-13	2,66	0,61
8,0	0,60	2,64	-17	2,52	0,77
9,0	0,61	2,33	4	2,32	0,16

В варианте с теоретическим полем скоростей, полученным методом математического моделирования (рис. 3, а), в виду того, что воздушный поток здесь наиболее выровнен по

глубине, и практически отсутствует отклонение векторов скоростей от вертикали, траектории легких и зерновых примесей в I части ПСК смещены ближе к наружной стенке.

Здесь происходит удаление частиц со скоростями витания до 7,0 м/с. Во II части канала частицы со скоростью витания 8,0...10,0 м/с выносятся вверх, а со скоростью витания 11,0 м/с достигают внутреннюю стенку и после контакта с ней падают вниз в очищенный материал. В варианте с экспериментальным полем скоростей без зерновой нагрузки (рис. 3, б) частицы со скоростью витания 1,0...6,0 м/с поднимаются вверх в I части канала, а со скоростью витания 7,0...10,0 м/с – вверх во II части. При этом наблюдаются рикошеты в отводе обеих частей ПСК. Семена со скоростью витания 11,0 м/с, как и в варианте математического моделирования (рис. 3, а), падают после касания стенки на опорную сетку и выводятся из ПСК.

Траектории частиц в экспериментальном поле скоростей при зерновой нагрузке (рис. 3, в) существенно отличаются от других вариантов. Так, частицы со скоростью витания 1,0...6,0 м/с поднимаются вверх в I части канала, равномерно заполняя проточную часть, при этом большинство из них выходит из отвода без рикошета о стенки. Более равномерное распределение скоростей воздушного потока оказывает положительное влияние на траектории частиц и во II части ПСК. Частицы со скоростью витания 7,0...9,0 м/с поднимаются вверх и рикошетят о внутреннюю стенку ПСК и стенку отвода.

Результаты расчетов по определению координат, значения и направления вектора скорости частиц при выходе из отвода пневмосепарирующего канала в зависимости от скорости витания и метода расчета приведены в таблице.

Выводы. Параметры частиц (координаты, значение и направление вектора скорости) при выходе из отвода пневмосепарирующего канала, рассчитанные различными методами, существенно отличаются. В варианте расчета траекторий частиц с использованием экспери-

ментального поля скоростей при номинальной зерновой нагрузке наблюдается равномерное их распределение по высоте отвода I части ПСК, малый диапазон скоростей осаждаемых частиц $V = 2,3...2,7$ м/с при небольших положительных значениях угла вектора скорости $\beta = 11...15^\circ$. При использовании теоретического поля скоростей частицы расположены преимущественно около верхней стенки, имеют существенный диапазон значений угла β вектора скорости от -25 до 19° . При расчете траекторий частиц в экспериментальном поле скоростей без зерновой нагрузки частицы выходят из отвода еще с более широким диапазоном угла β вектора скорости от -30 до 54° . На выходе из отвода II части ПСК в случае расчета траектории в экспериментальном поле скоростей с зерновой нагрузкой частицы имеют небольшой разброс значений угла β векторов скоростей от -17 до 4° , при использовании экспериментального поля без зерновой нагрузки угол $\beta = -35...14^\circ$, а теоретического поля скоростей – $\beta = -16...-14^\circ$. В варианте с зерновой нагрузкой в очищенный материал поступают частицы со скоростью витания $V_{\text{вит}} \geq 10,0$ м/с, в других вариантах со скоростью витания $V_{\text{вит}} \geq 11,0$ м/с. Наиболее точным является экспериментально-теоретический метод, поскольку учитывает реальные условия функционирования машины.

Результаты исследования по определению координат, направления и значения вектора скорости частиц при выходе из отвода пневмосепарирующего канала могут быть использованы при расчете траекторий частиц в разделительной (осадочной) камере пневмосепаратора СП-2Ф, определении ее основных конструктивных параметров и выборе метода расчета траекторий частиц в других элементах пневмосистем зерноочистительных машин.

Список литературы

1. Бутовченко А. В., Дорошенко А. А., Савченко А. А., Шубин А. И. Использование программного комплекса "FLOWVISION" для определения характеристик воздушного потока в пневмоканале. Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы 7-ой Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 17-ой Междунар. агропромышленной выставки "Интерагромаш-2014", 25-27 февр. Ростов н/Д, 2014. С. 52-54.
2. Мударисов С. Г., Бадретдинов И. Д. Оптимизация параметров пневматической системы зерноочистительной машины. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2011;(1):6-7.
3. Алямовский А. А. Solid Works 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб.: БХВ – Петербург, 2008. 1040 с.
4. Алямовский А. А. Инженерные расчёты в Solid Works Simulation. М.: ДМК Пресс, 2010. 464 с. Режим доступа: <https://www.pdfdrive.com/Инженерные-расчеты-в-solidworks-simulation-e156966405.html>

5. Бурков А.И., Алешкин А.В., Глушков А.Л., Лазыкин В.А. Способ определения траектории движения частицы зернового материала в пневмосепарирующем канале: пат. № 2669053 Российская Федерация. №2017116028; заяв. 04.05.2017; опублик. 08.10.2018. Бюл. №28. 2с. Режим доступа: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWC1/000/000/002/669/053/%D0%98%D0%97-02669053-00001/document.pdf>
6. Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А. Усовершенствованный экспериментально-теоретический метод расчёта траектории частиц в пневмосепарирующем канале. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;(3):87-92. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.87-92>
7. Бурков А. И., Лазыкин В. А. Фракционный пневматический сепаратор семян СП-2Ф. *Сельский механизатор*. 2016;(3):4-5.
8. Ревякин Е. Л., Антышев Н. М. Технологические требования к новым техническим средствам в растениеводстве. М.: Росинформагротех, 2008. 60 с. Режим доступа: <https://id.b-ok.cc/book/3243361/c765c9>
9. Krzysztof J. Wołosz, Jacek Wernik. Pneumatic pulsator design as an example of numerical simulations in engineering applications. *Central European Journal of Engineering*. 2012;2(1):76-82. DOI: <https://doi.org/10.2478/s13531-011-0050-5>
10. Zhukovetskaya S. Air flowing spatial modeling and simulation with Solidworks CAD. *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki i Informatyki*. 2018;13:79–87. URL: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-0e92a018-6f21-48cf-ae47-cf138a92f844>
11. Jiang H, Lu L, Sun K. Computational fluid dynamics (CFD) modeling of particle deposition in a two-dimensional turbulent channel air flow: study of influence factors: *Indoor Built Environ* 2012;21(2):264-272. DOI: <https://doi.org/10.1177/1420326X11414939>
12. Поршнева С. В., Беленкова И. В. Численные методы на базе Mathcad. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 456 с. Режим доступа: <https://avidreaders.ru/book/chislennye-metody-na-baze-mathcad-cd.html>
13. Солодов А. П. Mathcad. Дифференциальные модели. М.: МЭИ, 2002. 239 с. Режим доступа: <http://en.bookfi.net/book/719446>

References

1. Butovchenko A. V., Doroshenko A. A., Savchenko A. A., Shubin A. I. *Ispol'zovanie programmnoy kompleksa "FLOWVISION" dlya opredeleniya kharakteristik vozdushnogo potoka v pnevmokanale. Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: materialy 7-oy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 17-oy Mezhdunar. agropromyshlennoy vystavki "Interagromash-2014", 25-27 fevr.* [Use of the software complex "FLOWVISION" for determining the characteristics of the air flow in the pneumatic channel. Current state and prospects of agricultural machine building: Proceedings of the 7th International scientific and practical agro-industrial exhibition "Interagromash-2014", 25-27 fevr. Rostov n/D, 2014. pp. 52-54.
2. Mudarisov S. G., Badretdinov I. D. *Optimizatsiya parametrov pnevmaticheskoy sistemy zernoochistitel'noy mashiny.* [Optimization of parameters of the pneumatic system of the grain cleaning machine]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2011;(1):6-7. (In Russ.).
3. Alyamovskiy A. A. *Solid Works 2007/2008. Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoy praktike.* [Solid Works 2007/2008. Computer modeling in engineering practice]. Saint-Petersburg: BKhV – Peterburg, 2008. 1040 p.
4. Alyamovskiy A. A. *Inzhenernye raschety v Solid Works Simulation.* [Engineering calculations in Solid Works Simulation]. Moscow: DMK Press, 2010. 464 p. URL: <https://www.pdfdrive.com/Инженерные-расчеты-в-solidworks-simulation-e156966405.html>
5. Burkov A. I., Aleshkin A. V., Glushkov A. L., Lazykin V. A. Method for determining the trajectory of a grain material particle in a pneumatic separation channel: Patent RF, no. 2669053, 2017. URL: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWC1/000/000/002/669/053/%D0%98%D0%97-02669053-00001/document.pdf>
6. Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazykin V. A. *Usovershenstvovannyy eksperimental'no-teoreticheskiy metod rascheta traektorii chastits v pnevmosepariruyushchem kanale.* [Improved experimental theoretical method for calculating the trajectory of particles in the pneumo-separating channel]. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;(3):87-92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.87-92>
7. Burkov A. I., Lazykin V. A. *Fraktsionnyy pnevmaticheskiy separator semyan SP-2F.* [Fractional pneumatic separator of seeds SP-2F]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2016;(3):4-5. (In Russ.).
8. Revyakin E. L., Antyshev N. M. *Tekhnologicheskie trebovaniya k novym tekhnicheskim sredstvam v rasteniyevodstve.* [Technological requirements for new technical means in crop production]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2008. 60 p. URL: <https://id.b-ok.cc/book/3243361/c765c9>
9. Krzysztof J. Wołosz, Jacek Wernik. Pneumatic pulsator design as an example of numerical simulations in engineering applications. *Central European Journal of Engineering*. 2012;2(1):76-82. DOI: <https://doi.org/10.2478/s13531-011-0050-5>

10. Zhukovetskaya S. Air flowing spatial modeling and simulation with Solidworks CAD. *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki i Informatyki*. 2018;13:79-87. URL: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-0e92a018-6f21-48cf-ae47-cf138a92f844>

11. Jiang H, Lu L, Sun K. Computational fluid dynamics (CFD) modeling of particle deposition in a two-dimensional turbulent channel air flow: study of influence factors: *Indoor Built Environ* 2012;21(2):264-272. DOI: <https://doi.org/10.1177/1420326X11414939>

12. Porshnev S. V., Belenkova I. V. *Chislennyye metody na baze Mathcad*. [Numerical methods based on Mathcad]. Saint-Petersburg: *BKhV-Peterburg*, 2012. 456 p. URL: <https://avidreaders.ru/book/chislennyye-metody-na-baze-mathcad-cd.html>

13. Solodov A. P. *Mathcad. Differentsial'nye modeli*. [Mathcad Differential models]. Moscow: *MEI*, 2002. 239 p. URL: <http://en.bookfi.net/book/719446>

Сведения об авторах

Бурков Александр Иванович, доктор техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>**, e-mail: burkov.46@mail.ru

Глушков Андрей Леонидович, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1448-9930>**

✉ **Лазыкин Виктор Алексеевич**, кандидат техн. наук, научный сотрудник лаборатории зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3910-8620>**, e-mail: ellestar@bk.ru

Information about the authors

Alexander I. Burkov, DSc in Engineering, professor, leading researcher, Head of the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>**, e-mail: burkov.46@mail.ru

Andrei L. Gluhkov, PhD in Engineering, senior researcher, the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1448-9930>**

✉ **Victor A. Lazukin**, PhD in Engineering, researcher, the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3910-8620>**, e-mail: ellestar@bk.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

**ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ /
DISCUSSION PAPERS**

**РОССИЙСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА:
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ, ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ /
RUSSIAN AGRICULTURAL MACHINERY: COMPETITIVENESS,
GLIMPSE INTO THE FUTURE**

Новая рубрика «Дискуссии» открыта в журнале темой о конкурентоспособности разработок отечественного сельскохозяйственного машиностроения (Мазитов Н. К., Сахапов Р. Л., Шогенов Ю. Х., Шарафиев Л. З., Ценч Ю. С., Рахимов И. Р. Конкурентоспособный комплекс техники и технологии для производства зерна и кормов. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(3):299-308. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.3.299-308>). В статье дана характеристика отечественной техники, превосходящей по основным показателям лучшие зарубежные аналоги и хорошо себя зарекомендовавшей на полях России. В текущем номере редакция публикует два кратких комментария на эту статью.

В продолжение темы дискуссии представляем статью сотрудников кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А.Тимирязева», посвященную направлениям развития тракторов сельскохозяйственного назначения, и статью авторского коллектива из ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», ООО «Челябинский компрессорный завод» и ООО «Варнаагромаш» о ресурсосберегающем и импортозамещающем комплексе машин для возделывания сельскохозяйственных культур в различных типах хозяйств с учетом почвенно-климатических условий Южного Урала.

Редакция приглашает ученых, представителей министерств сельского хозяйства РФ и российских регионов, сельхозтоваропроизводителей, других заинтересованных лиц продолжить дискуссию по обозначенной проблеме.

Краткие сообщения с пометкой «Дискуссия» просьба направлять в адрес редакции: agronauka-esv@fanc-sv.ru.

Научные и обзорные статьи по вопросам дискуссии направляются через электронную редакцию на сайте журнала <https://www.agronauka-sv.ru/jour/about/submissions#online> Submissions и публикуются после рецензирования.

**РОССИЙСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА: КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ,
ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ / RUSSIAN AGRICULTURAL MACHINERY: COMPETITIVENESS,
GLIMPSE INTO THE FUTURE**

Комментарий

к статье Н. К. Мазитов, Р. Л. Сахапов, Ю. Х. Шогенов и др.

**«Конкурентоспособный комплекс техники и технологии для производства
зерна и кормов»** <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.3.299-308>

Н. В. Алдошин

*ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А.Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация*

Статья посвящена актуальной теме – вопросам разработки и внедрения новых отечественных технологий и средств механизации в растениеводстве. При этом можно отметить чувство патриотизма за наше сельскохозяйственное производство, которым пронизана статья.

Оценивая ситуацию в аграрном производстве, в статье отмечается, что оно критическое. Тем не менее, оценивая объемы производства зерна за последние годы, так критически наверное не следует оценивать положение нашего аграрного сектора.

Для оптимизации результатов исследований предлагается функция цели, описывающая такие параметры, как здравоохранение, природоохрану, агротехнику, эргономику, конструкцию, энергообеспечение, экономику и организацию. Непонятно, каким образом работает такая функция цели. При этом вводятся весовые коэффициенты отдельных показателей, что, безусловно, носит субъективный характер. Вызывает сомнение, что при их оценке, например, методом экспертных оценок может быть достигнуто согласование (коэффициент конкордации).

Утверждается, что отечественная техника в 2...5 раз превосходит лучшие зарубежные образцы. Совершенно непонятно, какая техника и по каким показателям сравнивается, как можно получить такие радикальные различия. В качестве сравниваемой, лишь один раз упоминается культиватор КПС-4. Но это наша, а не зарубежная машина. Сравнение идет с машиной совершенно другого типоразмера. При этом указываются опять же фантастические показатели: общая технологическая производительность (вообще непонятно, что это за показатель) в 10,8 раза выше; общее снижение расхода топлива в 9,2 раза.

В статье говорится о технологии и средствах механизации при возделывании зерновых культур и кормов. При этом рассматривается и предлагается в основном комплекс машин для обработки почвы. Это далеко не вся технология. Предлагается использование семян отечественной селекции, а нигде не говорится о каких сортах идет речь.

Сведения об авторе:

Алдошин Николай Васильевич, доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные машины», ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», д. 49, Тимирязевская ул., г. Москва, Российская Федерация, 127550, e-mail: cxm@rgau-msha.ru

**РОССИЙСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА: КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ,
ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ / RUSSIAN AGRICULTURAL MACHINERY: COMPETITIVENESS,
GLIMPSE INTO THE FUTURE**

Комментарий

к статье Н. К. Мазитов, Р. Л. Сахапов, Ю. Х. Шогенов и др.

**«Конкурентоспособный комплекс техники и технологии для производства
зерна и кормов»** <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.3.299-308>

З. А. Годжаев

*ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва,
Российская Федерация*

Уважаемые коллеги – авторы статьи «Конкурентоспособный комплекс техники и технологии для производства зерна и кормов» (журнал «Аграрная наука Евро-Северо-Востока», 2019; 20(3): 229-308)! Я внимательно изучил материалы Вашей статьи. Приятно видеть, что Ваши исследования направлены на разработку новой техники, отвечающей высоким техническим, экономическим и экологическим требованиям. Эти разработки особенно актуальны в условиях дефицита материально-технического обеспечения сельскохозяйственного производства. Стоит также отметить, что Ваши разработки направлены на создание инновационных машинных технологий для производства зерновых и кормовых культур, которые занимают основную долю в структуре посевных площадей сельскохозяйственных культур России.

Разработанная комплексная система показателей оценки различных технологий производства сельскохозяйственной продукции (по здравоохранению, природоохране, агротехнике и др.) заслуживает особого внимания и должна использоваться разработчиками сельхозтехники для ее оценки на этапах разработки и производства.

Однако имеются некоторые замечания и рекомендации:

- ограничение применения тракторов тягового класса 5 и других тракторов более высоких тяговых классов следовало бы научно обосновать, т. к. эффективность применения различных типов и тяговых классов тракторов в почвенно-климатических условиях России указаны в разных методических рекомендациях ВИМ. Мы считаем, что оптимальный сцепной вес трактора должен быть определен с учетом многих факторов, в т. ч. разработанными авторами показателей оценки технологий производства сельскохозяйственной продукции. Наиболее востребованным и обоснованным тяговым классом тракторов, используемых в основных технологических операциях, является тяговый класс в диапазоне 2-4 тонн. Чрезмерное увеличение массы тракторов – 15-20 тонн, например, разработки Джон Дир и других фирм – тракторов тягового класса 9-10, создают серьезные технологические, экологические и другие барьеры для их применения в сельском хозяйстве, несмотря на их высокую производительность и энергонасыщенность;

- основными уплотняющими и разрушающими почву факторами являются максимальное контактное давление и показатели буксования движителя, а не общий вес машинно-тракторного агрегата, в связи с этим считаю актуальной разработку новых всесезонных и экологически безопасных ходовых систем, не оказывающих вредного воздействия (переуплотнение и срыв) на почву и растительный покров, т. е. отвечающих нормативным требованиям по воздействию на почву;

- для создания более комфортных условий работы механизатора необходимо внедрять в конструкцию тракторов адаптивную систему поддрессирования с интеллектуальной системой регулирования жесткости натяжения гусеницы и давления в шинах;

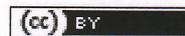
- формулировка показателей должна носить научный характер, а такие фразы как «Технологией и производством техники должны заниматься не терапевты и философы, а только агротехнологи» требуют корректировки.

Сведения об авторе:

Годжаев Захид Адыгезалович, чл.-корр. РАН, доктор техн. наук, профессор, зам. директора, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 1-й Институтский проезд, д. 5., г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru

РОССИЙСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА: КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ,
ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ / RUSSIAN AGRICULTURAL MACHINERY: COMPETITIVENESS,
GLIMPSE INTO THE FUTURE

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85>



УДК 631.371/372

Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра

© 2020. О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин ✉, Е. П. Парлюк

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Развитие конструкции трактора тесно переплетается с его технологическим совершенством, улучшением экологических характеристик, повышением потребительских качеств. Рассмотрение этого вопроса в историческом развитии показывает единство подходов различных разработчиков тракторов сельскохозяйственного назначения к конструкции трактора, обеспечивающей повышение производительности и снижение себестоимости работ в соответствии с выполнением требований по агрономии и улучшению экологических характеристик. Для тракторов первого поколения основными задачами были создание тягового усилия для выполнения сельскохозяйственных работ с максимальной производительностью и экономичностью их выполнения. Решение этих задач развивало теорию трактора, представление о качестве протекания процессов, позволяло оптимизировать конструкцию и выполнение работ. В результате конструкции тракторов разных производителей развивались по одинаковому направлению. На современных тракторах устанавливаются дизельные двигатели с турбонаддувом и электронным управлением, имеются системы снижения токсичности отработавших газов. Трансмиссия тракторов либо с роботизированной коробкой передач без разрыва потока мощности, либо бесступенчатая, что лучше позволяет оптимизировать режим работы. Если для тракторов малого тягового класса бесступенчатость обеспечивается механическим вариатором, то для остальных – гидромеханическими трансмиссиями с электронным управлением. По мере роста мощности электростанций и развития разветвленной энергосети из возобновляемых энергоресурсов станут востребованы электрические тракторы. На переходном этапе развития будут создаваться тракторы с гибридными энергетическими установками, имеющими преимущества по управляемости процессами в машине и орудии, способные обеспечивать электроэнергией сельскохозяйственные орудия как для рабочих процессов, так и с целью обеспечения их активного привода для создания тягового усилия.

Ключевые слова: совершенствование трактора, тенденции развития, применение электроэнергии, автоматизация управления

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дидманидзе О. Н., Девянин С. Н., Парлюк Е. П. Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(1):74-85. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85>

Поступила: 27.12.2019

Принята к публикации: 10.02.2020

Опубликована онлайн: 28.02.2020

Past, present, future of agricultural tractors

© 2020. Otar N. Didmanidze, Sergey N. Devyanin ✉, Yekaterina P. Parlyuk

Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russian Federation

The development of tractor design is closely related to its technological updating, improving environmental performance and increasing usability. Study of this problem in a historical context shows the unity in approaches of various agricultural tractor manufacturers to tractor design aimed at increased productivity and reduced operation costs in accordance with the requirements for agronomic and environmental performance. The main task of the first-generation tractors was to develop traction for agricultural work with maximum productivity and cost-effectiveness. Solution of these problems required further development of the tractor theory and the idea of the processes quality, and ensured the optimization of design and performance. As a result, the designs of tractors from different manufacturers developed in the same direction. Modern tractors are equipped with electronically controlled turbocharged diesel engines and have systems reducing toxicity of the exhaust gases. Power transmission of the tractors is implemented either with a robotic gearbox without interrupting the power flow, or in a continuously variable format, which ensures a more optimized operating mode. While for small-traction-class tractors stepless power transmission is provided with a mechanical variable speed gear, the rest of the tractors require electronically-controlled hydromechanical transmissions. As the capacity of power stations grows and an extensive power grid based on renewable energy resources is developed, the demand for electric tractors is to be increased. Tractors with hybrid power plants are likely to be produced at the transitional stage of development. They have the advantages of controlling processes in the machine and tools, the ability to provide agricultural implements with electric power for carrying out their work processes and ensuring their active drive to develop traction as well.

Key words: tractor improvement, development trends, use of electric power, control automation

Acknowledgements: the work was done without financial support within the framework of the initiative topics.

Conflict of interest: Authors declare no conflict of interest.

**ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ /
DISCUSSION PAPERS: PROBLEMATIC SCIENTIFIC ARTICLE**

For citation: Didmanidze O. N., Devyanin S. N., Parlyuk Ye. P. Past, present, future of agricultural tractors *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(1):74-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85>

Received: 27.12.2019

Accepted for publication: 10.02.2020

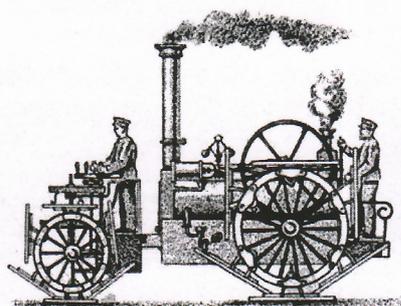
Published online: 28.02.2020

Производство сельскохозяйственной продукции без хороших машин не позволит эффективно решать продовольственные задачи. Основным источником получения продовольствия остается земледелие и основной машиной здесь является трактор. Чтобы понять каким он будет, нужно посмотреть по какому пути шло его развитие и почему. Какие задачи он решал, и будет решать, с какими современными технологиями и энергоресурсами ему работать в ближайшем будущем.

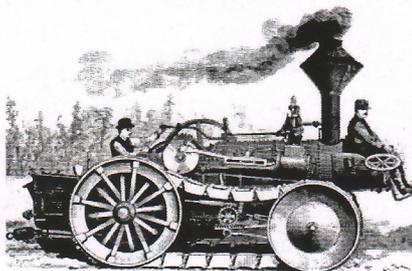
Цель работы – рассмотреть историю развития тракторов сельскохозяйственного назначения и современные направления их совершенствования.

Появление трактора было не случайным событием. Тяжелый труд земледельца требовал привлечения продуктов промышленной

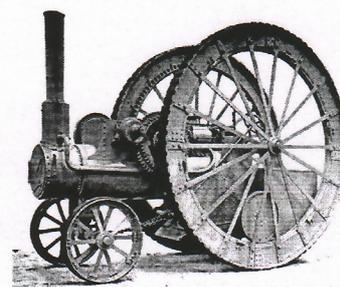
технологии, позволяющей повысить производительность труда, продуктивность производства сельскохозяйственной продукции. Появление теплового двигателя, сначала парового, а затем двигателя внутреннего сгорания было использовано на самоходной технике, в том числе и сельскохозяйственной. Преимущество тракторов перед гужевой тяговой силой сразу же было оценено в сельскохозяйственном производстве, и численность тракторов стремительно росла, вытесняя применение живого труда. Машины создавались для решения тяговых задач в рамках тех знаний, которые имелись на то время. Некоторые из этих машин представлены на рисунке 1¹, 2². Различие внешнего облика таких машин подтверждает отсутствие единства теоретического подхода к их созданию.



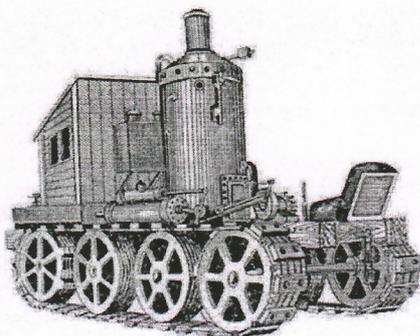
Трактор Бойделя, 1858 г. /
Boydell tractor, 1858



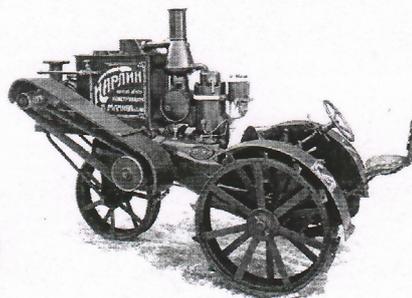
Трактор Пейджа, 1884 г. /
Page tractor, 1884



Трактор фирмы "Фаулер", 1887 г. /
Fowler Company tractor, 1887



Трактор Блинова, 1888 г. /
Blinov tractor, 1888



Трактор Мамина, 1910 г. /
Mamin tractor, 1910



Трактор СХТЗ 15/30, 1930 г. /
Tractor SKHTZ 15/30, 1930

*Рис. 1. Первые тракторы /
Fig. 1. The pioneer tractors*

¹Добровольский В. А. Современные паровые автомобили и тракторы. Харьков: ДНТВУ, 1936 г. С. 11-16.

²Коробов В. А. Тракторы, автомобили и сельскохозяйственные двигатели: Учебник. М.: ГИ Сельскохозяйственной литературы, 1950. С. 3-16.

Появление во второй половине 19-го века двигателя внутреннего сгорания, имеющего почти в 2 раза лучшую экономичность работы и меньшую удельную массу, дало существенный толчок в развитии транспортных и тяговых машин, производстве для них топлива из нефти. Эти двигатели быстро вытеснили паровые из машин автотракторного назначения и позволили создавать компактную мобильную технику, в том числе и для сельского хозяйства.

Производство тракторов в России началось после революции 1917 года. Это были колесные тракторы Я. В. Мамина небольшой мощности «Гном», «Запорожец» и «Карлик» и гусеничный – «Коммунар», выпускавшийся Харьковским паровозостроительным заводом. Трактор «Карлик» имел одноцилиндровый двигатель мощностью 12 л. с., работающий на сырой нефти, массу 1200 кг, скорость до 3,8 км/ч и тяговую мощность – 6 л. с. Колесных тракторов Я. В. Мамина было выпущено немногим более 500 шт.³

Гусеничный трактор «Коммунар» имел массу 8500 кг и мощность двигателя 50 л. с., работающего на керосине. Скорость движения трактора составляла 1,8-7,0 км/ч. Было произведено около 2000 шт. Выпускались модификации трактора большей мощности и со скоростью движения до 15 км/ч для решения трелевочных задач на лесоразработках.

Первый трактор массового производства в СССР – СХТЗ 15/30 начал выпускаться с 1930 г. Это был колесный трактор с задним ведущим мостом и жесткими колесами, который имел четырехтактный 4-цилиндровый двигатель мощностью 30 л. с., работающий на керосине. Имел трехступенчатую коробку передач и развивал скорость в диапазоне от 3,5 до 7,4 км/ч, создавал максимальную тяговую мощность до 15 л. с. при массе трактора 3011 кг. Этих тракторов было выпущено почти 400 тыс. штук.

В 1937 г. заводы перешли на выпуск тракторов с гусеничным движителем СХТЗ-НАТИ (СТЗ-3), которые выпускались до 1952 г. Трактор имел примерно такие же рабочие скорости, а мощность двигателя была увеличена до 52 л. с. и масса – до 5100 кг. Крюковая мощность возросла до 31 л. с. Трактор создавался на основе уже созданной теории работы и конструирования трактора. В сравнении с предыдущей моделью СХТЗ 15/30 у этого

трактора более чем в 2 раза большая производительность и на 5% меньше погектарный расход топлива. Трактор имел полуоткрытую кабину, что улучшало условия работы тракториста. СТЗ-3 явился прототипом широко известного трактора ДТ-54, которых было выпущено почти 1 млн штук.

Основную задачу, которую решали эти тракторы – это создание тягового усилия для выполнения сельскохозяйственных работ с максимальной производительностью и экономичностью их выполнения. Создание таких машин требовало понимания происходящих в машине процессов, ее взаимодействия с агрегируемыми машинами, опорной поверхностью, окружающей средой. Решение этих задач развивало теорию трактора, представление о качестве протекания процессов, позволяло оптимизировать конструкцию и выполнение работ.

Разработка конструкции сельскохозяйственного трактора велась в направлении повышения производительности и снижения себестоимости работ в соответствии с выполнением требований по агрономии, которые также менялись по мере ее развития. К настоящему времени эти требования определяются показателями, которые можно свести к четырем основным группам:

- производительности;
- агротехнические;
- экономические;
- экологические.

Разделение на группы позволяет оценить, с одной стороны, эффективность работы трактора в эксплуатации, и с другой – создавать машину, отвечающую уровню существующих требований. Некоторые показатели, которые выражают комплексную оценку или оказывают влияние на показатели разных групп, могут быть отнесены как к одной, так и к другой группе. Например, показатели, характеризующие надежность работы трактора, оказывают влияние на его производительность в процессе эксплуатации, экономические затраты, экологическую безопасность и др.

Показатели производительности трактора, в первую очередь, определяются мощностью двигателя, реализуемой в выполняемой работе. Для трактора, выполняющего тяговые задачи, в качестве такого показателя принято рассматривать крюковую мощность.

³Там же. С. 3-16.

Поэтому трактор, имеющий большую крюковую мощность, при прочих равных условиях будет иметь больше и производительность. Стремление повысить производительность машинотракторного агрегата (МТА) требовало увеличение мощности двигателя трактора, которое ограничивалось сцепными качествами машины с опорной поверхностью.

Увеличение сцепных качеств движителя для повышения тягового усилия остается актуальным и в настоящее время. Лучшими сцепными характеристиками обладает гусеничный движитель, однако сложность конструкции и обслуживания, высокая стоимость и материалоемкость по сравнению с колесным движителем ограничивают его широкое использование на сельскохозяйственных тракторах, особенно в последнее время. Невысокая покупательная способность сельхозпроизводителя, и, как результат, подавляющее большинство колесных тракторов на рынке, привело к тому, что на полях России уже редко встречается трактор с гусеничным движителем, несмотря на преимущества такого трактора для сельскохозяйственного производства, связанные с возможностью расширения сроков полевых работ и меньшим уплотнением почвы.

В тракторах с колесным движителем привод на передний и задний мосты позволил лучше использовать вес трактора и поднять его производительность при увеличении мощности двигателя. Другой прием повышения сцепных свойств трактора – увеличение его веса за счет балластирования навешиваемыми грузами, вес которых у современных энергонасыщенных тракторов может достигать более половины веса трактора. Для обеспечения требований по уплотнению почвы увеличивается площадь контакта движителя спариванием (до трех в блоке) ведущих колес.

Кроме того в 80-х годах прошлого века был разработан способ увеличения тяговых свойств применением дополнительного транспортно-технологического модуля для модульного энергетического средства. Этот вопрос подробно рассмотрен в работе Г. М. Кутькова [1]. Возможность распределения тягового усилия созданием активных движителей по агрегатам МТА и сейчас рассматривается конструкторами машин как возможное решение повышения эффективности работы.

Агротехнические показатели трактора определяются с целью снижения потерь при производстве сельскохозяйственной продукции

и связаны как с производимой культурой, так и существующими технологиями их возделывания. Вряд ли следует ожидать значительного изменения этих показателей для универсально-пропашных тракторов. Однако повышение маневренности и управляемости трактора остается актуальной задачей, также как и обеспечение максимальных рабочих скоростей до 15 км/ч и транспортных до 40 км/ч с характеристиками трактора, близкими к оптимальным [2].

Появление новой техники и ее конкурентоспособность с существующей во многом определяются ее экономическими показателями. Поэтому перспективная техника должна иметь преимущества по эксплуатационному расходу топлива, снижению затрат на ее эксплуатацию, уменьшению времени на восстановление работоспособного состояния и вероятности выхода из строя. Повышение ее стоимости по мере роста технического уровня должно окупаться появляющимися новыми конструкторско-технологическими решениями и возможностями трактора или МТА.

Вопрос обеспечения экологических показателей сельскохозяйственной техники более сложный, и обоснование этих требований нуждается в отдельном рассмотрении вне данной статьи. Обеспечение экологических требований к технике, в том числе и к сельскохозяйственной, должны быть научно обоснованы, так как это увеличивает стоимость техники и не всегда может приводить к повышению эффективности ее использования. Если касаться вопросов уплотнения почвы при работе трактора, то обоснованию граничного уровня посвящено достаточно много исследований [3, 4, 5 и др.], и требования по этому показателю регламентируются ГОСТ 26955-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву». Требованиям по шуму и вибрациям на рабочем месте тракториста также уделялось много внимания и посвящено много научных работ [6, 7 и др.], основные результаты этих исследований легли в основу комплекса государственных стандартов, устанавливающих предельные нормы и методы их контроля.

Экологическое загрязнение окружающей среды сельскохозяйственной техникой с двигателем внутреннего сгорания ограничивается стандартами: в США – нормы Tier, в странах ЕС – нормы Stage, в России – нормы по ГОСТ Р 41.96-2011 (Правила ЕЭК ООН N 96), которые эквивалентны нормам StageIII. Принятие

государством очередных норм запрещает на законодательном уровне производство и закупку новой техники, не соответствующей этим нормам. Например, в Приказе № 1810 министра промышленности и торговли РФ от 22.12.2011 г. по стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России с 2020 г. запланирован переход на оснащение самоходной техники двигателями, соответствующих нормам Tier IV, т. е. импортного производства с системами нейтрализации отработавших газов (ОГ), что значительно повышает цены на эту технику. Существенно больший вред окружающей среде и производимой продукции наносит необоснованное применение минеральных удобрений и пестицидов.

В процессе развития тракторостроения внешний облик тракторов сельскохозяйственного назначения имеет вид, представленный

на рисунке 2. Сходство внешнего вида тракторов разной мощности, кроме трактора малого тягового класса, подтверждается оптимизацией конструктивного решения машины для выполнения сельскохозяйственных работ. На тракторах устанавливаются дизельные двигатели с турбонаддувом и электронным управлением, имеются системы снижения токсичности отработавших газов. Мощность установленного двигателя обеспечивает энергонасыщенность более 2 кВт/кН. Трансмиссия тракторов либо с роботизированной коробкой передач без разрыва потока мощности, либо бесступенчатая, что лучше позволяет оптимизировать режим работы. Если для тракторов малого тягового класса бесступенчатость обеспечивается механическим вариатором, то для остальных – гидромеханические трансмиссии с электронным управлением⁴.

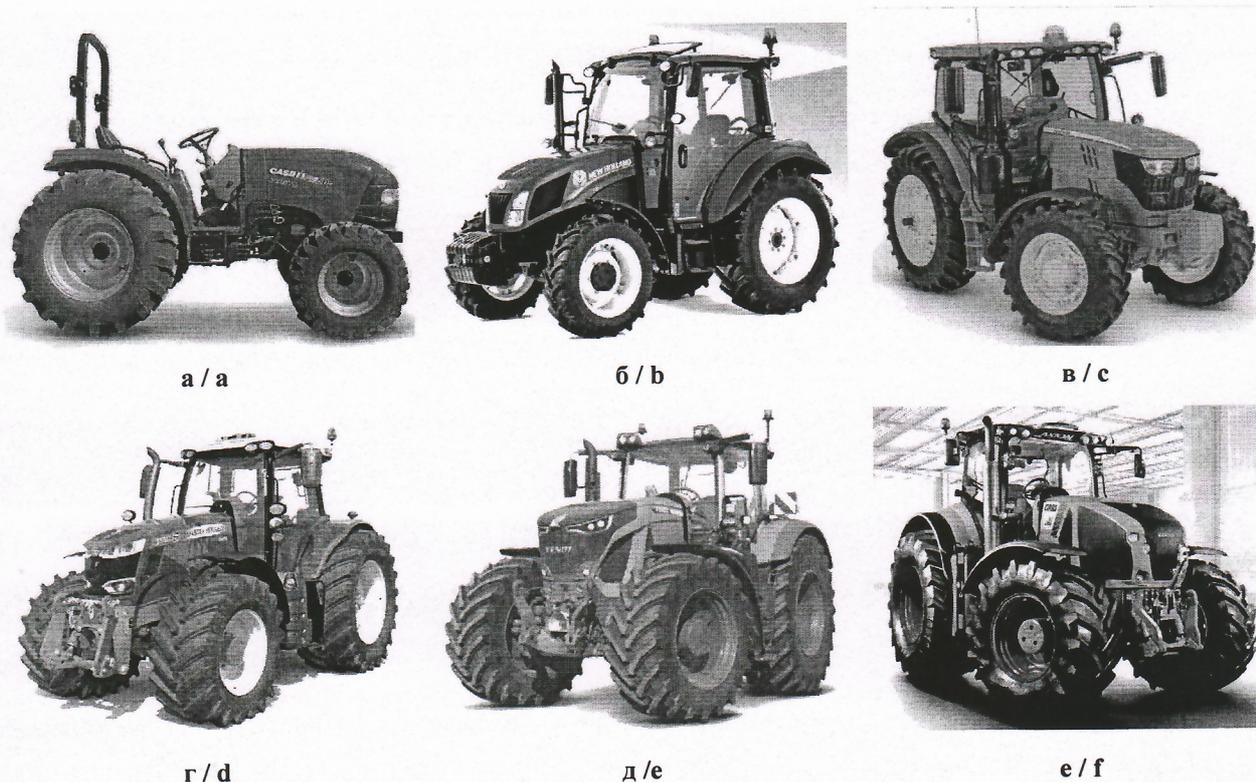


Рис. 2. Современные образцы колесных тракторов разного тягового класса некоторых ведущих производителей разной мощности: а – 50 л. с.; б – 75 л. с.; в – 150 л. с.; г – 250 л. с.; д – 350 л. с.; е – 450 л. с. /

Fig. 2. Modern models of wheeled tractors of different traction and power class from some leading manufacturers: a – 50 hp; b – 75 hp; c – 150 hp; d – 250 hp; e – 350 hp; f – 450 hp

⁴Тракторы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.deere.ca/en/agriculture/>; <https://www.fendt.com/us/tractors>; <https://www.claas.de/produkte/traktoren>; <https://agriculture.newholland.com/apac/ru-ru>; <http://www.challenger-ag.com/EMEA/RU/products/tractors/22.htm>; <https://www.caseih.com/apac/ru-ru/products/tractors>; <https://www.kubota.com/products/tractor/index.html>; <https://www.deutz-fahr.com/ru-ru/products/tractors>; <http://int.masseyferguson.com/>; <http://www.belarus-tractor.com/catalog/tractors/>

Все тракторы имеют возможность балластирования. Ходовая часть тракторов имеет упругую подвеску, малую базу, оба ведущих моста, кабины имеют хорошую обзорность, комфортабельное рабочее место, систему кондиционирования и вентиляции, шумо- и термоизоляции. Рабочее место оснащено универсальным терминалом, контролирующим состояние трактора и режимы его работы, выводящего рекомендации водителю по улучшению режима работы машины и ее управления.

Тракторы могут оснащаться системами от управления курсовым движением до беспилотного автоматического управления. Имеется возможность работы в системе информационного согласования трактора с сельскохозяйственной машиной (орудием). Работа тракторов с навигационным оборудованием позволяет использовать технологии точного земледелия и участвовать в системе «Интеллектуальное сельское хозяйство».

Развитие технического решения резиноармированной гусеницы дало новый толчок в разработке тракторов с гусеничным двигателем, имеющим важные для сельского хозяйства преимущества перед колесными тракторами⁵:

– хорошие сцепные качества для создания тягового усилия без существенного повреждения почвы;

– невысокое давление на почву, что позволяет в ранние сроки весной начинать полевые работы при большей влажности почвы и позже их заканчивать осенью.

Исключение жесткого звена из рабочей части гусеницы позволило гусеничной технике свободнее перемещаться по территории с разветвленной сетью дорог с твердым покрытием, что по мере развития транспортных дорог существенно усложняет процесс доставки на поля техники с металлическими гусеницами. Применение резиноармированной гусеницы упрощает процесс переезда гусеничной техники с одного поля на другое, что сокращает время выполнения вспомогательных операций, увеличивая производительность полевых работ. Скорость движения в транспортном режиме может быть повышена до 40...50 км/ч. Снижаются шум и вибрация при движении машины.

Производители сельскохозяйственной техники быстро оценили эти преимущества, и на рынке стали предлагаться тракторы, некоторые образцы которых показаны на рисунке 3. Эти тракторы так же, как и колесные, оснащаются современными дизельными двигателями с электронным управлением, системами снижения токсичности отработавших газов, имеют бесступенчатые трансмиссии, системы управления и контроля состояния трактора, режима его работы, комфортабельное рабочее место и т. д.

Конец 19-го и начало 20-го века были временем освоения электроэнергии для решения энергетических задач в промышленных процессах, в том числе и для получения механической энергии. Преимущества электрических двигателей позволили им вытеснить тепловые из разных отраслей. В первую очередь это касалось производств со стационарными двигателями. Применение на транспорте происходило по мере развития линий электропередач и по мере развития разветвленных сетей и мощностей по производству электроэнергии.

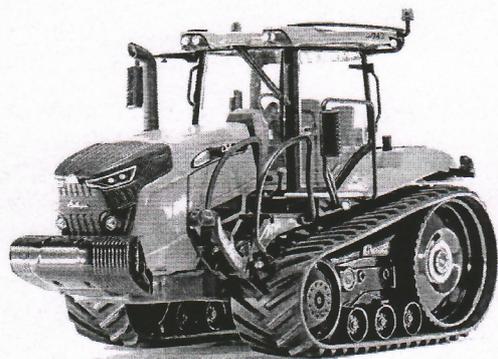
Несмотря на то, что мобильный транспорт с электродвигателем появился раньше, чем с двигателем внутреннего сгорания, конкурировать ему было сложно и, в первую очередь, из-за отсутствия энергоемкого накопителя электроэнергии. Поэтому первые транспортные машины с электроприводом нашли свое применение в городе и на железной дороге. Сельское хозяйство не оставалось в стороне, и электродвигатели здесь также находили широкое применение, в первую очередь, на стационарных установках, вытесняя тепловые машины по мере развития сети электростанций и электрообеспечения территорий.

Если применение электроэнергии в большинстве процессов сельскохозяйственного производства активно внедрялось, то использование ее в таком энергоемком процессе, как обработка почвы оказалось не таким простым. Первые попытки использования электропривода на тракторе в СССР относятся к 30-ым годам прошлого века, которые явились результатом успешного испытания электропуга в 1921 году. В конце 30-х годов проходили опытную эксплуатацию тракторы ВИМЭ-2 и ВИМЭ-4, разработанные во ВИСХ.

⁵Тракторы. Конструкция: учебник для студентов вузов. И.П. Ксиневич [и др.]. М.: МГТУ «МАМИ», 2001. С. 676-677.

Эти работы были продолжены после войны в конце 40-х годов созданием и испытанием тракторов серии ЭТ⁶, образцы которых показаны на рисунке 4⁷. Несмотря на то, что работы по электротрактору были прекращены, был получен хороший опыт применения электроэнергии в качестве движущей силы на тракторах. Основным недостатком при испытании этих тракторов была необходимость

подвода электроэнергии к трактору и высокоэнергетическое обеспечение каждого поля. Затраты на обработку одного гектара поля у электротрактора превышали в 2-3 раза по сравнению с тракторами, имеющими ДВС в качестве силового агрегата. Вместе с тем, отмечались и такие положительные свойства этих тракторов, как высокие тяговые качества, простота пуска и обслуживания.



а / а



б / б



в / с



г / д



д / е



е / ф

Рис. 3. Образцы современных тракторов с резиноармированной гусеницей некоторых ведущих производителей: а, б, в – двухгусеничная ходовая система; г – комбинированная система, д, е – четырехгусеничная система /

Fig. 3. Samples of modern tractors with a rubber-reinforced tracks from leading manufacturers: а, b, c – two-track chassis system; d – combined system; e, f – four-track system

⁶Жирнов Е. Электрический трактор открывает новую эру. Газета «Коммерсантъ». 2019. 1 июня.

⁷Тракторы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.deere.ca/en/agriculture/>; <https://www.claas.de/produkte/traktoren/>; <https://agriculture.newholland.com/apac/ru-ru>; ag.com/EMEA/RU/products/tractors/22.htm; <https://www.caseih.com/apac/ru-ru/products/tractors/>; <http://www.belarus-tractor.com/catalog/tractors/>

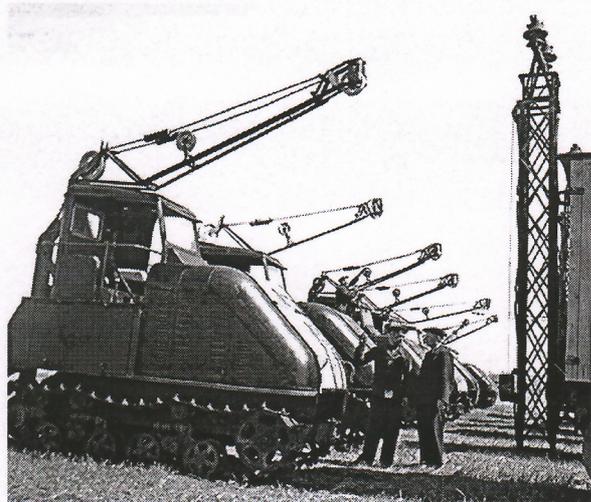


Рис. 4. Электрические тракторы в СССР⁸ /
Fig. 4. Electric tractors in the USSR

В 21-м веке производители техники вновь вернулись к электротяге в сельскохозяйственных тракторах. Этому способствовало развитие электронных систем управления процессами в машине, разработки в создании энергоёмких аккумуляторных батарей для портативных электронных устройств массового производства, ужесточающиеся экологические требования к силовым установкам.

Образцы таких тракторов периодически появляются на выставках сельскохозяйственной техники и вызывают повышенный интерес у посетителей. Среди причин перехода на электрический силовой привод тракторов можно назвать следующие:

- обеспечение экологических требований к силовым агрегатам на длительную перспективу;
- активное развитие электрического автомобильного транспорта и доказанные преимущества его использования;
- появление на рынке накопителей электроэнергии с высокими удельными показателями по доступным ценам;
- доступные цены на электрические узлы и электронные системы;
- интенсивное развитие электростанций на возобновляемых ресурсах, которые обеспечивают широкое покрытие территорий и могут быть использованы для энергообеспечения сельскохозяйственной техники;
- широкое внедрение электронных систем в управление и оптимизацию процессов, диагностику и защиту систем;

– появление электродвигателей с высокими удельными энергетическими характеристиками и КПД, способными работать в широком диапазоне частот вращения;

– получение техники с новыми техническими характеристиками.

Образцы электротракторов различных силовых схем, представляемые производителями на выставках (рис. 5), создавались на базе техники, которая использовала ДВС в качестве источника механической энергии, поэтому внешний их облик мало чем отличается от тракторов, показанных на рисунке 2.

Тракторы «Беларус-3023» фирмы МТЗ (рис. 5, а) и «Multi Tool Trac» голландской компании «Voessenkool» (рис. 5, б) выполнены по гибридной схеме силовой установки, в которой дизельный двигатель приводит электрический генератор, обеспечивающий электроэнергией силовые электродвигатели ведущих мостов. Трактор «Беларус-3023» имеет силовой электродвигатель мощностью 170 кВт, бесступенчатую электрическую трансмиссию. Трактор «Multi Tool Trac» имеет четыре электродвигателя общей мощностью 170 кВт. Использование гибридной силовой установки на этих тракторах позволяет иметь автономность работы в течение рабочей смены без дополнительной заправки. Работа дизельного двигателя в режиме, близком к оптимальному позволяет обеспечить меньший расход топлива при выполнении работ до 30% [8].

Фирмы JohnDeere (рис. 5, в, трактор JD 6R SESAM с мощностью двух электродвигателей 260 кВт), Fendt (рис. 5, г, трактор 100 Vario с мощностью электродвигателя 50 кВт), Sepp Knüsel (рис. 5, д, трактор SKE 50 с мощностью электродвигателя 50 кВт) и ХТЗ (рис. 5, е, трактор ХТЗ Edison с мощностью электродвигателя 24 кВт) разработали тракторы с питанием от аккумуляторных батарей [9].

Время работы тракторов в автономном режиме составляет от 3 до 5 часов. Тракторы имеют бесступенчатую электрическую трансмиссию, что позволяет оптимизировать режим работы электродвигателей как по производительности работы трактора, так и по экономии расхода электроэнергии аккумуляторных батарей. Максимально возможная электрическая мощность аккумуляторных батарей превышает номинальную мощность силовых электродвигателей в 1,5-3 раза. Много внимания уделяется сокращению времени заряда аккумуляторных батарей.

⁸Электрический трактор открывает новую эру. Газета «Коммерсантъ». 2019. 1 июня.



а / а



б / б



в / с



г / д



д / е



е / ф

Рис. 5. Образцы современных тракторов с электрической трансмиссией и разными силовыми схемами: а, б – гибридная силовая установка; в, г, д, е – электродвигатель с блоком аккумуляторов /

Fig. 5. Samples of modern tractors with electric power transmission and different power schemes: а, b – hybrid power plant; с, d, e, f – electric motor with a battery pack

В 2019 году фирма John Deere на слёте дилеров в Валенсии представила новую концепцию электрического трактора в беспилотном исполнении с питанием силовых двигателей по электрическому кабелю. Работа с кабе-

лем обеспечивается манипулятором в автоматическом режиме (рис. 6). Электрическая связь с внешним источником питания обеспечивает непрерывную работу трактора, как и первых образцов, описанных ранее (рис. 4).



Рис. 6. Новая концепция фирмы JohnDeere⁹ /
Fig. 6. New John Deere concept

Несмотря на экологическую чистоту электрических тракторов, остается нерешенным вопрос экологически чистого и ресурсосберегающего процесса получения электроэнергии. Основная доля в получении электроэнергии остается за тепловыми электростанциями, которым требуется в 2-3 раза больший расход ископаемых энергоресурсов для получения такой же работы электрических тракторов по сравнению с дизельными тракторами. Эта проблема может быть решена при подавляющем большинстве электростанций на возобновляемой энергетике или появлении недорогих топливных элементов.

Заключение. Подводя итог краткого рассмотрения развития тракторов сельскохозяйственного назначения, можно сказать, что в ближайшее время производители пойдут по пути создания тракторов с ДВС, имеющих мощность, превышающую не менее чем в 2 раза требуемую для тяговых задач в базовой комплектации. Тракторы будут с бесступенчатой трансмиссией, позволяющей оптимизировать режим работы трактора и двигателя. Эти задачи уже

сейчас решаются электронной системой управления, которая согласована с рабочим орудием и с навигационным оборудованием, способна использовать технологии точного земледелия и участвовать в системе «Интеллектуальное сельское хозяйство».

Востребованными останутся как тракторы с колесным, так и гусеничным движителем. Изменение гусеничного движителя для сельскохозяйственных тракторов пойдет в направлении создания резиноармированной гусеницы или ее аналога с целью снижения стоимости и повышения ресурса.

По мере развития разветвленной сети электростанций из возобновляемых энергоресурсов (солнечные, ветряные, гидравлические, тепловые и т. п.) станут востребованы электрические тракторы. На переходном этапе развития будут создаваться тракторы с гибридными энергетическими установками, имеющими преимущества по управляемости процессами в машине и орудии, способностью обеспечивать электроэнергией сельскохозяйственные орудия как для их рабочих процессов, так и с целью обеспечения их активного привода для создания тягового усилия.

Несмотря на разработки новых технологических процессов производства продуктов питания для населения планеты, земледелие еще долго останется основным процессом производства продовольствия, и машины для обработки почвы будут востребованы. Основную долю среди них составят те, которые обеспечат наибольшую производительность работ и продуктивность производства продовольствия без нанесения ущерба окружающей среде, обеспечивая высокую экономическую эффективность.

Список литературы

1. Кутьков Г. М. Развитие технической концепции трактора. Тракторы и сельхозмашины. 2019;(1):27-35. DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-1-27-35>
2. Технические и технологические требования к перспективной сельскохозяйственной технике: научное издание. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. 248 с.
3. Левшин А. Г., Ерохин М. Н. Научно-методические основы формирования нормированной шкалы твердости почвы. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина". 2017;(6 (82)):28-34. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30727976>

⁹Agroexpert [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://agroexpert.md/rus/selihoztehnika/john-deerepredstavlyaet-avtonomnyu-elektricheskiy-tractor> (Дата обращения 05.02.2020)

4. Поливаев О. И., Костиков О. М., Ведринский О. С. Показатели воздействия шин мобильных энергетических средств на почву. Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК: мат-лы национальной научно-практической конференции Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра. Воронеж: Воронежский ГАУ имени Императора Петра I, 2019. С. 19-23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37659415>

5. Шило И. Н., Романюк Н. Н., Орда А. Н., Нукешев С. О., Кушнир В. Г. Влияние многоосной ходовой системы машинно-тракторных агрегатов на плотность почвы. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018;12(1):31-36. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-1-31-36>

6. Костюков О. В., Лощенко А. В., Поливаев О. И. Снижение воздействия транспортных вибраций на механизатора. Молодежный вектор развития аграрной науки: мат-лы 70-й научной студенческой конф. Воронеж: Воронежский ГАУ имени Императора Петра I, 2019. С. 486-489.

7. Широков Ю. А., Смирнов Г. Н. Организация рабочего места и трудового процесса тракториста-машиниста в современных мобильных машинах для сельского хозяйства. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина". 2019;(6 (94)):28-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41565003>

8. Ерохин М. Н., Дидманидзе О. Н., Иванов С. А., Иволгин В. С., Хлебанцев А. В. Использование комбинированной энергоустановки с накопителем энергии на тракторе. Труды НАМИ. 2009;(241):119-122. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13215590>

9. Дидманидзе О. Н., Гузалов А. С. Перспектива создания электрического трактора. Доклады ТСХА: сб. статей. Вып. 291. Ч. II. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2019. С. 3-6. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37283417>

References

1. Kut'kov G. M. *Razvitie tekhnicheskoy kontseptsii traktora*. [Development of the technical concept of a tractor]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2019;(1):27-35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-1-27-35>

2. *Tekhnicheskie i tekhnologicheskie trebovaniya k perspektivnoy sel'skokhozyaystvennoy tekhnike: nauchnoe izdanie*. [Technical and technological requirements for promising agricultural machinery: scientific publication]. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh», 2011. 248 p.

3. Levshin A. G., Erokhin M. N. *Nauchno-metodicheskie osnovy formirovaniya normirovannoy shkaly tverdosti pochvy*. [Scientific and methodological foundations of the formation of a normalized scale of soil hardness]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina"* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin". 2017;(6 (82)):28-34. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30727976>

4. Polivaev O. I., Kostikov O. M., Vedrinskiy O. S. *Pokazateli vozdeystviya shin mobil'nykh energeticheskikh sredstv na pochvu*. [Indicators of the impact of tires of mobile power machines on the soil]. *Novye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya effektivnogo razvitiya APK: mat-ly natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta imeni imperatora Petra*. [New technologies and technical means for the effective development of the agricultural sector: Proceedings of the National scientific and practical Conference of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter]. Voronezh: *Voronezhskiy GAU imeni Imperatora Petra I*, 2019. pp. 19-23. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37659415>

5. Shilo I. N., Romanyuk N. N., Orda A. N., Nukeshev S. O., Kushnir V. G. *Vliyaniye mnogoosnoy khodovoy sistemy mashinno-traktornykh agregatov na plotnost' pochvy*. [The influence of the multiaxial running system of machine and tractor units on the density of the soil]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*. 2018;12(1):31-36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-1-31-36>

6. Kostyukov O. V., Loshchenko A. V., Polivaev O. I. *Snizhenie vozdeystviya transportnykh vibratsiy na mekhanizatora*. [Reducing the impact of transport vibrations on the machine operator]. *Molodezhnyy vektor razvitiya agrarnoy nauki: mat-ly 70-y nauchnoy studencheskoy konf.* [Youth vector for the development of agricultural science: Proceedings of the 70th scientific student conference]. Voronezh: *Voronezhskiy GAU imeni Imperatora Petra I*, 2019. pp. 486-489.

7. Shirokov Yu. A., Smirnov G. N. *Organizatsiya rabochego mesta i trudovogo protsessa traktorista-mashinista v sovremennykh mobil'nykh mashinakh dlya sel'skogo khozyaystva*. [Organization of the workplace and the labor process of a tractor driver in modern mobile machines for agriculture]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina"* = Vestnik of Federal State Educational

Establishment of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin". 2019;(6 (94)):28-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41565003>

8. Erokhin M. N., Didmanidze O. N., Ivanov S. A., Ivolgin B. C., Khlebantsev A. V. *Ispol'zovanie kombinirovannoy energoustanovki s nakopitelem energii na traktore*. [Using a combined power plant with energy storage on the tractor]. *Trudy NAMI*. 2009;(241):119-122. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13215590>

9. Didmanidze O. N., Guzalov A. S. *Perspektiva sozdaniya elektricheskogo traktora*. [Prospects of the electric tractor development]. *Doklady TSKhA: sb. statey*. Iss. 291. Part. II. Moscow: *Izd-vo RGAU-MSKhA*, 2019. pp. 3-6. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37283417>

Сведения об авторах

Дидманидзе Отари Назирович, академик РАН, и.о. заведующего кафедрой тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», д. 49, Тимирязевская ул., г. Москва, Российская Федерация, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2558-0585>, e-mail: Didmanidze@rgau-msha.ru

✉ **Девянин Сергей Николаевич**, доктор техн. наук, профессор кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», д. 49, Тимирязевская ул., г. Москва, Российская Федерация, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6776-0432>, e-mail: devta@rambler.ru

Парлюк Екатерина Петровна, кандидат экон. наук, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», д. 49, Тимирязевская ул., г. Москва, Российская Федерация, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0691-3487>, e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru

Information about the authors

Otari N. Didmanidze, academician of the Russian Academy of Sciences, Acting Head of the Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University, 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, Russian Federation, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2558-0585>,
e-mail: Didmanidze@rgau-msha.ru

✉ **Sergey N. Devyanin**, DSc in Engineering, professor, Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University, 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, Russian Federation, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6776-0432>, e-mail: devta@rambler.ru

Yekaterina P. Parlyuk, PhD in Economics, associate professor, Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University, 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, Russian Federation, 127550, e-mail: info@rgau-msha.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0691-3487>, e-mail: kparlyuk@rgau-msha.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

РОССИЙСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА: КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ,
ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ / RUSSIAN AGRICULTURAL MACHINERY: COMPETITIVENESS,
GLIMPSE INTO THE FUTURE

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.20120.21.1.86-96>



УДК 631.31

**Разработка технологии и изготовление импортозамещающего
комплекса машин для возделывания сельскохозяйственных
культур**

© 2020. Р. С. Рахимов¹, И. Р. Рахимов¹, Д. А. Ялалетдинов², Е. О. Фетисов¹ ✉,
Я. Ю. Хамитов², Р. М. Юмагузин², А. Р. Рахимжанов¹, С. В. Анохин³

¹ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»,
г. Троицк, Челябинская область, Российская Федерация,

²ООО «Челябинский компрессорный завод», г. Челябинск, Российская Федерация,

³ООО «Варнаагромаш», с. Варна, Челябинская область, Российская Федерация

Разнообразие рельефа, климата, растительного и почвенного покрова Южного Урала определяет выбор технологии и комплекса машин для возделывания сельскохозяйственных культур в соответствии с условиями зоны и хозяйства. Анализ существующих технологий возделывания сельскохозяйственных культур выявил необходимость их совершенствования. Для обеспечения возможности изменения способов обработки почвы и посева в зависимости от почвенно-климатических условий, возделываемой культуры и места культуры в севообороте предлагается универсальная технология, которая предусматривает создание условий для роста и развития растений на основе накопления и экономного использования влаги с применением соответствующих к условиям зоны рабочих органов и комплекса почвообрабатывающих и посевных машин. Обоснованы типы рабочих органов для выполнения основной, дополнительной и предпосевной обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур различными способами. Установлена степень универсализации комбинированных машин для хозяйств с различной площадью пашни. Для малых хозяйств с площадью пашни до 1200 га достаточно одной универсальной машины для выполнения основной, дополнительной и предпосевной обработок почвы и посева со сменными рабочими органами или модулями. Для средних хозяйств с площадью пашни до 10 тыс. гектаров необходимы отдельные универсальные машины со сменными рабочими органами для основной обработки почвы, со сменными модулями – для дополнительной обработки почвы, а для предпосевной обработки почвы и посева – почвообрабатывающие посевные машины со сменными модулями с различными типами рабочих органов. Для крупных хозяйств с площадью пашни более 10 тыс. гектаров необходимы однооперационные комбинированные машины. С учетом ранее проведенных исследований, используя полученные математические модели и агротехнические требования к созданию новых машин, проведены расчеты и обоснованы конструктивные параметры комплекса машин для тракторов класса тяги 1.4...5, выполненные с различной степенью универсализации и изготовленные на заводах ООО «Челябинский компрессорный завод» и ООО «Варнаагромаш». Разработанный и выпускаемый на этих заводах комплекс машин для возделывания сельскохозяйственных культур для различных типов хозяйств позволяет выполнить все элементы предложенной технологии, принятой в зоне, в соответствии с агротехническими требованиями и почвенно-климатическими условиями.

Ключевые слова: почвенно-климатические условия, способы обработки почвы, посев, рабочие органы, конструктивная схема, металлоемкость, тяговое сопротивление, производительность

Благодарности: исследования проведены по программе НИР ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ», разработка машин по программе работы ООО «Челябинский компрессорный завод» и ООО «Варнаагромаш».

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Рахимов Р. С., Рахимов И. Р., Ялалетдинов Д. А., Фетисов Е. О., Хамитов Я. Ю., Юмагузин Р. М., Рахимжанов А. Р., Анохин С. В. Разработка технологии и изготовление импортозамещающего комплекса машин для возделывания сельскохозяйственных культур. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;21(1):86-96. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.21.1.86-96>

Поступила: 06.12.2019

Принята к публикации: 04.02.2020

Опубликована онлайн: 28.02.2020

Development of technology and manufacturing of an import-substituting complex of machines for cultivating crops

© 2020. Rais S. Rakhimov¹, Ildar R. Rakhimov¹, Denis A. Yalaletdinov², Evgeny O. Fetisov¹✉, Yanis Yu. Khamitov², Rim M. Yumaguzhin², Arthur R. Rakhimzhanov¹, Sergey V. Anokhin³

¹FSBEI of HE «South Ural State Agrarian University», Troitsk, Chelyabinsk region, Russian Federation,

²Chelyabinsk Compressor Plant LLC, Chelyabinsk, Russian Federation,

³LLC Varnaagromash, s. Varna, Chelyabinsk Region, Russian Federation

A variety of topography, climate, vegetation and soil of the Southern Urals indicates the need to choose the technology and complex of machines for cultivating crops in accordance with the conditions of the zone and economy. Analysis of existing crop cultivation technologies showed the need for their improvement. To ensure the possibility of changing the methods of soil cultivation and sowing depending on soil and climatic conditions, the cultivated crop and the place of culture in crop rotation, a universal technology is proposed, which provides for the need to create conditions for growth and development of plants based on accumulation and economical use of moisture with application of working bodies and a complex of tillage and sowing machines appropriate to the conditions of the zone. The types of working bodies for basic, additional and pre-sowing tillage and sowing of agricultural crops by various methods are substantiated. The degree of universalization of combined machines for farms with different areas of arable land is established. For small farms with arable land up to 1200 ha, one universal machine with replaceable working bodies or modules is needed to perform primary, secondary and pre-sowing tillage and sowing. For medium-sized farms with arable land up to 10 thousand hectares, separate universal machines with replaceable working bodies are needed for primary tillage, with replaceable modules for additional tillage, and tillage sowing machines with replaceable modules with different types of working bodies are necessary for pre-sowing tillage and sowing. For large farms with arable land area of over 10 thousand hectares it is necessary to use combined single-purpose machines. Based on the previously conducted studies, using the obtained mathematical models and agrotechnical requirements for developing new machines, calculations were carried out and the design parameters of machine complex for tractors of 1.4...5 traction class were substantiated. They were produced by LLC Chelyabinsk Compressor Plant and Varnaagromash LLC with various degrees of universalization. The complex of machines for cultivating agricultural crops developed and produced at these plants for various types of farms makes it possible to fulfil all the elements of the proposed technology adopted in the zone in accordance with the agrotechnical requirements as well as soil and climatic conditions of the zone.

Keywords: soil and climatic conditions, tillage methods, sowing, working bodies, design, metal consumption, traction resistance, productivity

Acknowledgments: the studies were carried out under the program of research of the FSBEI HE «South Ural State Agrarian University», the development of machines according to the program of work of Chelyabinsk Compressor Plant LLC and Varnaagromash LLC.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citation: Rakhimov R. S., Rakhimov I. R., Yalaletdinov D. A., Fetisov E. O., Khamitov Y. Yu., Yumaguzhin R. M., Rakhimzhanov A. R., Anokhin S. V. Development of technology and manufacturing of an import-substituting complex of machines for cultivating crops. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(1):86-96. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.86-96>

Received: 06.12.2019

Accepted for publication: 04.02.2020

Published online: 28.02.2020

Рельеф, климат, растительный и почвенный покров Южного Урала чрезвычайно разнообразный. Сельскохозяйственные культуры возделываются в горно-лесной, лесостепной и степной зонах с различными подзонами, которые отличаются друг от друга следующими основными факторами:

– влагообеспеченностью растений в различные фазы роста;

– обеспеченностью растений теплом (продолжительность периода с $t > 10^\circ\text{C}$, сумма эффективных температур за периоды $t > 10^\circ\text{C}$, $t > 15^\circ\text{C}$);

– величиной безморозного периода;

– запасом влаги в почве весной, глубиной снежного покрова, интенсивностью снеготаяния;

– характером микро- и макрорельефа поля;
– подверженностью почв водной и ветровой эрозиям;

– прогревом почвы и началом полевых работ;

– типом почв.

Все эти факторы влияют на выбор технологии возделывания сельскохозяйственных культур, севооборотов, способов обработки почв и посева, сортов культур и на своевременность выполнения требуемых агротехнических приёмов в установленные сроки [1, 2, 3, 4, 5].

Основной задачей любого земледельца является получение максимальной прибыли с единицы площади при минимальных затратах

(на оплату труда, технику, материалы и т. д.), позволяющей развивать производство высокими темпами. Для этого для каждой почвенно-климатической зоны необходимо выбрать ту технологию возделывания сельскохозяйственных культур, те тракторы, почвообрабатывающие и посевные машины, которые обеспечат качество подготовки почвы с требуемыми свойствами для возделывания выбранной культуры в севообороте¹ [6].

Цель исследований – обосновать технологию и изготовить ресурсосберегающий импортозамещающий комплекс машин для возделывания сельскохозяйственных культур в различных почвенно-климатических зонах Южного Урала для различных типов хозяйств.

Материал и методы. Для обоснования технологии возделывания сельскохозяйственных культур проведен анализ существующих технологий², выявлены необходимые для обработки почвы и посева типы рабочих органов, которые использованы при изготовлении комплекса почвообрабатывающих и посевных машин, математические зависимости для расчета металлоемкости машин, тягового сопротивления и производительности агрегатов, которые позволили установить рациональные параметры машин [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

Результаты и их обсуждение. При разработке и создании нового ресурсосберегающего импортозамещающего комплекса машин необходимо учитывать следующие условия:

- почвенно-климатические условия зоны;
- принятую в зоне (в хозяйстве) технологию возделывания сельскохозяйственных культур;
- принятые в хозяйстве севообороты;
- необходимый тип и параметры рабочих органов для обработки почвы и посева;
- тип хозяйства (мелкое, среднее или крупное);
- требования к разработке и созданию комплекса машин под различные технологии возделывания сельскохозяйственных культур;
- тяговый класс трактора, для которого создаётся комплекс машин.

Основным фактором при выборе типа почвообрабатывающих и посевных машин,

типа и параметров их рабочих органов являются почвенно-климатические условия зоны. Поскольку способы обработки почвы и посева предназначены для создания структуры почвы, повышающей её плодородие за счёт накопления и экономного расходования влаги, создания условий для интенсивной работы микроорганизмов в почве, то для разных типов почв (более 30 на Южном Урале), имеющих различный процент содержания физического песка и глины, тип и параметры рабочих органов должны быть различными. Соответственно подверженность почв разным видам эрозии (водной, ветровой, механической, биологической и т. д.) зависит от типа почвы и рельефа поля, величины и интенсивности осадков летом и зимой, принятой в зоне (в хозяйстве) технологии возделывания сельскохозяйственных культур, предусматривающей использование различных типов машин и рабочих органов (табл. 1) [6].

Анализ работы хозяйств³ показывает, что в пределах одной зоны используются все эти технологии. Кроме того, в отдельных хозяйствах начали внедрять агробиотехнологию возделывания сельскохозяйственных культур с применением композитных микробиологических препаратов, которые используются одновременно с существующей в хозяйстве технологией. За рубежом (США, Канада, Аргентина, Бразилия, Австралия) широко применяются технологии полосной обработки почвы при возделывании технических культур и прямого посева при возделывании зерновых культур [14,15]. Эти технологии могут быть внедрены на определённых типах почв при наличии достаточного количества осадков и соответствующей техники.

На основе анализа требований различных культур к созданию структуры и плотности почв и почвенно-климатических условий зоны коллективом учёных разработана универсальная технология обработки почвы (патент РФ № 2457651 от 16.02.2011), которая направлена на накопление, сохранение и экономное использование влаги в период вегетации растений (рис. 1) [5, 6].

¹Бледных В. В. Устройство, расчет и проектирование почвенно-обрабатывающих орудий. Челябинск, 2010. 203 с.

²Беляев М. А., Есипов В. И. Современная техника, применяемая при ресурсо- и влагосберегающих технологиях: учеб. модуль для учащихся системы нач. проф. образования. Центр проф. образования Сам. обл., Фонд "Сельхозхоз. обучения", ФГОУ ВПО Сам. гос. с.-х. акад.; Самара: Профи, 2004 (Изд-во Профиг). 79 с.

³Адаптивные агробиотехнологии. В поисках утраченного плодородия. Режим доступа: <http://stimix.ru/stati/97-adaptivnaya-agrobitehnologiya.html>

Таблица 1 – Технологии возделывания сельскохозяйственных культур /
Table 1 – Crop cultivation technologies

Основные технологические операции и их техническая оснащенность / Basic technological operations and their technical equipment	
осенью / in the fall	
весной / in spring	
Система обработки почвы / Name of soil tillage systems	
Традиционная / Traditional	<p>Уборка соломы (волокуши, пресс-подборщики) / Harvesting of straw (drags, balers)</p> <p>Лущение стерни (дисковые лущильники со сферическими дисками) / Stubble peeling (disk cultivators with spherical disks)</p> <p>Основная обработка почвы (отвалный плуг) / Primary tillage (moldboard plow)</p> <p>Закрытие влаги (зубовые бороны) / Moisture retention (tooth harrows)</p> <p>Предпосевная культивация (лаповые, штанговые культиваторы) / Presowing cultivation (tined, rod cultivators)</p> <p>Посев (рядовые, узкорядные сеялки) / Sowing (drill, narrow-row seeders)</p>
Противоэрозионная / Erosion control	<p>Уборка соломы (волокуши, пресс-подборщики) / Harvesting of straw (drags, balers)</p> <p>Лущение стерни (дисковые лущильники с плоскими дисками) / Stubble peeling (disk cultivators with spherical disks)</p> <p>Основная обработка почвы (плоскорез, глубокий лущитель-плоскорез-целеватель-чизельное орудие) / Primary tillage (subsurface plow, subsurface paraplow-chisel implement)</p> <p>Закрытие влаги (иглочатые бороны) / Moisture retention (soil spikers)</p> <p>Предпосевная культивация (культиваторы противоэрозионные) / Presowing cultivation (anti erosion cultivators)</p> <p>Посев (стерневые сеялки) / Sowing (stubble seeders)</p>
Минимальная / Minimum	<p>Уборка. Солома измельчается и равномерно разбрасывается по полю (бороны с пружинными рабочими органами) / Harvesting. Straw is chopped and scattered evenly across the field (harrow with spring working bodies)</p> <p>Основная мелкая обработка (дисковые бороны, культиваторы тяжелые) / Primary surface tillage (disc harrows, heavy cultivators)</p> <p>Предпосевная обработка почвы (комбинированные культиваторы со сменными модулями) / Pre-sowing tillage (combined cultivators with interchangeable modules)</p> <p>Посев (стерневые и пневматические сеялки) / Sowing (stubble and pneumatic seeders)</p>
Нулевая / No-Till	<p>Уборка. Солома измельчается и равномерно разбрасывается по полю (бороны с пружинными рабочими органами) / Harvesting. straw is chopped and evenly scattered across the field (harrow with spring working bodies)</p> <p>Предпосевная обработка и посев (комбинированные почвообрабатывающие посевные агрегаты) / Pre-sowing and sowing tillage (combined tillage sowing units)</p> <p>Посев (комбинированные почвообрабатывающие посевные агрегаты) с анкерными сошниками / Sowing (combined tillage sowing units) with tye coulters</p>

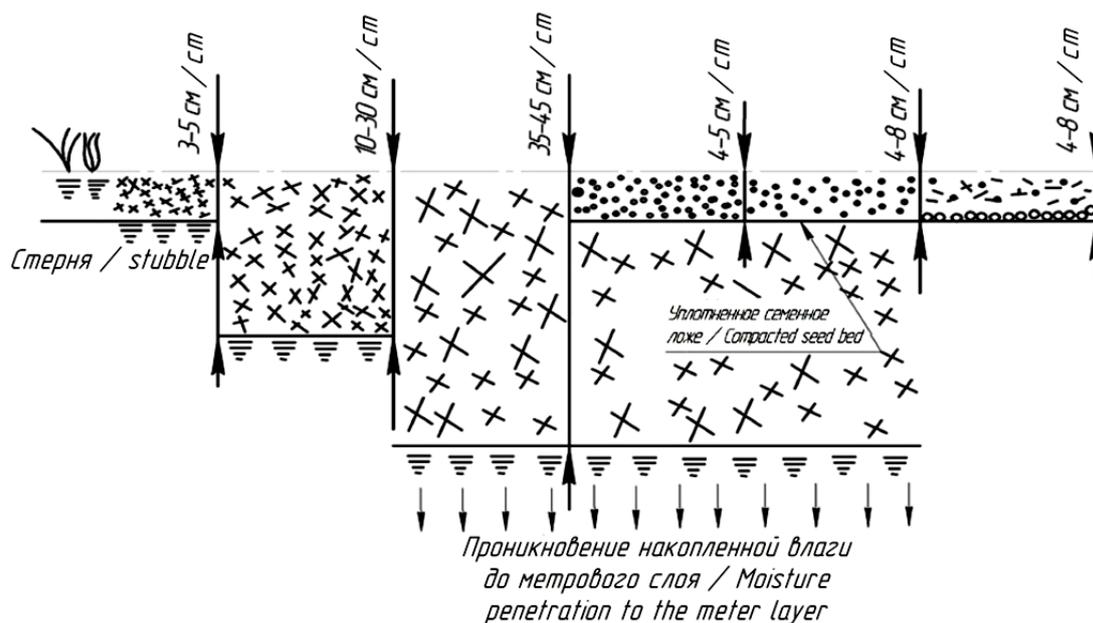


Рис. 1. Универсальная технология возделывания сельскохозяйственных культур /
Fig. 1. Universal crop cultivation technology

Предлагаемая технология возделывания сельскохозяйственных культур включает в себя осеннее послеуборочное поверхностное влагоаккумулирующее рыхление по стерне различными типами рабочих органов (игольчатые, дисковые, комбинированные, ротационные, зубовые и т.д.) на глубину 3...5 см, основное зяблевое отвальное или безотвальное влагопоглощающее рыхление почвы на глубину 10...30 см, основное влагонакопительное чизельное рыхление на глубину 30...45 см один раз в севообороте, а весной поверхностное влагозащитное рыхление почвы различными типами борон на глубину заделки семян, а затем – влагосберегающую мульчирующую выровненную предпосевную обработку на ту же глубину с созданием семенного ложа и вычесыванием сорняков в начальной стадии их развития с рабочими органами на пружинной стойке и посев различными типами сошников в зависимости от условий года и высеваемой культуры.

Данная технология может быть трансформирована под любую из вышеприведённых технологий исключением в зависимости от почвенно-климатических условий, возделываемой культуры и места культуры в севообороте отдельные её операции. Таким образом, для выполнения всех технологических операций рекомендуемой технологии в различных почвенно-климатических зонах, необходимы следующие рабочие органы [5, 7, 8, 9]:

– для выполнения основной обработки почвы (корпус плуга, лапы плоскорезные, чизельные рабочие органы);

- для выполнения дополнительной обработки почвы (дисковые, лапы, щелерезы);
- для закрытия влаги и предпосевной обработки почвы (пружинные и зубовые рабочие органы, рыхлители и лапы на пружинной, жёсткой или подпружиненной стойках);
- для посева сельскохозяйственных культур (дисковые, лаповые, анкерные, килевидные, Т-образные сошники);
- для разрушения почвенной корки (зубовые, роторные, пружинные);
- катки различных типов для выравнивания, рыхления и мульчирования поверхности поля.

Для уменьшения количества и типов выпускаемых машин они должны быть универсальными, комбинированными и унифицированными [10].

Степень универсализации машин зависит от размеров площади пашни и направления деятельности хозяйства. Большую долю по количеству хозяйств (60...70 %) составляют фермерские хозяйства с площадью пашни до 1000...1200 га. Для них, имеющих в основном один трактор класса тяги 3, покупать отдельные почвообрабатывающие и посевные машины экономически нецелесообразно. Поэтому для таких хозяйств разработаны универсальные и комбинированные почвообрабатывающие посевные машины, которые выполняют все виды работ по основной, дополнительной и предпосевной обработке почвы и посеву различных сельскохозяйственных культур.

Доля хозяйств с площадью пашни 7...10 тыс. га составляет до 25...35%. Как показывают опыт и расчёты, для таких хозяйств, имеющих тракторы класса тяги 3...5, необходимы универсальные и комбинированные машины для выполнения основной обработки почвы со сменными рабочими органами (отвальная, безотвальная, чизельная), для дополнительной обработки почвы – со сменными модулями с различными типами рабочих органов для работы на глубину 0,10...0,16 м и почвообрабатывающие посевные машины с посевной секцией со сменными сошниками для работы на глубину 0,06...0,15 м.

Для крупных хозяйств и агрохолдингов с площадью пашни более 10 тыс. га необходимы комбинированные орудия для тракторов класса тяги 4...5, выполняющих одну технологическую операцию.

Вновь создаваемый комплекс почвообрабатывающих и посевных машин должен: выполнять все элементы технологии в севообороте для различных почвенно-климатических зон с соблюдением агротехнических требований к обработке почвы и посеву; иметь малую металлоёмкость, прочность и надёжность конструкции, малое тяговое сопротивление, высокую производительность, малую стоимость и расход топлива; отвечать требованиям безопасности и экологии, выполнять требования всех элементов технологического процесса работы агрегата и обеспечить плотность сложения почвы в пределах агродопуска для возделываемой культуры.

Ранее проведёнными исследованиями [11] установлено, что конструктивная схема почвообрабатывающих и посевных машин оказывает большое влияние на металлоёмкость, тяговое сопротивление и производительность агрегатов. Установлено, что при расположении рабочих органов на раме в шахматном порядке металлоёмкость почвообрабатывающих машин с увеличением ширины захвата возрастает по прямой, тогда как при расположении рабочих органов на раме по плужной схеме металлоёмкость возрастает по параболе. Металлоёмкость почвообрабатывающих машин при других равных условиях оказывает прямое воздействие на тяговое сопротивление и производительность агрегата. Для почвообрабатывающих посевных агрегатов с пневматическим высевом семян расположение бункера для семян и удобрений впереди почвообрабатывающей части или на его прицепном устройстве обеспечивает меньшее тяговое сопротивление и большую производительность.

В зависимости от силы тяжести, способа обработки почвы и посева разрабатываемые орудия выполняются навесными, полунавесными и прицепными. Независимо от способа агрегатирования они должны отвечать требованиям присоединения орудия к трактору, транспортирования, рабочего процесса, заглубления, выглубления и разворота на концах загонок, а также должны легко настраиваться на заданные условия работы (глубина обработки, норма высева семян и удобрений и т. д.) и иметь небольшую трудоёмкость ухода.

Большое значение при выборе состава агрегата имеет величина уплотнения почвы ходовыми системами трактора и сельскохозяйственной машины. Допустимые значения уплотнения при обработке почвы и посеве находятся в пределах 0,9...1,2 кг/см². Наименьшее уплотнение почвы обеспечивают гусеничные или колёсные тракторы со сдвоенными колёсами с шинами низкого давления [11].

По разработанной методике и математическим зависимостям, полученным для расчёта металлоёмкости машин, тягового сопротивления и производительности агрегатов, а также их конструктивных параметров [12, 13], конструкторами ООО «Челябинский компрессорный завод» проведены расчёты и получены конструктивные схемы и параметры почвообрабатывающих и посевных машин для тракторов класса тяги 1,4...5,0, обеспечивающие минимум тягового сопротивления и максимум производительности агрегатов. Аналогичные орудия выпускаются в ООО «Варнаагромаш» (табл. 2).

Выпускаемый комплекс машин отвечает требованиям всех типов хозяйств. Для мелких фермерских хозяйств выпускаются универсальные комбинированные почвообрабатывающие посевные машины ППА-5 и ППА-7 со сменными модулями для тракторов класса тяги 1,4...3, выполняющие основную, дополнительную и предпосевную обработки почвы, закрытие влаги, улучшение лугов и пастбищ и посев сельскохозяйственных культур разными способами. Такой агрегат по сравнению с зарубежными аналогами снижает металлоёмкость в 3...5 раз, потребляемую мощность в 2 раза; обеспечивает снижение расхода топлива в 2...3 раза, полную вписываемость в зональные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, возможность быстрой переналадки на различные виды работ, малую стоимость и большую производительность. Таким образом, мелкие фермерские хозяйства, имея один трактор и один агрегат, могут выполнить все виды работ по принятой в хозяйстве технологии.

**ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ /
DISCUSSION PAPERS: ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLE**

*Таблица 2 – Комплекс почвообрабатывающих, посевных и других машин к тракторам различных тяговых классов, выпускаемых в ООО «Челябинский компрессорный завод» и ООО «Варнаагромаш» /
Table 2 – A complex of tillage, sowing and other machines for tractors of various traction classes, manufactured by Chelyabinsk Compressor Plant LLC and Varnaagromash LLC*

<i>Технологические операции предлагаемой технологии / Technological operations of the proposed technology</i>	<i>Тяговый класс трактора / Tractor traction class</i>		
	<i>1,4</i>	<i>2-3</i>	<i>4-5</i>
Послеуборочное поверхностное рыхление на глубину 3...5 см / Post-harvest surface tillage at a depth of 3 ... 5 cm	БП-15 / ВР-15 КБМ-7,2 ПВ / КВМ-7.2 PV	БП-21 / ВР -21 КБМ-10,5 ПВ / КВМ -10.5 PV	БП-21 / ВР -21 БП-27 / ВР -27
Основное зяблевое влагопоглощающее рыхление почвы (безотвальное или отвальное на глубину 10...30 см) / The main autumn moisture-absorbing loosening of the soil (subsurface or moldboard to a depth of 10 ... 30 cm)	БДН-2,2х2 / BDN-2.2х2 БДН-2,4х2 / BDN-2.4х2 КПУ-2,5 / КПУ-2.5 КБМ-7,2ПВ / КВМ-7.2 PV	БДН-4,0х2 / BDN-4.0х2 БДП-4,0х4 / BDP-4.0х4 КПУ-3,0 / КПУ-3.0 КПУ-4,0 / КПУ-4.0 ПФУ-2,4 / PFU-2.4 КЛДП-4 / KLDP-4 КЛДП-6 / KLDP-6	БДН-6,0х2 / BDN-6.0х2 БДН-6,0х4 / BDN-6.0х4 БДН-8,0х2 / BDN-8.0х2 БДН-8,0х4 / BDN-8.0х4 КПУ-6,0 / КПУ-6.0 КПУ-8,0 / КПУ-8.0 ПФУ-4,0 / PFU-4.0 КЛДП-7,2 / KLDP-7.2 КЛДП-10,5 / KLDP-10.5
Основная чизельная обработка на всю глубину 35...40 см / Primary chisel tillage to the entire depth of 35 ... 40 cm	-	КГ-2,5 / KG-2.5 КГ-3,5 / KG-3.5	КГ-6,0 / KG-6.0
Глубокорыхлитель чизельный с внесением удобрений на глубину 20...30 см / Chisel deep-ripper with fertilizer to a depth of 20 ... 30 cm	-	ГРП-4,0 / GRP-4.0	ГРП-5,0 / GRP-5.0 ГРП-6,0 / GRP-6.0
Закрытие влаги на глубину 4...5 см / Moisture retention to a depth of 4...5 cm	БП-15 / ВР-15 КБМ-7,2 ПВ / КВМ-7.2 PV	БП-21 / ВР-21 КБМ- 10,5 ПВ / КВМ-10.5 PV	БП-21 / ВР-21 БП-27 / ВР-27
Предпосевная обработка почвы на глубину 4...8 см / Pre-sowing tillage to a depth of 4 ... 8 cm	БДН-2,2х2 / BDN-2.2х2 БДН-2,4х2 / BDN-2.4х2 КПУ-2,5 / КПУ-2.5 КБМ-7,2ПВ / КВМ-7.2 PV	БДН-4,0х2 / BDN-4.0х2 БДП-4,0х4 / BDP-4.0х4 КПУ-3,0 / КПУ-3.0 КПУ-4,0 / КПУ-4.0 КБМ-10,5ПВ / КВМ -10.5 PV	БДН-6,0х2 / BDN-6.0х2 БДН-8,0х2 / BDN-8.0х2 КПУ-6,0 / КПУ-6.0 КПУ-8,0 / КПУ-8.0
Посев сельскохозяйственных культур на глубину 2...8 см, в засушливые годы на глубину до 12 см / Sowing of crops to a depth of 2...8 cm, in arid years to a depth of 12 cm	СКП-2,1 / SKP-2.1 СКУ-4,0 / SKU-4.0	СКП-2,1х3 шт. / SKP - 2.1х3 pcs. СКУ-4,0х2 шт. / SKU -4.0х2 pcs. ПК-8,0 / PK-8.0 КПМ-9900 / KPM-9900	СКП-2,1х5 шт. / SKP-2.1х5 pcs. СКП-2,1х7 шт. / SKP-2.1х7 pcs. СКУ-4,0х3 шт. / SKU-4.0х3 pcs. СКУ-4,0х4 шт. / SKU-4.0х4 pcs. ПК-10,0 / PK-10.0 ПК-12,0 / PK-12.0
Почвообрабатывающий посевной агрегат / Tillage sowing unit	ППА-5 / PPA-5	ППА-7 / PPA-7	-

Для средних фермерских хозяйств выпускаются универсальные комбинированные машины и агрегаты для основной обработки, плуги фронтальные универсальные ПФУ-2,4 и ПФУ-4,0 к тракторам класса тяги 3...5, которые выполняют отвальную и безотвальную обработки и чизелевание почвы с универсальными рабочими органами.

Для дополнительной и предпосевной обработки почвы разработаны и выпускаются универсальные орудия, которые состоят из несущей рамы и сменных легко снимаемых модулей с лапами различных типов, дисковыми и чизельными рабочими органами с шириной захвата от 4 до 8 метров (КДЧП-4, КДЧП-6, КДЧП-8).

Для чизельной обработки почвы с одновременным внесением минеральных удобрений на глубину до 30 см выпускаются орудия ГРП шириной захвата от 4 до 8 метров, которые могут работать отдельно без бункера как глубокорыхлитель. Для закрытия влаги и предпосевной обработки почвы выпускаются бороны с пружинными рабочими органами БП-15, БП-21 и БП-27, блочно-модульные культиваторы с рыхлительными и лаповыми рабочими органами на пружинной стойке КБМ-7,2 ПВ, КБМ-10,5 ПВ, а также культиваторы КПУ-3, КПУ-4,0, КПУ-6,0, КПУ-8,0 с лаповыми рабочими органами. Для предпосевной обработки и посева выпускаются сеялки СКП-2,1, которые через сцепку агрегируются с тракторами различного тягового класса, а также почвообрабатывающие посевные агрегаты ПК-8,0, КМ-9900, ПК-10,0, ПК-12,0. Для одновременного посева семян различных культур (бинарный посев) выпускаются сеялки СКУ-4,0, которые через сцепку могут агрегироваться с тракторами класса тяги 3...5. Эти посевные агрегаты и сеялки снабжены универсальными посевными секциями для посева семян со сменными дисковыми, лаповыми, анкерными и килевидными сошниками.

Для крупных хозяйств выпускаются широкозахватные комбинированные машины и агрегаты для тракторов класса тяги 5 с одним типом установленных рабочих органов для закрытия влаги БП-21, БП-27, для основной обработки почвы ПФУ-5,6, КГ-6,0, ГРП-6,0, для дополнительной обработки почвы БДН-8,0x2; БДП-8,0x2; БДП-8,0x4, БДП-10,0x4,

КПУ-8,0, КПУ-10,0, а для предпосевной обработки почвы и посева почвообрабатывающие посевные агрегаты ПК-10,0, ПК-12,0 с универсальной посевной секцией.

Для всех типов хозяйств для рыхления почвенной корки до и после посева выпускаются бороны ротационные БРН-6; БРН-9С; БРН-12С.

Для уборки зерновых культур и семенов трав прямым комбайнированием разработана и выпускается очесывающая жатка ОЖН-6 и ОЖН-7, навешиваемая на все типы комбайнов. Жатка приспособлена к уборке полеглих и сильно засоренных участков при влажности зерна до 30 %. Применение очесывающей жатки позволяет оставить высокую стерню, что приводит к эффективному снегозадержанию.

Для перевозки всех типов сыпучих грузов (зерна, песка и т. д), сена, сенажа и силоса с подпрессовкой, для разбрасывания органических удобрений по поверхности поля полосой до 24 м, а также для заправки сеялок и перегрузки зерна в другой транспорт разработаны и выпускаются полуприцепы с выдвигаемым передним бортом двухосные ПТВ-271, грузоподъемностью до 20 т, трехосные ПТВ-381, ПТВ-391 грузоподъемностью до 30 т и четырехосные ПТВ-491 и ПТВ-4101 грузоподъемностью до 40 т с объемом кузова от 35 до 60 м³. Полуприцепы изготавливаются из оцинкованной стали, а борта и площадка из нержавеющей стали, что повышает срок их службы.

Разработанный и выпускаемый на заводах ООО «Челябинский компрессорный завод» и ООО «Варнагромаш» комплекс машин для возделывания сельскохозяйственных культур для различных типов хозяйств позволяет выполнить все элементы технологии, принятой в зоне в соответствии с агротехническими требованиями и почвенно-климатическими условиями зоны. При этом предлагаемые сменные рабочие органы имеют определенные параметры, что позволяет хозяйствам выбрать соответствующие условиям зоны рабочие органы.

Отечественные машины по сравнению с зарубежными аналогами, как показывают их сравнительные испытания в хозяйствах, имеют малую стоимость, лучшие качества работы, малое тяговое сопротивление и большую производительность [10].

Выводы. Проанализировав работу комплекса машин, выпускаемых ООО «Челябинский компрессорный завод» и ООО «Варнаагромаш», можно сделать следующие выводы:

1. Предложена универсальная технология возделывания сельскохозяйственных культур, которая предусматривает применение различных способов обработки почвы и посева с различными типами рабочих органов в зависимости от почвенно-климатических условий зон и вида возделываемой культуры, направлена на сохранение, накопление влаги и экономное её использование в вегетационный период.

2. Установлена степень универсализации комплекса комбинированных машин для хозяйств с различной площадью пашни, которая направлена на экономию средств хозяйств и снижение себестоимости полученной продукции.

3. Согласно обоснованным параметрам, выпускается комплекс почвообрабатывающих и посевных машин с различной степенью универсализации для тракторов класса тяги 1,4...5, которые обеспечивают возможность выполнения всех элементов рекомендуемой технологии возделывания сельскохозяйственных

культур для различных типов хозяйств в соответствии с агротехническими требованиями.

4. Испытаниями установлено, что разработанный комплекс машин выполняет все элементы технологического процесса работы агрегатов (агрегатирование, транспортно-рабочий процесс, заглабления, выглабления, повороты в положениях дальнего и ближнего транспорта, регулирование на заданные условия работы), имеет малое тяговое сопротивление и большую производительность агрегатов.

5. Разработанная и используемая на заводах ООО «Челябинский компрессорный завод» и ООО «Варнаагромаш» методика создания новых машин обеспечивает возможность выпуска ресурсосберегающего импортзамещающего комплекса машин для обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур для тракторов класса тяги 1,4...5, обеспечивающих выполнение агротребований и повышающих производительность агрегатов для различных типов хозяйств и разных почвенно-климатических зон. Наибольшее распространение для выполнения полевых работ находят тракторы класса тяги 3...4.

Список литературы

1. Козаченко А. П. Состояние, почвенно-экологическая оценка и процессы реабилитации и использования земель сельскохозяйственного назначения Челябинской области на основе адаптивно-ландшафтной системы земледелия: монография. Челябинск, 2004. 380 с.
2. Мальцев Т. С. Система безотвального земледелия. М.: Агропромиздат, 1988. 126 с.
3. Почвозащитное земледелие. Под общ. ред. А. И. Бараева. М.: Колос, 1975. 304 с.
4. Зыбалов В. С., Добровольский И. П., Рахимов Р. С., Хлызов Н. Т., Капкаев Ю. Ш. Рациональное использование земель сельскохозяйственного назначения Челябинской области: монография. Челябинск, 2016. 266 с.
5. Зыбалов В. С., Добровольский И. П., Хлызов Н. Т., Рахимов И. Р., Бархатов В. И. Управление плодородием почв Челябинской области: монография. Челябинск, 2018. 193 с.
6. Влаagoаккумулирующие технологии, техника для обработки почв и использование минеральных удобрений в экстремальных условиях: науч. изд. ФАНО России, ВИМ, ВНИМС. Науч.-метод. рук. А. Ю. Измайлов, Н. Т. Соркин. Рязань: ВНИМС, 2014. 245 с.
7. Труфанов В. В. Глубокое чизелевание почвы. ВАСХНИЛ. М.: Агропромиздат, 1989. 139 с.
8. Жук А. Ф. Почвовлагосберегающие агроприемы, технологии и комбинированные машины. М.: Росинформагротех, 2012. 143 с.
9. Мазитов Н. К. Ресурсосберегающие почвообрабатывающие машины. Казань, 2003. 456 с.
10. Окунев Г. А., Рахимов Р. С. Совершенствование и развитие технологии и технического оснащения зернового производства целинных районов СНГ. Агротехническая наука сельскохозяйственному производству: сб. трудов. Костанай, 2012. С.31-37.
11. Лурье А. Б., Любимов А. И. Широкозахватные почвообрабатывающие машины. Л.: Машиностроение - Ленингр. отд-ние, 1981. 270 с.
12. Мазитов Н. К. Российская техника и технология производства продукции здорового жизнеобеспечения. М.: ООО «Сам Полиграфист», 2019. 260 с.
13. Рахимов Р. С., Коновалов В. Н., Рахимов И. Р., Ялалетдинов Д. А. Разработка и производство комплекса машин для возделывания сельскохозяйственных культур в острозасушливых условиях. Технологии и средства механизации в АПК: мат-лы Междунар. научн.-практ. конф. Института агроинженерии, посвящ. 80-летию со дня рождения В. В. Бледных. Троицк: Южно-Уральский ГАУ, 2018. С.148-155.

14. Сафин Х. М., Фахрисламов Р. С., Шварц Л. С., Давлетшин Ф. М., Мударисов С. Г., Рахимов З. С., Аюпов Д. С., Уметбаев А. Ш. Агротехнические особенности использования Strip-till – технологии в растениеводстве (рекомендация производству). Уфа: Мир печати, 2017. 44 с. Режим доступа: <https://apkrb.info/sites/default/files/doc/pdf/agrotehnicheskieosobennostiispolzovaniyastrip-till.pdf>

15. No-till – шаг к идеальному земледелию. Под ред. Б. Батурина. Киев: изд-во «Зерно», 2007. 128 с.

16. Мазитов Н. К., Саханов Р. Л., Шогенов Ю. Х., Шарафеев Л. З., Ценч Ю. С., Рахимов И. Р. Конкурентоспособный комплекс техники и технологии для производства зерна и кормов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(3):299-308. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.3.299-308>

References

1. Kozachenko A. P. *Sostoyanie, pochvenno-ekologicheskaya otsenka i protsessy reabilitatsii i ispol'zovaniya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Chelyabinskoy oblasti na osnove adaptivno-landshaftnoy sistemy zemledeliya: monografiya*. [The state, soil and environmental assessment and the processes of rehabilitation and use of agricultural land in the Chelyabinsk region on the basis of the adaptive landscape farming system: monograph]. Chelyabinsk, 2004. 380 p.

2. Mal'tsev T. S. *Sistema bezotval'nogo zemledeliya*. [System of subsurface farming]. Moscow: Agropromizdat, 1988. 126 p.

3. *Pochvozashchitnoe zemledelie*. [Conservation agriculture]. Pod obshch. red. A. I. Baraeva. Moscow: Kolos, 1975. 304 p.

4. Zybalov V. S., Dobrovol'skiy I. P., Rakhimov R. S., Khlyzov N. T., Kapkaev Yu. Sh. *Ratsional'noe ispol'zovanie zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Chelyabinskoy oblasti: monografiya*. [Rational use of agricultural land in the Chelyabinsk region: monograph]. Chelyabinsk, 2016. 266 p.

5. Zybalov V. S., Dobrovol'skiy I. P., Khlyzov N. T., Rakhimov I. R., Barkhatov V. I. *Upravlenie plodorodiem pochv Chelyabinskoy oblasti: monografiya*. [Soil fertility management in the Chelyabinsk region: monograph]. Chelyabinsk, 2018. 193 p.

6. *Vlagoakkumuliruyushchie tekhnologii, tekhnika dlya obrabotki pochv i ispol'zovanie mineral'nykh udobreniy v ekstremal'nykh usloviyakh: nauch. izd. FANO Rossii, VIM, VNIMS*. [Moisture-accumulating technologies, equipment for soil treatment and the use of mineral fertilizers in extreme conditions: scientific. ed. FANO Russia, VIM, VNIMS]. Nauch.-metod. ruk. A. Yu. Izmaylov, N. T. Sorkin. Ryazan': VNIMS, 2014. 245 p.

7. Trufanov V. V. *Glubokoe chizelevanie pochvy*. [Deep chisel tillage of soil]. VASKhNIL. Moscow: Agropromizdat, 1989. 139 p.

8. Zhuk A. F. *Pochvovlagosberegayushchie agropriemy, tekhnologii i kombinirovannye mashiny*. [Soil-moisture-saving agricultural practices, technologies and combined machines]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2012. 143 p.

9. Mazitov N. K. *Resursosberegayushchie pochvoobrabatyvayushchie mashiny*. [Resource-saving tillage machines]. Kazan', 2003. 456 p.

10. Okunev G. A., Rakhimov R. S. *Sovershenstvovanie i razvitie tekhnologii i tekhnicheskogo osnashcheniya zernovogo proizvodstva tselinnykh rayonov SNG*. [Improvement and development of technology and technical equipment for grain production of virgin regions of the CIS]. *Agrotehnicheskaya nauka sel'skokhozyaystvennomu proizvodstvu: sb. trudov*. [Agrotechnical science of agricultural production: Collected papers.]. Kostanay, 2012. pp. 31-37.

11. Lur'e A. B., Lyubimov A. I. *Shirokozakhatnye pochvoobrabatyvayushchie mashiny*. [Wide-spread tillage machines]. Leningrad: Mashinostroenie - Leningr. otd-nie, 1981. 270 p.

12. Mazitov N. K. *Rossiyskaya tekhnika i tekhnologiya proizvodstva produktsii zdorovogo zhizne-obespecheniya*. [Russian equipment and technology for the production of healthy life support products]. Moscow: OOO «Sam Poligrafist», 2019. 260 p.

13. Rakhimov R. S., Kononov V. N., Rakhimov I. R., Yalaletdinov D. A. *Razrabotka i proizvodstvo kompleksa mashin dlya vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v ostrozasushlivykh usloviyakh*. [Development and production of a complex of machines for cultivating agricultural crops in extremely arid conditions]. *Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii v APK: mat-ly Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. Instituta agroinzhenerii, posvyashch. 80-letiyu so dnya rozhdeniya V. V. Blednykh*. [Technology and means of mechanization in the agricultural sector: Proceedings of the International scientific and practical Conference of the Institute of Agroengineering]. Troitsk: Yuzhno-Ural'skiy GAU, 2018. pp.148-155.

14. Safin Kh. M., Fakhrislamov R. S., Shvarts L. S., Davletshin F. M., Mударисов S. G., Rakhimov Z. S., Ayupov D. S., Umetbaev A. Sh. *Agrotehnicheskie osobennosti ispol'zovaniya Strip-till – tekhnologii v rastenievodstve (rekomentatsiya proizvodstvu)*. [Agrotechnical features of the use of Strip-till – technology in crop production (production recommendation)]. Ufa: *Mir pechati*, 2017. 44 p. URL: <https://apkrb.info/sites/default/files/doc/pdf/agrotehnicheskieosobennostiispolzovaniyastrip-till.pdf>

15. *No-till – shag k ideal'nomu zemledeliyu*. [No-till – a step towards perfect farming]. *Pod red. B. Baturina*. Kiev: *izd-vo «Zerno»*, 2007. 128 p.

16. Mazitov N. K., Sakhanov R. L., Shogenov Yu. Kh., Sharafiev L. Z., Tsench Yu. S., Rakhimov I. R. *Konkurentosposobnyy kompleks tekhniki i tekhnologii dlya proizvodstva zerna i kormov*. [Competitive complex of machinery and technologies for the production of grain and feed]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(3):299-308. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.3.299-308>

Сведения об авторах

Рахимов Раис Саитгалиевич, доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», пр. Ленина, д. 75, г. Челябинск, Российская Федерация, 454080, e-mail: tvi_t@mail.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7784-9756>**

Рахимов Ильдар Раисович, кандидат техн. наук, доцент кафедры ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», пр. Ленина, д. 75, г. Челябинск, Российская Федерация, 454080, e-mail tvi_t@mail.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0020-6634>**, e-mail: ildarr@bk.ru

Ялалетдинов Денис Альбертович, зам. генерального директора ООО «Челябинский компрессорный завод», Красноармейский район, автодорога Челябинск-Новосибирск, 14-й километр, Российская Федерация, 454071, e-mail: chkz@chkz.ru

✉ **Фетисов Евгений Олегович**, аспирант ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», пр. Ленина, д. 75, г. Челябинск, Российская Федерация, 454080, e-mail tvi_t@mail.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6006-5904>**, e-mail: dgon_ice@mail.ru

Хамитов Янис Юльфаринович, инженер ООО «Челябинский компрессорный завод», Красноармейский район, автодорога Челябинск-Новосибирск, 14-й километр, Российская Федерация, 454071, e-mail: chkz@chkz.ru

Юмагузин Рим Мирасович, инженер ОТК, ДСХМ ООО «Челябинский компрессорный завод», пр. Ленина 2, к. 3, г. Челябинск, Российская Федерация, 454007, e-mail: chkz@chkz.ru, e-mail: ur@chkzagro.ru

Рахимжанов Артур Ринадович, аспирант ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», пр. Ленина, д. 75, г. Челябинск, Российская Федерация, 454080, e-mail: tvi_t@mail.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2484-1010>**, e-mail: rahimzhanov@chkzagro.ru

Анохин Сергей Вячеславович, главный конструктор ООО «Варнаагромаш», ул. Гагарина, д. 187, с. Варна, Челябинская область, Российская Федерация, 457200, e-mail: varnaagromash@mail.ru, e-mail: ASW0891@mail.ru

Information about authors

Rais S. Rakhimov, DSc in Technical science, professor, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education «South Ural State Agrarian University», 75 Lenin Ave., Chelyabinsk, Russian Federation, 454080, e-mail tvi_t@mail.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7784-9756>**

Ildar R. Rakhimov, PhD in Technical science, associate professor, Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education «South Ural State Agrarian University», 75 Lenin Ave., Chelyabinsk, Russian Federation, 454080, e-mail tvi_t@mail.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0020-6634>**, e-mail: ildarr@bk.ru

Denis A. Yalaldinov, Deputy General Director of Chelyabinsk Compressor Plant LLC, Krasnoarmeysk district, Chelyabinsk-Novosibirsk highway, 14th kilometer, Russian Federation, 454071, e-mail: chkz@chkz.ru

✉ **Evgeny O. Fetisov**, postgraduate student, South Ural State Agrarian University, 75 Lenin Ave., Chelyabinsk, Russian Federation, 454080, e-mail tvi_t@mail.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6006-5904>**, e-mail: dgon_ice@mail.ru

Yanis Yu. Khamitov, engineer, Chelyabinsk Compressor Plant LLC, Krasnoarmeysk district, Chelyabinsk-Novosibirsk highway, 14th kilometer, Russian Federation, 454071, e-mail: chkz@chkz.ru

Rim M. Yumaguzhin, QCD engineer, DSHM LLC Chelyabinsk Compressor Plant, Lenin Ave. 2 k3, Chelyabinsk, Russian Federation, 454007, chkz@chkz.ru, e-mail: ur@chkzagro.ru

Arthur R. Rakhimzhanov, postgraduate student, FSBEI HE “South Ural State Agrarian University”, 75 Lenin Ave., Chelyabinsk, Russian Federation, 454080, e-mail tvi_t@mail.ru, **ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2484-1010>**, e-mail: rahimzhanov@chkzagro.ru

Sergey V. Anokhin, chief designer of LLC Varnaagromash, 187, Gagarin Street, s. Varna, Chelyabinsk region, 457200, Russian Federation, e-mail: varnaagro-mash@mail.ru, e-mail: ASW0891@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



**К 125-летию юбилею
Федерального аграрного научного центра Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого**

**Международная научно-практическая конференция
«Научное обеспечение АПК европейского Северо-Востока:
состояние и перспективы»**

(г. Киров, 1...3 июля 2020 г.)

Цель конференции – обсуждение стратегии и механизмов координации проводимых исследований, научного развития и обеспечения АПК Северо-Востока европейской части России, повышение квалификации молодых исследователей, развитие международных научных связей.

Председатель: И. А. Устюжанин, директор ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (Киров, РФ)

Сопредседатели:

- Ю. Ф. Лачуга**, академик-секретарь Отделения с.-х. наук РАН, академик РАН (Москва, РФ);
В. А. Багиров, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере с.-х. наук Минобрнауки России, член-корреспондент РАН (Москва, РФ);
В. А. Сысуев, научный руководитель ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, академик РАН (Киров, РФ);
Г. А. Баталова, зам. директора по селекционной работе ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, академик РАН (Киров, РФ);
В. М. Косолапов, зам. академика-секретаря Отделения с.-х. наук РАН, академик РАН (Москва, РФ);
Rep Changzhong, доктор наук, иностранный член РАН, президент Байченской академии с.-х. наук, (провинция Цзилинь, КНР);
Ф. И. Привалов, член-корреспондент НАН Беларуси, доктор с.-х. наук, профессор, генеральный директор РУП «НПЦ Беларуси по земледелию» (Жодино, Беларусь);
Э. П. Урбан, член-корреспондент НАН Беларуси, доктор с.-х. наук, профессор, зам. ген. директора РУП «НПЦ Беларуси по земледелию» (Жодино, Беларусь);
В. Романюк, профессор Технологического-природоведческого института, доктор техн. наук, (Фаленты-Варшава, Польша).

Основные направления научной программы конференции:

- селекция и семеноводство, биотехнология и защита растений;
- механизация и электрификация сельскохозяйственного производства;
- земледелие, агрохимия, кормопроизводство, экономика АПК;
- зоотехния и ветеринарная медицина.

Мероприятия в рамках конференции:

- 1 июля** – пленарное заседание Международной научно-практической конференции «Научное обеспечение АПК европейского Северо-Востока: состояние и перспективы».
- 2-3 июля** – VI Международная научно-практическая конференция «Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве»;
школы молодых ученых по эколого-генетическим основам северного растениеводства, механизации и электрификации сельскохозяйственного производства;
секционные и выездные заседания;
круглый стол «Международный диалог»;
выставка инноваций.

Публикации материалов конференции:

- сборник абстрактов докладов конференции (на русском и английском языках);
- сборник материалов VI Международной научно-практической конференции «Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве» (РИНЦ);
- статьи в научных журналах ядра РИНЦ и Перечня ВАК.

Контакты:

E-mail конференции: fanc-sv125@fanc-sv.ru

Информация о конференции
размещена в разделе «Юбилейная конференция ФАНЦ Северо-Востока»
на сайте <http://fanc-sv.ru/>