

ISSN 2073-7599 (print)

ISSN 2618-6748 (online)

Сельскохозяйственные машины и технологии

AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 15 N 4 2021

Vol. 15 N 4 2021

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

Журнал посвящен
Китайско-Российскому симпозиуму
«Интеллектуальная
сельскохозяйственная техника
и передовые технологии»

The magazine is dedicated
to the Sino-Russian Symposium
"Intelligent
Agricultural Machinery
and Advanced Technologies"



4 2021





НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(РОСКОМНАДЗОР)
Свидетельство ПИ № ФС77-68608
от 3 февраля 2017 г.

Журнал включен в перечень изданий,
рекомендованных ВАК РФ для публика-
ции трудов соискателей ученых степе-
ней кандидата и доктора наук

Журнал включен
в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

Полные тексты статей
размещены на сайте электронной
научной библиотеки: <http://elibrary.ru>

Охраняется законом РФ № 5351-1
«Об авторском праве и смежных правах»
от 9 июля 1993 года. Контент распростра-
няется под лицензией Creative Commons
Attribution 4.0 License. Нарушение закона
будет преследоваться в судебном порядке.

НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:

В.В. Бижаев,
Л.А. Горелова,
С.В. Гришуткина,
Р.М. Нурбагандова

Перевод – Светлана Сорокина

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

109428, Москва,
1-й Институтский проезд, 5
Телефоны: (499) 174-88-11
(499) 174-89-01

<http://www.vimsmit.com>
e-mail: smit@vim.ru

© ФГБУ ФНАЦ ВИМ, 2021

Отпечатано в ФГБУ ФНАЦ ВИМ
Формат 205 x 290 мм
Подписано в печать 10.12.2021
Тираж 500 экз.

Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ АГРОИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ВИМ»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Андрей Юрьевич Измайлов

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, член Президиума Российской академии наук, директор Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Яков Петрович Лобачевский (ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА)

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, первый заместитель директора Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация

Виктор Валентинович Альт

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик НАН Монголии, руководитель научного направления Сибирского физи-ко-технического института аграрных проблем, г. Новосибирск, Российская Федерация

Христо Иванов Белоев

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Болгарской академии наук, Русенский универси-тет, г. Русе, Республика Болгария

Михаил Никитиевич Ерохин

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Рос-сийская Федерация

Юрий Анатольевич Иванов

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Российской академии наук, директор Всероссий-ского научно-исследовательского института механизации животноводства, г. Подольск, Российская Феде-рация

Йошисуке Кишида

академик, Президент компании «Шин-Норинша», г. Токио, Япония

Юрий Федорович Лачуга

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

Антонин Махалек

доктор технических наук, директор Научно-исследовательского института сельскохозяйственной техники, г. Прага, Чешская Республика

Тадеуш Павловски

доктор технических наук, профессор, директор Промышленного института сельскохозяйственной техники, г. Познань, Республика Польша

Владимир Дмитриевич Попов

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, руководитель научного на-правления Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Жарылкасын Сарсембекович Садыков

доктор технических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института агроинженерных про-блем и новых технологий Казахского национального агроуниверситета, г. Алматы, Республика Казахстан

Даврон Рустамович Норчаев

доктор технических наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории «Механизации садовод-ства и овощеводства» Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства Республи-ки Узбекистан, г. Карши, Кашкадарьинская область, Республика Узбекистан

Юлия Сергеевна Ценч

кандидат педагогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация

Вячеслав Иванович Черноиванов

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация



SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

The journal is registered by
Federal Agency for Supervision of
Legislation Observance of Mass
Communications Sphere and
Cultural Heritage Protection
Certificate ПИ No. ФЦ77-68608
from February, 3, 2017

**The Journal is included in the
list of peer-reviewed scientific
publications recommended
by the Higher Attestation
Commission for publishing the
research results from theses for
Ph.D. and Dr.Sc. degrees.**

The journal is included in the
Russian Index of Scientific Citation
(RISC).

Full texts of articles are placed on
the website of electronic library:
elibrary.ru

Protected by the Russian Federal
Law RF №5351-1 "On Copyright
and Related Rights" dated July 9,
1993. Content is distributed under
Creative Commons Attribution 4.0
License. Violations are subject to
prosecution.

EXECUTIVE EDITORS:

Bizhaev V.V.,
Gorelova L.A.,
Grishutkina S.V.,
Nurbagandova R.M.
Translation into English –
Svetlana Sorokina

EDITORIAL OFFICE'S ADDRESS

109428, Moscow,
1st Institutskiy proezd, 5
Tel.: +7 (499) 174-88-11
+7 (499) 174-89-01

<http://www.vimsmit.com>
e-mail: smit@vim.ru

**Printed by FSAC VIM
Russian Academy of Science**

The format is 205 × 290 mm
The issue was submitted 10.12.2021
The circulation is 500 copies

[SEL'SKOKHOZYAYSTVENNYE MASHINY I TEKHNologii]

**Founder and publisher: Federal State Budgetary Scientific Institution
"Federal Scientific Agroengineering Center VIM" of the Russian Academy of Sciences**

EDITOR-IN-CHIEF

Andrey Yu. Izmaylov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Academic Board Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

EDITORIAL BOARD

Yakov P. Lobachevskiy (SCIENTIFIC EDITOR)

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, First Deputy Director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Viktor V. Al't

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Honoured Scientist of Russian Federation, Academician of NAS of Mongolia, Head of Scientific Division of Siberian Physical and Technical Institute of Agrarian Problems, Novosibirsk, Russian Federation

Khristo I. Beloev

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member of the Bulgarian Academy of Sciences, University of Ruse, Republic of Bulgaria

Mikhail N. Erokhin

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Yuriy A. Ivanov

Dr.Sc.(Agr.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences; Director of the All-Russian Scientific and Research Institute of Livestock Mechanization, Podolsk, Russian Federation

Yoshisuke Kishida

Academician, President Shin-Norinsha Co., LTD, Tokyo, Japan

Yuriy F. Lachuga

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Academician Secretary of Department of Agricultural Sciences at the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Antonin Makhalek

Dr.Sc.(Eng.), Director of the Agricultural Machinery Research Institute, Prague, Czech Republic

Tadeush Pavlovsky

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Director of the Industrial Institute of Agricultural Machines, Poznan, Poland

Vladimir D. Popov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Research Direction of the Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production, St.Peterburg, Russian Federation

Zharylkasyn S. Sadykov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Director of Research Institute of Agroengineering Problems and New Technologies, Kazakh National Agrarian University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Davron R. Norchaev

Dr.Sc.(Eng.), Senior Researcher, Head of the «Mechanization of Horticulture and Vegetable Growing» Laboratory of the Scientific Research Institute of Agricultural Mechanization of the Republic of Uzbekistan, Karshi city, Kashkadarya region, Republic of Uzbekistan

Yulia S. Tsench

Ph.D.(Ed.), Associate Professor, Leading Researcher of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Vyacheslav I. Chernov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

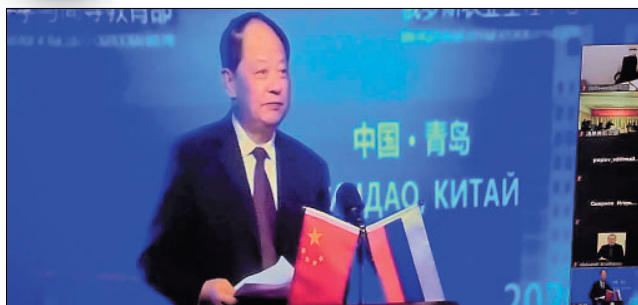


КИТАЙСКО-РОССИЙСКИЙ СИМПОЗИУМ

Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства	6
Ценч Ю.С. Система непрерывного образования в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ	11
Шан Ш., Ван Ц. Возможности и проблемы экспериментального полевого оборудования	14
Чен Т. Современное состояние и тенденции развития распределения сельскохозяйственной техники в Китае	19
Цзя Ш., Лю Г., Цзя Ц., Ян Т. Разработка и применение интеллектуальных технологий и оборудования для обработки семян	24
Синьфа Ф., Хайхуа В. Исследование достижений и перспектив развития технологических инноваций в области интеллектуальной сельскохозяйственной техники в Китае	29
Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Кутырев А.И. Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур	35
Курбанов Р.К., Захарова Н.И., Горшков Д.М. Повышение точности аэрофотосъемки с применением наземных контрольных точек	42
Брюханов А.Ю., Попов В.Д., Васильев Э.В., Шалавина Е.В., Уваров Р.А. Анализ и решения экологических проблем в животноводстве	48
Минин В.Б., Захаров А.М. Задачи и структура информационно- коммуникационной системы «умного» органического хозяйства	56

SINO-RUSSIAN SYMPOSIUM

Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture	6
Tsench Yu.S. The system of continuing education at the Federal Scientific Agroengineering Center VIM	11
Shang Sh., Wang J. Opportunities and challenges for experimental field equipment	14
Chen T. Current situation and development trend of China's agricultural machinery distribution	19
Jia Sh., Liu G., Jia J., Yang T. Development and application of the intelligent seed processing technology and equipment	24
Xianfa F., Haihua W. Research on the progress and future development of technological innovation of intelligent agricul-tural machinery in China	29
Smirnov I.G., Khort D.O., Kutyrev A.I. Intelligent technologies and robotic machines for garden crops cultivation	35
Kurbanov R.K., Zakharova N.I., Gorshkov D.M. Improving the accuracy of aerial photography using ground control points	42
Bryukhanov A.Yu., Popov V.D., Vasil'ev E.V., Shalavina E.V., Uvarov R.A. Analysis and solutions to environmental problems in livestock farming	48
Minin V.B., Zakharov A.M. Objectives and structure of the information and communication system for «smart» organic farming	56



Китайско-Российский симпозиум

«Интеллектуальная сельскохозйственная техника и передовые технологии»

Симпозиум прошел в режиме видеоконференции 25 ноября 2020 года

В мероприятии с Российской стороны приняли участие ученые из Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (г. Москва), Института агроинженерных и экологических проблем (филиал ФНАЦ ВИМ, г. Санкт-Петербург) и Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.

С Китайской стороны – ученые из Циндаоского аграрного университета, Академии наук по механизации сельского хозяйства, представители Ассоциации маркетинга сельскохозйственной техники.

По итогам симпозиума подписано соглашение о сотрудничестве в научной и образовательной сфере между Федеральным научным агроинженерным центром ВИМ, Институту агроинженерных и экологических проблем сельскохозйственного производства, Санкт-Петербургским государственным аграрным университетом – с одной стороны и Циндаоским аграрным университетом, Академией наук по механизации сельского хозяйства и Ассоциацией распределения сельскохозйственной техники – с другой.

Статьи настоящего номера журнала подготовлены авторами на основе материалов их докладов на симпозиуме.

The Sino-Russian Symposium on Intelligent Agricultural Machinery and Advanced Technologies

The symposium was took place virtually by videoconference on November 25, 2020

The Russian side was represented by the scientist of the Federal Scientific Agroengineering Center of VIM (Moscow), the Institute of Agroengineering and Environmental Problems (a branch of FSAC VIM, St. Petersburg) and St. Petersburg State Agrarian University.

The Chinese participants included the scientists of Qingdao Agrarian University(QAU), the Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences(CAAMS), representatives of the China Agricultural Machinery Distribution Association(CAMDA).

The symposium culminated in the signing of an agreement on the scientific and educational collaboration between the Federal Scientific Agroengineering Center of VIM (FSAC VIM), the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IIEPAP), Saint-Petersburg State Agrarian University (SPbSAU) on the one side and Qingdao Agrarian University (QAU), the Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences (CAAMS) and the China Agricultural Machinery Distribution Association (CAMDA) on the other.

This issue papers are prepared by the symposium participants based on their talks.



СОВМЕСТНЫЙ ПРОЕКТ ФЕДЕРАЛЬНОГО НАУЧНОГО АГРОИНЖЕНЕРНОГО ЦЕНТРА ВИМ и ЦИНДАОСКОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА



Директор
Федерального центра ВИМ,
профессор **Андрей Измаилов**
professor Andrey Izmaylov



Ректор
Циндаоского аграрного
университета,
профессор **Лю Синьминь**
professor Liu Xinmin

Уважаемые коллеги!

Сердечно приветствую участников Китайско-Российского семинара «Интеллектуальная сельскохозяйственная техника и передовые технологии». Я надеюсь, что проведенный семинар станет началом плодотворного сотрудничества между Федеральным центром ВИМ и Циндаоским аграрным университетом. Мы также рады сотрудничеству с Китайской академией по механизации сельского хозяйства и Китайской ассоциацией по дистрибуции сельхозтехники.

Федеральный центр ВИМ – ведущее учреждение России в области механизации, электрификации и автоматизации сельского хозяйства, роботизации техники, цифровых технологий, возобновляемых источников энергии. Большое внимание ученые уделяют развитию технологий искусственного интеллекта. Для обеспечения этих направлений мы организовали подготовку новой генерации молодых научных сотрудников через магистратуру и аспирантуру. Надеюсь на плодотворное взаимодействие с китайскими коллегами.

Dear colleagues!

I cordially welcome the participants of the Sino-Russian seminar «Intelligent Agricultural Machinery and Advanced Technologies». I hope the seminar will be as beginning of fruitful cooperation between the Federal Center VIM and Qingdao Agrarian University. We are also pleased to cooperate with the Chinese Academy of Agricultural Mechanization and the Chinese Association for the Distribution of Agricultural Machinery.

The Federal Scientific Agroengineering Center VIM is Russia's leading institution in the field of mechanization, electrification and automation of agriculture, robotization of machinery, digital technologies, renewable energy sources.

We give great attention to the development of artificial intelligence technologies. To ensure these areas we have organized the training of a new generation of young researchers through master's and postgraduate studies. I hope for fruitful cooperation with colleagues from People's Republic of China.

Уважаемые коллеги!

Под руководством Министерства науки и технологий КНР и Министерства науки и высшего образования РФ, совместно с Федеральным центром ВИМ мы успешно организовали симпозиум «Интеллектуальная сельскохозяйственная техника и передовые технологии». Мы надеемся, что семинар станет началом плодотворного сотрудничества между ЦАУ и ВИМ, другими российскими и китайскими партнерами.

ЦАУ имеет 8 дисциплин, включая сельское хозяйство, инженерию, науку, экономику, менеджмент, литературу, искусство и право. В нем 25 факультетов, 81 специальность бакалавриата, 27 магистерских и 2 докторские программы. В университете более 30 тыс. студентов. Молодые ученые и студенты – будущее научного и образовательного партнерства между Китаем и Россией. Мы стремимся строить эффективное сотрудничество молодых поколений Китая и России, создать процветающее будущее вместе с нашими российскими партнерами.

Dear Colleagues!

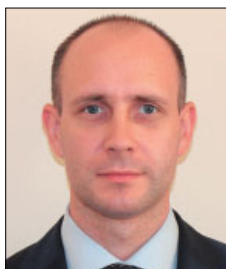
Under the authority of the Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China and the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, together with the Federal Research Center of Agricultural Engineering VIM, we successfully held a workshop on «Intelligent Agricultural Machinery and Advanced Technologies». We hope that the workshop will lay the foundation for further productive cooperation between QAU, the FSAC VIM and other Russian and Chinese partners.

QAU has established eight key disciplines such as Agriculture, Engineering, Sciences, Economics, Management, Literature, Arts and Law. The University comprises 25 departments, 81 Bachelor's degree programs, 27 Master's degree programs and 2 Doctoral programs. There are over 30 thousand students at the university. Young scientist and students prove to be the future of scientific and academic partnership between the People's Republic of China and the Russian Federation. We with our Russian partners pursue to foster effective collaboration between the young generations of China and Russia to ensure a prosperous future.

Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства



Яков Петрович Лобачевский,
доктор технических наук,
профессор, академик РАН,
e-mail: lobachevsky@yandex.ru;



Алексей Семенович Дорохов,
доктор технических наук,
профессор,
член-корреспондент РАН,
e-mail: dorokhov@rgau-msha.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали, что аграрное производство в Российской Федерации динамично развивается, экспорт сельскохозяйственной продукции достигает 25 миллиардов долларов. В то же время этот показатель в других странах значительно больше, например, в Китае он превысил 75 миллиардов долларов. Установили, что реализовать имеющийся потенциал можно, если повысить эффективность аграрного производства путем создания и внедрения средств автоматизации, роботизации, цифровых технологий, искусственного интеллекта. Отметим, что в результате можно повысить производительность труда в 2,5-3,5 раза; увеличить урожайность культур в 2-3 раза; снизить энергетические и материальные затраты в 3-4 раза; обеспечить экологическую безопасность сельскохозяйственного производства и окружающей среды. Разработали концепцию интеллектуального сельского хозяйства, в которой выделили следующие сферы применения цифровых технологий: комплексное управление производством; цифровые технологии в растениеводстве, животноводстве, энергообеспечении, хранении и переработке продукции; цифровую инженерию сельских поселений. Представили этапы процесса цифровизации сельскохозяйственного производства, включающие: систему мониторинга условий и параметров агропромышленного производства; систему передачи информации; искусственный интеллект и облачные технологии, на базе которых формируются управленческие решения; реализацию управленческих решений роботизированными техническими средствами. Обосновали примеры применения цифровых технологий в полеводстве, садоводстве, животноводстве, искусственных экосистемах. Подтвердили, что в животноводстве эти технологии обеспечивают мониторинг перемещения животных, их физиологического состояния, параметров микроклимата в помещениях, контроль качества кормов и молока. Констатировали, что Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ имеет необходимую образовательную инфраструктуру, аккредитованные магистратуру и аспирантуру для подготовки специалистов по цифровому сельскому хозяйству.

Ключевые слова: цифровые технологии, автоматизация, роботизация, мониторинг, средства передачи информации; управленческие решения.

Для цитирования: Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №4. С. 6-10. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.

Digital technologies and robotic devices in the agriculture

Yakov P. Lobachevskiy,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
member of the Russian Academy of Sciences;

Aleksey S. Dorokhov,
Dr.Sc.(Eng.), professor, corresponding member
of the Russian Academy of Sciences, e-mail: vim@vim.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The agricultural industry in the Russian Federation is dynamically developing; the agricultural export amounts to \$25 billion. In other countries, in turn, this figure is much higher, for example, in China it has exceeded \$75 billion. The existing potential can be realized if the efficiency of agricultural production is increased by creating and implementing automation, robotization,

digital technologies, and artificial intelligence. As a result it may lead to a 2.5-3.5-fold increase in labor productivity; a 2-3-fold increase in the yield of crops; a 3-4-fold cut in energy consumption and material costs, ensuring the ecological safety of agricultural production and the environment. The authors developed the concept of intelligent agriculture and identified the following areas of digital technology applications: integrated production management; digital technologies in crop production, animal husbandry, energy supply, products storage and processing; digital engineering for rural areas. The authors presented the stages of agricultural production digitalization, including: a system for monitoring the conditions and parameters of agricultural production; information transmission system; artificial intelligence and cloud technologies, setting the foundation for management decision-making; the implementation of management decisions by robotic devices. The authors presented the examples of using digital technologies in soil cultivation, horticulture, animal husbandry, and artificial ecosystems. In animal husbandry, these technologies prove to facilitate the monitoring of the animals movement, their physiological state, parameters of the microclimate on the premises, feed and milk quality control. The Federal Scientific Agroengineering Center VIM is reported to have the necessary educational infrastructure, accredited Master's and postgraduate studies for training specialists in digital agriculture.

Keywords: digital technologies, automation, robotization, monitoring, information transmission system, management decisions.

For citation: Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Tsifrovye tekhnologii i robotizirovannye tekhnicheskie sredstva dlya sel'skogo hozyaystva [Digital technologies and robotic devices in the agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 6-10 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.

Аграрное производство в Российской Федерации динамично развивается [1, 2]. Экспорт сельскохозяйственной продукции вдвое превышает экспорт вооружений и достигает 25 млрд долл. В то же время в развитых странах этот показатель намного больше: в США – 160 млрд, Нидерландах – 100 млрд, Германии – 88 млрд, Бразилии – 77 млрд, Китае – 75 млрд долл. Огромный потенциал на увеличение может быть реализован при условии резкого повышения эффективности аграрного производства [3].

Применение стремительно развивающихся цифровых технологий, системы интернет вещей, роботизированных комплексов, искусственного интеллекта позволит многократно увеличить эффективность сельскохозяйственного производства, а именно:

- повысить производительность труда в 2,5-3,5 раза;
- увеличить урожайность культур в 2-3 раза;
- снизить энергетические и материальные затраты в 3-4 раза;
- обеспечить экологическую безопасность сельскохозяйственного производства и окружающей среды [4].

Разрабатывая концепцию интеллектуального сельского хозяйства, мы выделяем следующие сферы применения цифровых технологий:

- комплексное управление сельскохозяйственным производством;
- цифровые технологии в растениеводстве, животноводстве, энергообеспечении, хранении и переработке продукции;
- цифровую инженерию сельских поселений, которая позволит обеспечить их энергетическую автономность, комфортный быт сельских тружеников, приблизить качество жизни к городским стандартам (рис. 1).



Рис. 1. Сферы применения цифровых технологий в сельском хозяйстве

Fig.1. The areas of digital technologies applications in agriculture»

Этапы цифровизации сельскохозяйственного производства включают:

- систему мониторинга условий и параметров агропромышленного производства;
- систему передачи информации;
- искусственный интеллект и облачные технологии, на базе которых формируются управленческие решения;
- реализацию управленческих решений роботизированными техническими средствами [5-7].

Внедрение цифровых технологий в растениеводстве начинается с мониторинга состояния почвы и растений, функционального состояния мобильных и стационарных технических средств, параметров протекания технологических процессов. Для этого используют систему специальных датчиков, наземные и воздушные средства мониторинга, программное и аппаратное обеспечение.

Передача информации в режиме реального времени и процесс синхронизации технологических операций возможны при помощи облачных технологий

и технологий искусственного интеллекта.

Реализация управленческих решений осуществляется наземными роботизированными комплексами и беспилотными авиационными системами.

В процессе мониторинга исследуют объекты окружающей природы, в первую очередь почву и растения. Определяют систему показателей, таких как плотность почвы, ее влажность, кислотность, электропроводность, цвет и высоту растений и так далее. Кроме этого контролируют параметры функционирования исполнительных устройств и технологических процессов.

Помимо результатов текущего мониторинга для формирования управленческих решений используют и обширные системные данные, в частности информацию о погодных и климатических рисках.

При помощи мобильных и стационарных диагностических агрегатов осуществляют:

- исследование и составление электронных карт variability параметров плодородия и технологических свойств почвы;
- оценку состояния посевов: плотности вегетативной массы, засоренности, поражения растений болезнями и вредителями, потребности растений в удобрениях;
- мониторинг состояния окружающей среды (рис. 2, 3).



Рис. 2. Мобильные и стационарные диагностические агрегаты для наземного мониторинга

Fig. 2. Ground monitoring systems

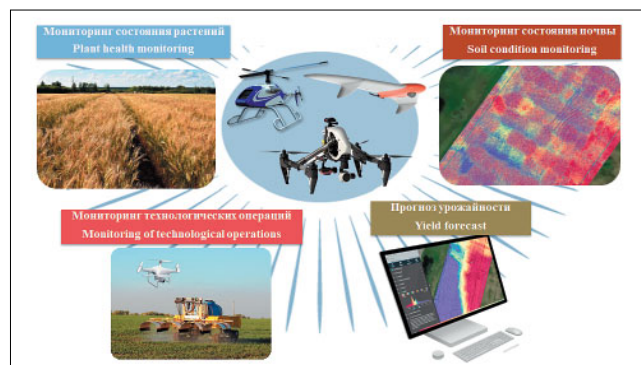


Рис. 3. Воздушный мониторинг

Fig. 3. Air monitoring

Средства наземного мониторинга выполняют свои задачи, но не обладают достаточной производитель-

ностью и ограничены по условиям применения, так как могут повреждать посевы, уплотнять влажную почву и т.п.

Поэтому для исследования сельхозугодий, определения характеристик почвы и растений перспективно создание и применение технических средств воздушного мониторинга, особенно беспилотных летательных аппаратов (рис. 3).

Мониторинг селекционных полей осуществляется с помощью комплексной автономной интеллектуальной платформы. Роботизированная платформа проводит комплекс операций по обслуживанию беспилотных воздушных судов, а также отправляет команды для осуществления технологических операций. По завершении мониторинга в облачной платформе проводится анализ полученных данных, по которым создаются электронные карты и формируются команды по дифференцированному внесению рабочей жидкости на проблемные локальные участки посредством наземных и воздушных роботизированных средств.

Роботизированные средства наземного и воздушного мониторинга получают и передают данные в режиме реального времени в облачную платформу. Искусственный интеллект на основе этих данных автоматизирует реализацию технологических операций роботизированными средствами различного назначения. При этом человек может управлять всеми процессами дистанционно, корректируя технологии искусственного интеллекта (рис. 4).



Рис. 4. Функционирование цифровых технологий в растениеводстве

Fig. 4. Digital technologies in crop production

Мы разрабатываем и внедряем цифровые технологии при выращивании овощей в искусственных экосистемах. Моделируется и контролируется система параметров, активизирующая развитие растений: температура и влажность воздуха, спектр и интенсивность светового потока, подача влаги и питательных веществ к корням растений, подача углекислого газа на листья растений [8].

В ФНАЦ ВИМ разработана роботизированная платформа для индивидуальной подачи питательно-

го раствора к корням растений.

Процессы измерения значений освещенности, минерализации, влажности, температуры автоматизированы. Алгоритмы изменения параметров среды и питания базируются на улавливании реакций растений. По изменению цвета листьев, их формы, динамике роста цифровая система вводит коррективы в параметры микроклимата и питания растений.

Беспилотные летательные аппараты и роботизированные машины активно внедряются в технологии возделывания многолетних садовых насаждений. Цифровой мониторинг позволяет оперативно оценить санитарное состояние плодовых культур, получить информацию о заболеваемости кроны деревьев и в онлайн-режиме оценить урожайность. Полученная информация передается в базу данных для составления цифровых карт заболеваемости и урожайности.

Разработаны алгоритмы распознавания степени заболевания кроны и листовой поверхности плодовых деревьев.

Технология мониторинга урожайности позволяет в онлайн-режиме моделировать количественное распределение плодов в рядах насаждений и составлять цифровую карту урожайности.

Для технологической операции уборки урожая ягодных культур разработана роботизированная платформа с интеллектуальной системой распознавания степени спелости ягод и с автоматическим устройством для их съема. Платформа оснащена адаптивной ходовой системой, модулем машинного зрения и системой цифрового позиционирования.

Цифровые технологии в животноводстве обеспечивают мониторинг перемещения животных, их физиологического состояния, параметров микроклимата в помещениях, контроль качества кормов и молока (рис. 5).

Результаты мониторинга передаются на соответствующие системы сбора и обработки информации с использованием технологий интернета вещей и ис-



Рис. 5. Функционирование цифровых технологий в животноводстве

Fig. 5. Digital technologies in animal husbandry

кусственного интеллекта для формирования совокупности управленческих решений, передаваемых на роботизированные комплексы.

Разработаны модульные роботизированные платформы для создания оптимального микроклимата внутри животноводческих помещений, дозированной раздачи кормовых смесей, дифференцированного доения [9]. При этом обеспечиваются эффективное использование генетического потенциала животных и их продуктивное долголетие.

Выводы. Федеральный центр ВИМ обладает компетенциями, мощной технической базой и готов к сотрудничеству в реализации пилотных проектов по цифровым технологиям в:

- полеводстве;
- садоводстве;
- животноводстве;
- хранении и переработке продукции.

ВИМ имеет необходимую образовательную инфраструктуру, аккредитованные магистратуру и аспирантуру для подготовки специалистов по цифровому сельскому хозяйству.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе // *Техника и оборудование для села*. 2019. N6(264). С. 2-9.
2. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных учреждений для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села*. 2021. N4(286). С. 2-11.
3. Godzhaev Z., Lobachevsky Y.P., Alekseev I., Prilukov A., Godzhaev T.Z. Control systems for unmanned combine harvester. *E3S Web of Conferences. Key Trends in Transportation Innovation*. 2020. 157(2). 01018.
4. Starovoitov S., Akhalaya B., Tsench Y., Kvas S., Zolotarev A.

Automated control complexes of the tillage units operation. *E3S Web of Conferences*. 2020. 175(12). 05020.

5. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С. Цифровые технологии в почвообработке // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N1(30). С. 191-197.

6. Лобачевский Я.П., Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N3(36). С. 40-45.

7. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019. 58(2). 63-74.

8. Dorokhov A., Kirsanov V., Pavkin D., Shilin D., Shestov D., Ruzin S. Calculation of the Manipulator's Kinematic Model and

Mounting Points of the Drive Equipment. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. 1072. 339-348.

9. Dorokhov A., Kirsanov V., Pavkin D., Yurochka S., Vladimirov F. Recognition of Cow Teats Using the 3D-ToF Camera When Milking in the «Herringbone» Milking Parlor. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. 1072. 128-137.

mirov F. Recognition of Cow Teats Using the 3D-ToF Camera When Milking in the «Herringbone» Milking Parlor. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. 1072. 128-137.

REFERENCES

1. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Razvitie intensivnykh mashinnykh tekhnologiy, robotizirovannoy tekhniki, effektivnogo energoobespecheniya i tsifrovyykh sistem v agropromyshlennom komplekse [Development of intensive machine technologies, robotic technology, efficient energy supply and digital systems in the agribusiness]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N6(264). 2-9 (In Russian).

2. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Nauchno-tekhnicheskie dostizheniya agroinzhenernykh nauchnykh uchrezhdeniy dlya proizvodstva osnovnykh grupp sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Scientific and technical results of agro-engineering scientific institutions for the production of main groups of agricultural products]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2021. N4(286). 2-11 (In Russian).

3. Godzhaev Z., Lobachevsky Y.P., Alekseev I., Prilukov A., Godzhaev T.Z. Control systems for unmanned combine harvester. *E3S Web of Conferences. Key Trends in Transportation Innovation*. 2020. 157(2). 01018 (In English).

4. Starovoytov S., Akhalaya B., Tsench Y., Kvas S., Zolotarev A. Automated control complexes of the tillage units operation. *E3S Web of Conferences*. 2020. 175(12). 05020 (In English).

5. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Tsifrovyye tekhnologii v pochvoobrabotke [Digital technologies in soil tillage]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N1(30). 191-197 (In Russian).

6. Lobachevskiy Ya.P., Beylis V.M., Tsench Yu.S. Aspekty tsifrovizatsii sistemy tekhnologii i mashin [Digitization aspects of the system of technologies and machines]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N3(36). 40-45 (In Russian).

7. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Dynamic systems modeling using artificial neural networks for agricultural machines. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019. 58(2). 63-74 (In English).

8. Dorokhov A., Kirsanov V., Pavkin D., Shilin D., Shestov D., Ruzin S. Calculation of the Manipulator's Kinematic Model and Mounting Points of the Drive Equipment. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. 1072. 339-348 (In English).

9. Dorokhov A., Kirsanov V., Pavkin D., Yurochka S., Vladimirov F. Recognition of Cow Teats Using the 3D-ToF Camera When Milking in the «Herringbone» Milking Parlor. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. 1072. 128-137 (In English).

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Лобачевский Я.П. – формирование направлений исследования, разработка теоретических предпосылок, работа с текстом, формирование общих выводов;

Дорохов А.С. – формирование концепции; литературный анализ, обработка материала, работа с иллюстрациями и текстом.

Coauthors' contribution:

Lobachevskiy Ya.P. – formation of research directions, development of theoretical prerequisites, work with the text, formation of general conclusions;

Dorokhov A.S. – concept formation, literary analysis, material processing, work with illustrations and text.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

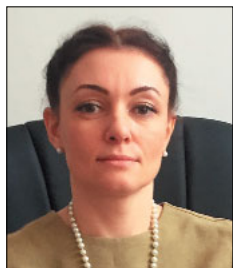
The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

01.11.2021

10.11.2021

Система непрерывного образования в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ



Юлия Сергеевна Ценч,

кандидат педагогических наук, ведущий научный сотрудник,
e-mail: vimasp@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ Москва, Российская Федерация

Реферат. С 1930 по 1991 год в нашей стране была создана и в течение 90-летнего периода совершенствовалась и эффективно действовала стройная система агроинженерных высших учебных заведений и факультетов механизации, которые успешно решили проблему подготовки инженерных кадров для развивающегося механизированного сельского хозяйства. С распадом СССР произошли существенные изменения в системе агроинженерного образования страны. В результате многочисленных реорганизаций и реформ в системе высшего образования России агроинженерные вузы прекратили самостоятельное существование, присоединившись к аграрным университетам. Слияние научно-исследовательских институтов, образование на их базе крупных федеральных научных центров делают целесообразной реализацию непрерывной системы профессионального образования (магистратуры, аспирантуры, докторантуры). В Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ для подготовки современных агроинженерных кадров в области автоматизации, роботизации, цифровых технологий развивается непрерывная система высшего агроинженерного образования. Реализация высшего образования – по образовательным программам магистратуры – стала новой задачей Федерального научного агроинженерного центра ВИМ.

Ключевые слова: система агроинженерных высших учебных заведений, агроинженерное образование, система непрерывного высшего агроинженерного образования, образовательные программы магистратуры, образовательные программы аспирантуры.

Для цитирования: Ценч Ю.С. Система непрерывного образования в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N4. 11-13. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-11-13.

The System of Continuing Education at the Federal Scientific Agroengineering Center VIM

Yulia S. Tsench,
Ph.D.(Ed.), leading researcher,
e-mail: vimasp@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. From 1930 to 1991 our country built a well-structured system of agroengineering higher education institutions and faculties of mechanization that, for 90 years, effectively developed and operated solving the problem of training engineering personnel for the evolving mechanized agriculture. The collapse of the USSR caused dramatic changes in the country system of agricultural engineering education. As a result of numerous reorganizations and reforms in the Russian system of higher education, agroengineering universities ceased to exist independently and had to join agricultural universities. The mergers and integration of research institutions and the establishment of large federal research centers on their basis have made it expedient to implement a continuing professional education system (master's, postgraduate, doctoral studies). The Federal Scientific Agroengineering Center VIM is developing the system of continuing professional education for training modern agricultural engineering personnel

in the field of automation, robotization, digital technologies. A current target of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM is the implementation of Master's degree programs.

Keywords: system of agroengineering higher educational institutions agroengineering education, system of continuing agroengineering higher education, master's degree educational programs, postgraduate educational programs.

For citation: Tsench Yu.S. Sistema nepreryvnogo obrazovaniya v Federal'nom nauchnom agroinzhenernom tsentre VIM [The system of continuing education at the Federal Scientific Agroengineering Center VIM]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 11-13. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-11-13.

В начале 30-х годов прошлого века в России была организована подготовка остро необходимых стране инженерных кадров для нового механизированного сельского хозяйства [1].

К 1965 г. завершено создание стройной системы подготовки инженеров для механизированного сельского хозяйства, которая включала 10 институтов и 47 факультетов механизации и электрификации в сельскохозяйственных и политехнических вузах. Агроинженерные вузы в процессе своего развития превратились в мощные научно-образовательные и культурные центры [1].

В стране была создана и в течение 90-летнего периода совершенствовалась и эффективно действовала стройная система агроинженерных высших учебных заведений и факультетов механизации, которые успешно решили проблему подготовки инженерных кадров для развивающегося механизированного сельского хозяйства [1].

С 1991 г. с распадом СССР произошли существенные изменения в системе агроинженерного образования страны. Перестала существовать единая советская система вузов: часть институтов оказалась в ближнем зарубежье, в результате многочисленных реорганизаций и реформ в системе высшего образования России агроинженерные вузы прекратили свое самостоятельное существование, присоединившись к аграрным университетам, где подготовка инженерных кадров не могла остаться приоритетной. Наметилось противоречие между необходимостью подготовки современных специалистов для технической и научной деятельности и снижением уровня приоритетности подготовки и количества выпуска инженеров.

Тенденцией последнего времени отмечено слияние научно-исследовательских институтов, образование на их базе крупных федеральных научных центров. Укрепление кадрового и интеллектуального потенциала центров, наличие в них разноплановых ученых и специалистов, а также современная исследовательская и производственная инфраструктура создают фундамент и делают целесообразной реализацию непрерывной системы профессионального образования (магистратуры, аспирантуры, докторантуры) [2, 3].

С 2016 г. в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ развивается непрерывная система обра-

зования для подготовки современных специалистов в области автоматизации, роботизации, цифровых технологий (рисунк).

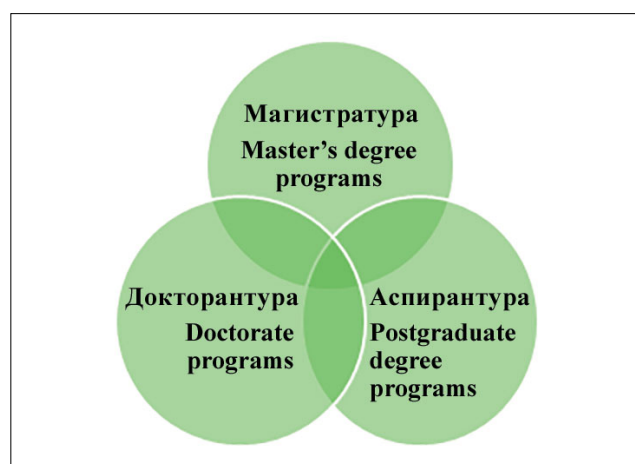


Рис. Система непрерывного образования в ФНАЦ ВИМ
Fig. Continuing education system at Federal Scientific Agroengineering Center VIM

Реализация высшего образования – по образовательным программам магистратуры – стала новой задачей ФНАЦ ВИМ. Такая задача перед центром ставится впервые. Важно отметить, что по сравнению с вузом подготовка магистров будет более адаптированной к исследовательской деятельности, проблемам отрасли, нацеленной на выполнение задач производства при более практической направленности. Обучающиеся в магистратуре центра участвуют в реализации конкретных проектов, работают в рамках современных исследовательских и производственных программ, после завершения подготовки органично вливаются в коллектив исследовательского учреждения [2, 3].

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ осуществляет образовательную деятельность по программам:

магистратуры:

- 35.04.06 Агроинженерия;
- 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника;

аспирантуры:

- 13.06.01 Электро- и теплотехника;
- 35.06.04 Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и

рыбном хозяйстве.

Центр ВИМ заинтересован в международной интеграции, сотрудничая с Аграрным университетом города Циндао (Китайская Народная Республика) в

области образования, науки и технологий, развития международной мобильности студентов и аспирантов с целью подготовки квалифицированных научных кадров для России и Китая.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ценч Ю.С. Становление и развитие научно-технического и кадрового обеспечения агропромышленного комплекса России. М.: ФНАЦ ВИМ. 2021. 156 с.

2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Смирнов И.Г., Ценч Ю.С. Аспирантура в структуре научно-исследовательского института в новых условиях // *Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции*. М.: ВИМ. 2015. С. 41-44.

3. Ценч Ю.С. Аспирантура научно-исследовательского института: теория и практика // *Инновации в профессиональном и профессионально-педагогическом образовании*. Материалы XXI Международной научно-практической конференции; под науч. ред. Е.М. Дорожкина, В.А. Федорова. Екатеринбург. 2016. С. 107-110.

REFERENCES

1. Tsench Yu.S. Stanovlenie i razvitie nauchno-tekhnikeskogo i kadrovogo obespecheniya agropromyshlennogo kompleksa Rossii [Formation and development of scientific, technical and personnel support of the agro-industrial complex of Russia]. Moscow: FSAC VIM. 2021. 156 (In Russian).

2. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Smirnov I.G., Tsench Yu.S. Aspirantura v strukture nauchno-issledovatel'skogo instituta v novykh usloviyakh [Postgraduate studies in the structure of a research institute in new conditions]. *Sbornik nauchnykh докладов*

Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnikeskoy konferentsii. Moscow: VIM. 2015. 41-44 (In Russian).

3. Tsench Yu.S. Aspirantura nauchno-issledovatel'skogo instituta: teoriya i praktika [Postgraduate studies of the Research Institute: theory and practice]. *Innovatsii v professional'nom i professional'no-pedagogicheskom obrazovanii*. Materialy XXI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii; pod nauch. red. E.M. Dorozhkina, V.A. Fedorova. Ekaterinburg. 2016. 107-110 (In Russian).

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант.

Conflict of interest.

The author declares no conflict of interest.
The author read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

04.10.2021
18.11.2021

Opportunities and Challenges for Field Experiment Equipment



Shuqi Shang,
Ph.D., professor,
e-mail: sqingnong@126.com;



Jiasheng Wang,
Ph.D., professor,
e-mail: jiasheng0813@163.com

College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao, People's Republic of China

Abstract. Modern seed industry development could contribute up to 40 percent to increase agricultural production and efficiency. Mechanization of field experiments is an important means to improve the efficiency and precision of field breeding experiments. There is a big gap in the mechanization level and development of field experiments in different countries of the world. The International Association on Mechanization of Field Experiments established in 1964 has played a great role in promoting the development of field experiment mechanization in the world. At present, the advanced field experiment equipment is mainly concentrated in international manufacturers such as Wintersteiger in Austria, Almaco in the United States, Haldrup and Zürn in Germany. As a great agricultural country, China's demand for rice and maize seeds, the major food crops in the last 10 years, is about 250 million kilograms and 1.15 billion kilograms, respectively. A large amount of demand for seeds prompted China's field experiment mechanization that has made great progress. The research team of Qingdao Agricultural University has developed 16 types of new plot planters and plot harvesters which have been popularized and applied in China. But different crops, planting patterns and regional characteristics put forward higher requirements for adaptability of field experiment equipment. The precision of the seeder, the cleaning performance of the seeding and harvesting equipment and the intelligent technology of the equipment need to be further improved. In future development, more attention should be paid to the integration of modern information technology and intelligent technology into field test equipment, to improve operational efficiency and accuracy.

Keywords: field test equipment, mechanization of field experiments, intelligent technology, operation efficiency and accuracy.

For citation: Shang Sh., Wang J. Opportunities and challenges for experimental field equipment. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 14-18 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-14-18.

Возможности и проблемы экспериментального полевого оборудования

Шуци Шан,
Ph.D., профессор, e-mail: sqingnong@126.com;

Цзяшэн Ван,
Ph.D., профессор, e-mail: jiasheng0813@163.com

Колледж машиностроения и электротехники, Циндаоский Сельскохозяйственный университет, Циндао, Китайская Народная Республика

Реферат. Развитие современной семеноводческой отрасли может способствовать увеличению сельскохозяйственного производства и повышению эффективности до 40 процентов. Механизация полевых экспериментов стала важным средством улучшения производительности и точности результатов в селекции. Существует большой разрыв в уровне механизации и развития полевых экспериментов в разных странах мира. Международная Ассоциация по механизации полевых экспериментов, созданная в 1964 году, сыграла большую роль в содействии развитию механизации полевых экспериментов в мире. В настоящее время передовое оборудование для полевых экспериментов в основном сосредоточено у международных производителей, таких как *Wintersteiger* в Австрии, *Almaco* в США, *Haldrup* и *Zürn* в Германии. В Китае хорошо развито аграрное производство. Спрос на основные продовольственные культуры в стране за последние 10 лет составляет: на семена риса около 250 миллионов килограммов и на семена кукурузы 1,15 миллиарда килограммов. Большой спрос



на семена способствовал значительному прогрессу в механизации полевых экспериментов в Китае. Исследовательская группа Сельскохозяйственного университета Циндао разработала 16 типов новых сеялок и комбайнов, которые широко применяются в Китае. Но большое разнообразие культур, схем посадки, а также региональные особенности обуславливают более высокие требования к адаптации полевого экспериментального оборудования. Необходимо и дальше работать над улучшением точности посева, повышением эффективности очистки посевного и уборочного оборудования, а также развитием интеллектуальных технологий. Для повышения эффективности и точности работы следует уделять больше внимания интеграции современных информационных и интеллектуальных технологий при создании оборудования для полевых испытаний.

Ключевые слова: полевое испытательное оборудование, механизация полевых экспериментов, интеллектуальные технологии, эффективность и точность работы.

Для цитирования: Шан Ш., Ван Ц. Возможности и проблемы экспериментального полевого оборудования // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N4. 14-18 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-14-18.

The seed industry of a country is a national strategic industry, a basic core industry, and the source of national food security. The development of the modern seed industry is an internal factor to ensure an increase in grain production, and the contribution rate to agricultural production and efficiency has reached 40% [1]. Before the new seed varieties are put into the market and planted in large areas, complex plot breeding field experiments are needed, covering many aspects such as cultivation and harvest, field plant protection and seed treatment.

The application of field experiment mechanization can effectively improve the efficiency and precision of field experiments, and shorten the plant breeding cycle. The research of field experiment machinery began in the 1930s. In 1935, the world's first batch single row grain plot seeder was invented by Canadian breeding scientist H.J. Kemp [2, 3]. In 1940, the Canadian Craftsmen Machinery Company began to produce an aluminium cone batch short row plot metering device. In 1949, professor Grafius of South Dakota State University developed the first weighing four-row plot seeder. The milestone of field experiment mechanization development is a series of Oyjord plot seeders invented and put into production by Norwegian scientist professor Egil Ojord from 1958 to 1971, and the establishment of the International Association on Mechanization of Field Experiments organized by him in 1964 [4, 5]. Oyjord plot seeders are widely used in Europe, Asia, Africa, America and many other countries [6].

The development of mechanization of field breeding in China began in the 1980s. In particular, with the help of Professor Egil Oyjord, the first Oyjord plot seeder was manufactured in China in 1994. After that, many kinds of plot seeding equipment were developed and controlled by local test stations in China, but the operation standards and performance of domestic planting machinery were uneven. In the past decade, the R&D team of Qingdao Agricultural University, relying on the platform advantages of the International Association on Mechanization of Field Experiments (IAMFE), has made remarkable achieve-

ments in the field of breeding instrument research and development field after years of research and accumulation [7].

International opportunities for field experimental equipment

The IAMFE has 11 national branches around the world and has established contacts with more than 130 countries. The main goal of the organization is to help agronomists and breeders from all over the world to understand the new field breeding machinery and related technologies and improve the efficiency and accuracy of field trials [8]. Up to now, IAMFE has hosted 15 sessions of international conferences and equipment exhibitions on mechanization of Field Experiments and 7 regional conferences. It plays an important role in the development and application of mechanization of field breeding experiments in the world [9].

At present, the international well-known international manufacturers of field experiment equipment include Wintersteiger from Austria, Almaco from the United States and Haldrup and Zürn from Germany [10-12]. Wintersteiger is one of the earliest and most famous field test equipment manufacturers in the world. The equipment produced by Wintersteiger covers the whole process of plant breeding and research from sowing to harvesting. The products include a plot combine and a breeding combine, a plot feed harvester, a plot planter, software solutions for data management, as well as fertilization and crop protection equipment and laboratory equipment [13, 14]. Almaco is another leading field experiment equipment manufacturer in the world. It produces a full range of equipment and instruments, covering the whole process of plant breeding [15]. Although Haldrup and Zürn are small in scale, their products have distinctive characteristics and occupy a certain niche in many countries' markets [16].

Strategy and policy of seed industry in China

China is a big agricultural country, and the demand for seeds is very large. Since 2010, China's main grain crops, rice and corn seed demand has been about 250 mil-

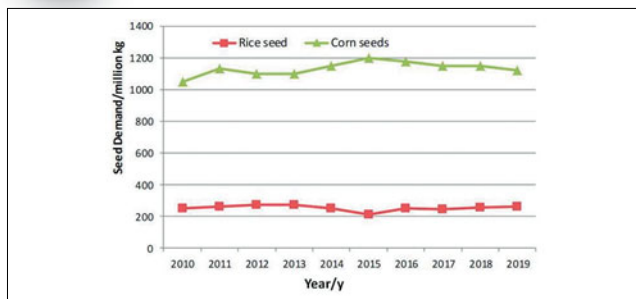


Fig. 1. Rice and corn seed demand in recent 10 years in China

lion kg and 1.15 billion kg, respectively (Fig. 1). At present, the seed breeding stage in China is still dominated by manual operation, with low production efficiency and high labor cost, which leads to low economic benefits of the seed industry, and it is urgent to improve the level of seed mechanization. From 2010 to 2015, the number of seed enterprises with valid business licenses decreased from 8700 to 4660. The concentration of the domestic seed industry has been effectively improved, which is conducive to the emergence of large seed enterprises. With the emergence of large seed companies, the requirements for breeding machinery are getting higher and higher [17].

On July 8, 2000, China government promulgated the seed law of the People's Republic of China to protect the safety of the seed industry in China, encourage the use of efficient and safe seed production machinery, and bring the advanced and applicable manufacturing equipment into the scope of agricultural machinery purchase subsidies. China attaches great importance to the sound and rapid development of field experiment machinery. The «National Development Plan for Modern Crop Seed Industry (2012-2020)» issued by the China State Council clearly points out that one of the development goals of China's crop seed industry is to explore a number of gene resources with outstanding target traits and excellent comprehensive traits and cultivate a number of new varieties with high yield, high quality, multi-resistance, wide adaptability and adaptability to mechanized operation and facility cultivation.

Development and innovation of field experiment mechanization

With the support and guide of IAMFE, a research team on the machinery of field experiments led by prof. Shang Shuqi was built to study plant breeding machinery. Two national projects (2010-2015 and 2016-2020) on plant breeding mechanization were supported by China government. Four plant breeding field bases over 100 ha were built in Shandong Province and Jiangsu Province to carry the field experiments for the plot machine. The research team cooperated with six Chinese manufacturers to develop the equipment for field experiments together (Fig. 3). According to the needs and requirements in breeding machinery in China, the development program plans were determined after careful discussion and analysis. Based on the production model of crop variety breeding in China, the key

problems to be solved in the mechanization of breeding equipment were analyzed. Through innovative research and technical breakthrough, technical problems such as low precision, difficulty to clearly and easily mix in the process of planting and harvesting in the plot were solved [18-21]. As a result of 10 years' research work, 16 new types of plot seeders and plot harvesters were developed by the research team. The operating crops include wheat, corn, rice, peanuts and vegetables (Fig. 2).



Fig. 2. QAU Peanut Combine Harvester

Massive experiments were conducted in the field by using these prototypes. The experimental results show the plot machines' performance can meet the requirements for the plant breeding field experiments in China. Some research prototypes have been made a batch by Chinese manufacturers and launched into the Chinese market (Fig. 3).



Fig. 3. Plot seeders developed by QAU in recent years

Diversity of crop planting patterns

The crops, that need breeding, include wheat, corn, rice, rape, vegetables, etc. each crop has its own breeding mode and requirements. Even for one crop, there are differences in planting patterns in different regions in China because of soil, water source, light, seed size, planting habits and other factors. The common planting methods include flat planting, ridge planting and border planting. There are some differences in the row spacing, ridge spacing and plant spacing in different regions (Fig. 4). To meet the specific requirements for breeding contrast experiments, the plot field experimental mode includes ear row, plant row, plot evaluation and so on.



Fig. 4. QAU Carrot Combine Harvester

Challenges for the technology of field experimental equipment

At present, there are significant technical problems in the mechanization of field breeding in China. The main technical problems are listed as follows:

1. Technology of quantitative seed separation for small size seeds. The technology directly affects the uniformity of seed metering.

2. Seed cleaning technology of a plot seeder. When a plot is sown and the planter goes to the next one, there must be no residual seeds in the planter, otherwise, it will cause mixed planting.

3. Seed cleaning technology in a plot combine harvester. There are the same requirements as for the plot seeder, i.e. when a plot harvesting is finished, the seeds in the harvester must be cleaned up. The parts to be cleaned include the header, disengagement device, cleaning device and conveying channel of the harvester.

4. Many technologies, especially automation and intelligent technology are not mature, some functional links still need to be completed manually, decreasing the field test accuracy and efficiency.

5. Automatic yield measurement technology of a plot combine harvester. The key problem to be solved is the sensing technology of real-time and rapid measurement of seed moisture content.

5. Prospect and suggestions on the future development of experimental equipment.

Problems in the mechanization of breeding

The requirements for crop breeding in China are complex and diverse, there are few effective solutions, and the overall level is still relatively low. At present, there is an

urgent demand for field test machinery and equipment, there is an insufficient research investment and no finalized product. Corn harvesting emasculating machinery and peeling machinery are in short supply. The sowing precision quality of the developed plot sowing equipment is not high, the mechanical damage of the plot harvesting equipment is large, and the impurity content is high after harvesting. Restricted by the overall level of the domestic manufacturing industry, the durability of mechanical equipment is not high enough.

CONCLUSION. It is expected that in the next 10 years, the development trend of the global field breeding mechanization technology will be focused on development and application. There is a large demand for mechanization technology and equipment for field breeding on the domestic market, and the field breeding equipment (instrument) has a good market prospect. With the great support and attention of various countries to the breeding industry, field breeding instruments provide breeders with efficient, fast and accurate technical means for breeding parents and expanding population. Field breeding mechanization will inevitably replace artificial breeding production.

There are several suggestions on the future development of experimental equipment:

1. Pay attention to and speed up the research and development of intelligent, information and standardized technology of breeding test machinery and equipment.

2. Establish mechanization breeding experimental demonstration area of agricultural machinery and agronomy integration, and form a complete breeding regional test and other experimental mechanization technology system.

3. Research on crop phenotypic information technology should be carried out to obtain the data of various traits in each critical breeding period.

4. The technology of continuous acquisition and automatic monitoring of plant morphology, soil and mass ecological environment, plant biochemical tissue and physiological characteristics of crop breeding materials were studied by integrating multi-source information acquisition methods such as video images, multispectral and sensors.

5. Based on the monitoring data, the digital model of breeding materials was constructed, and the information fusion and auxiliary analysis of typical crop breeding process were implemented, as well as variety auxiliary screening and variety adaptability evaluation.

REFERENCES

1. Zhu Ming, Sui Bin, Qi Fei, Yang Zhao. Innovation of agricultural engineering management in pursuing rural revitalization strategy in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 35. N2. 1-9.
2. Liu Shuguang, Shang Shuqi, Yang Ranbing. Analysis of Plot Seeder Development. *Journal of Agricultural Mechanization Research*. 2011. Vol. 3. 237-241.
3. Song Jiangteng, Zhang Shu-min. Current Situation and Developmental Orientation of Plot Seeder. *Journal of Agricultural Mechanization Research*. 2004. Vol. 4. 14-16.
4. Oyjord E. IAMFE forwards from year 2000. *Aspects of Applied Biology*. 2000. Vol. 61. 47-50.

5. Oyjord E. Oyjord plot seeders. Aas, Norway: IAMFE, Secretariate and Information Centre. 1998. 1-2.
6. Shang Shuqi, Yang Ranbing, Yin Yuanyuan, et al. Current situation and development trend of mechanization of field experiments. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2010. Vol. 26. N1. 5-8.
7. Yang Ranbing, Shang Shuqi. Design and testing of a multi-functional curved shovel for excavation and harvesting. *Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2012. Vol. 28. N1. 77-82.
8. Oyjord E. Reflections on the value of IAMFE conferences. *Proceedings of IAMFE/Denmark*. 2008. 9-11.
9. Oyjord E. National strategies for efficient mechanization of field experiments. Regional Conference on Mechanization of Field Experiments, Aleppo (Syria). 1987. 23-27.
10. Yang Wei, Wang Fei, He Zhifei. Development Present Situation and Prospect of Plot Breeding Machinery. *Agricultural Engineering*. 2014. Vol. 4. N6. 7-9.
11. Zang Xiufa, Wang Xiaoyong, Lan Haitao. Research Status and Development Trend of Seeder Machine at Home and Abroad. *Agricultural Science & Technology and Equipment*. 2014. Vol. 12. 53-54.
12. Yang Wei, Li Jiandong, Fang Xiangfa, et al. Domestic and Foreign Current Situation and Development Trend of Seeding Mechanization in Maize Breeding. *Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 6. 9-15.
13. Younis A.F, Tahir H.T, Kareem T.H. A Cleaning Device to Improve the Seeding Performance of a Zero-tillage Seeder. *International Journal of Agricultural and Statistics Sciences*. 2020. Vol. 16. N14. 1-7.
14. Engel R.E., Fischer T., Miller J., Jackson G. A small-plot seeder and fertilizer applicator. *Agronomy Journal*. 2003. Vol. 95. N5. 1-5.
15. Eskandari I., Sartipi N. Construction of an experimental plot seeder of wheat planting and compare it by imported one. *Journal of Agricultural Machinery*. 2016. Vol. 6. N2. 298-311.
16. Fouda T., Salah El-Din I., Derbala A., et al. Optimizing the Performance of Plot Seeder Machine to Suit Wheat Seed Production. *Misr Journal of Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 34. N2. 635-650.
17. Zhu M., Chen H., Li Y. Investigation and development analysis of seed industry mechanization in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2015. Vol. 31. N14. 1-7.
18. Wang Jiasheng, Shang Shuqi. Development of plot precision planter based on seed tape planting method. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2012. Vol. 28. N1. 65-71.
19. Wang Dongwei, Wang Jiasheng, Shang Shuqi. Design and Experimental Study on Seed Metering Device of Peanut Plot Seeder. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2019. Vol. 13. N4. 38-41.
20. Lian Zhengguo, Wang Jiangang, Yang Zhaohui. Development of plot-sowing mechanization in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2012. Vol. 28. N2. 140-145.
21. Gong Linong, Yuan Yuliang, Shang Shuqi. Design and experiment on electronic control system for plot seeder. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2011. Vol. 27. N5. 122-126.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Shang Sh. – scientific guidance, formulating the main directions of the study, developing the theoretical background, finalizing the text, drawing general conclusions and literary analysis.

Wang J. – preparing the initial version of the article, monitoring the reliability of combine harvesters, processing the study results, visualization.

All authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

10.03.2021
25.05.2021

Current Situation and Development Trend of China's Agricultural Machinery Distribution



Tao Chen,
vice president, general secretary,
e-mail: chentaol442@163.com

China Agricultural Machinery Distribution Association (CAMDA), Beijing, People's Republic of China

Abstract. In the year of 2021, the Chinese government allocated 19 billion RMB for agricultural machinery subsidy. The data that accurately describes the scale of China's agricultural machinery market could be calculated by analyzing the national agricultural machinery purchase investment, the total value of the parts market and the replacement market could be inferred. Since the implementation of agricultural machinery purchase subsidies, China's comprehensive mechanization rate of crop cultivation, planting and harvesting has increased rapidly. In 2019, the national comprehensive mechanization rate of crop cultivation, planting and harvesting exceeded 70 percent, and the production of the three major food crops of wheat, rice and corn was basically mechanized. This paper analyzes the scale of the complete machinery market, the market scale of key products in the Chinese agricultural machinery market, the basic situation of Chinese agricultural machinery distribution companies, the basic situation of the Chinese agricultural machinery purchasing groups, and the main gathering platforms of the Chinese agricultural machinery distribution market, explaining the current status of China's agricultural machinery distribution, putting forward suggestions for the development of China's agricultural machinery distribution market. There are major contradictions in the agricultural machinery market in China. The most important one is between supply and demand. In terms of crops, the level of comprehensive mechanization of wheat, rice and maize is relatively high, while the level of comprehensive mechanization of cash crops such as cotton oil, sugar and vegetable tea is relatively low; from a regional perspective, the level of mechanization in the northern plains is relatively high, and the level of mechanization in the hilly and mountainous areas of the south is relatively low; from an industrial point of view, the level of mechanization of planting industry is relatively high, while the level of mechanization of animal husbandry, fishery and processing is low. Meanwhile, the contradiction between manufacturers and distributors, as well as the end-users is further intensifying. This article attempts to explain the efficiency and benefit of agriculture and the return on investment of agricultural machinery purchase. Only when agriculture is competitive, has good efficiency and benefits, and the purchase of agricultural machinery has a good rate of return on investment, can the industry develop healthily.

Keywords: China's agricultural machinery, current situation of distribution, development trends, market size, development suggestions.

For citation: Chen T. Current situation and development trend of China's agricultural machinery distribution. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 19-23 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-19-23.

Современное состояние и тенденции развития распределения сельскохозяйственной техники в Китае

Тао Чен,
вице-президент, генеральный секретарь,
e-mail: chentaol442@163.com

Китайская ассоциация распределения сельскохозяйственной техники (CAMDA), Пекин, Китайская Народная Республика

Реферат. В 2021 году правительство Китая выделило 19 миллиардов юаней на субсидирование сельскохозяйственной техники. Данные, точно описывающие масштабы китайского рынка сельскохозяйственной техники, могут быть получены

ны с помощью анализа программы государственного субсидирования закупки сельскохозяйственной техники, в результате чего можно сделать вывод об общей стоимости рынка автозапчастей. После введения субсидий на закупку сельхозтехники уровень комплексной механизации растениеводства быстро увеличился. В 2019 году он превысил 70 процентов, а производство трех основных продовольственных культур – пшеницы, риса и кукурузы – было в основном механизировано. Показали масштаб китайского рынка комплектного оборудования и ключевых видов сельхозтехники и основные рынки ее сбыта. Провели анализ состояния китайских компаний-дистрибьюторов и групп-закупщиков китайской сельскохозяйственной техники. Дали предложения по развитию рынка сбыта сельхозтехники в стране. Выявили серьезные противоречия, основным из которых стало несоответствие между спросом и предложением. Уровень комплексной механизации пшеницы, риса и кукурузы относительно высок, в то же время он относительно низок при производстве хлопкового масла, сахара и овощного чая. Уровень механизации на северных равнинах выше, чем в холмистых и горных районах юга. Из отраслей лучше механизировано растениеводство, в отличие от животноводства, рыболовства и переработки. Противоречие между производителями и дистрибьюторами, а также конечными потребителями только усиливается. Показали возможность эффективного ведения сельского хозяйства и обоснованного вложения инвестиций в покупку сельхозтехники. Только тогда, когда сельское хозяйство станет конкурентоспособным, эффективным и выгодным, а покупка сельскохозяйственной техники дает хорошую окупаемость инвестиций, отрасль может благоприятно развиваться.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника Китая, господдержка аграрного сектора, механизация сельского хозяйства, инвестиции в покупку сельхозтехники.

Для цитирования: Чен Т. Современное состояние и тенденции развития распределения сельскохозяйственной техники в Китае // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №4. 19-23 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-19-23.

China has become the world's largest agricultural machinery market. There are many articles about the production and application of agricultural machinery in China, but few researches on the circulation link from enterprises to consumers. The data used in this article includes data provided by companies, data provided by consumers, and agricultural machinery purchase subsidy data, so the accuracy is higher. In the year of 2018, the agricultural machinery subsidy was 17.4 billion Yuan. In this way, the total value of the parts market and the replacement market could be inferred to 66.34 billion yuan [1]. The author also argues that China's policy of agricultural machinery subsidy is continuous and steady in recent years. As the efficiency further increases and return on investment of agricultural machinery purchase further rises, agricultural machinery distribution in China will develop correspondingly (Fig. 1).

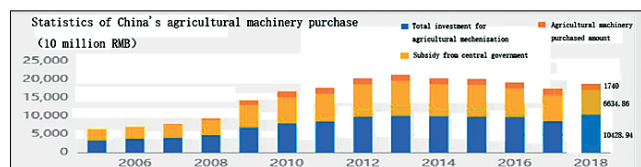


Fig. 1. Statistical changes in the purchase of agricultural machinery nationwide from 2006 to 2018 (data from the Ministry of Agriculture and Rural Affairs)

Since the implementation of agricultural machinery purchase subsidies, China's comprehensive mechanization rate of crop cultivation, planting and harvest has increased rapidly (Fig. 2). In 2019, the Ministry of Agriculture and Rural Affairs accelerated the transformation and upgrading of agricultural machinery [2]. The comprehensive mechanization rate of crop cultivation, planting and

harvest across the country exceeded 70%, which achieved the goal of the "13th Five-Year Plan" schedule one year ahead. The mechanization of the production of the three major food crops of wheat, rice and corn is basically realized [3].

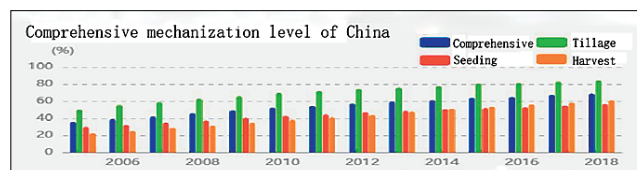


Fig. 2. Changes in the national comprehensive mechanization rate of crop cultivation and harvesting from 2006 to 2018 (data from the Ministry of Agriculture and Rural Affairs)

In the year of 2018, the comprehensive mechanization rate of China is over 70%, which is a relatively high figure. There are many hills and mountains in China, and it is difficult for agricultural machinery to enter the fields. However, in recent years, great achievements have been made in the development of agricultural machinery suitable for hilly and mountainous areas.

Whole machinery market scale and key product market scale of China's agricultural machinery

In 2019, the sales of the whole agricultural machinery market in China was 64.7 billion yuan. Among them: Heilongjiang Province 9 billion yuan, accounting for 14%; Henan Province 6.1 billion yuan, accounting for 9%; Shandong Province 4.5 billion yuan, accounting for 7%; Anhui Province 4.5 billion yuan, accounting for 7%; Inner Mongolia 4.1 billion yuan, accounting for 6%; Jilin Province 4 billion yuan, accounting for 6%; Hebei Province 3.5 billion yuan, accounting for 5%; Hunan Province 3.1 billion yuan, accounting for 5%; other regions 26 billion

yuan, accounting for 40%. Heilongjiang, as well as Henan, Shandong and Anhui are the main grain producing areas in China, which are in line with the sales of agricultural machinery (Fig. 3).

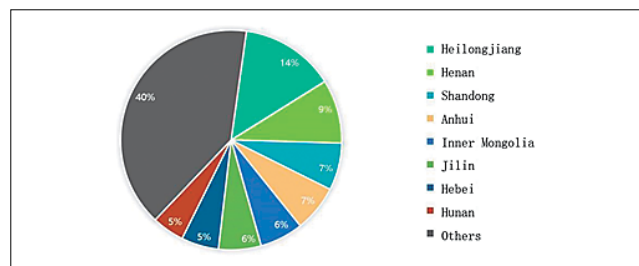


Fig. 3. Proportion of annual sales of the regional complete machine market

Key products

Tractor, harvester and planter are the main agricultural machinery sold in China. The annual sales of tractors in China was 27.3 billion yuan, accounting for 42%; the annual sales of harvesting machinery was 16.2 billion yuan, accounting for 25%; the annual sales of sowing machinery was 3.6 billion yuan, accounting for 6%; the annual sales of other machinery was 17.7 billion yuan, accounted for 27% (Fig. 4).

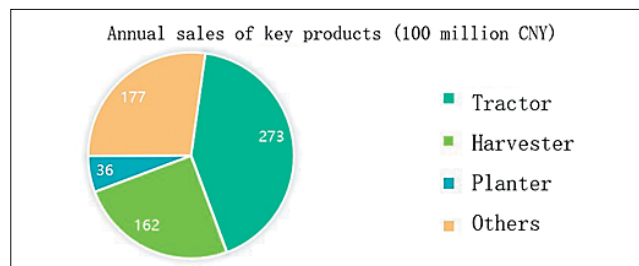


Fig. 4. Annual sales of national key agricultural machinery products

Basic situation of China's agricultural machinery distribution enterprises

Agricultural machinery distribution companies are not evenly distributed in each province. This is closely related to the scale of the land and planting conditions. There are 1,757 agricultural machinery distribution enterprises with annual sales exceeding 10 million yuan. Among them: 220 in Shandong Province, 184 in Jiangsu Province, 168 in Henan Province, 163 in Anhui Province, 124 in Hebei Province, 112 in Inner Mongolia, 101 in Jilin Province, and 685 in other regions (Fig. 5).

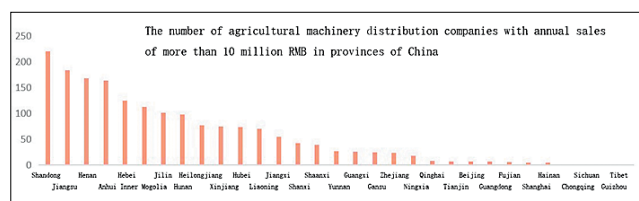


Fig. 5. National agricultural machinery distribution companies with annual sales exceeding 10 million yuan

Basic situation of China's agricultural machinery purchase groups

There were 3649 purchasers with annual purchases exceeding one million yuan. Among them: 510 in Hunan Province, 419 in Xinjiang, 345 in Jiangsu Province, 312 in Jilin Province, 284 in Anhui Province, 217 in Inner Mongolia, 215 in Liaoning Province, 162 in Shandong Province, 147 in Jiangxi Province, 105 in Hebei Province, 103 in Henan Province and 830 in other regions (Fig. 6).

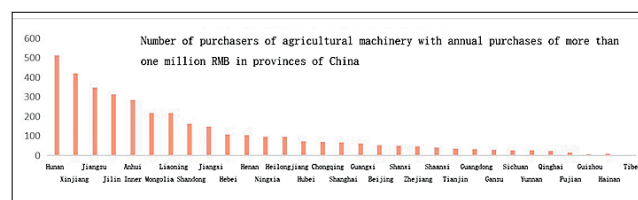


Fig. 6. Distribution of purchasers with annual purchases exceeding one million yuan nationwide

The number of agricultural machinery dealers is not even across provinces in China, because the demand situation in each province is not the same. For example, Heilongjiang Province produces the most food, but because of the large area of land, the sales are mainly large-scale machinery, so the number of dealers is not as many as that of provinces such as Henan, which has a smaller land area.

Main gathering platform of China's agricultural machinery distribution market

1. China International Agricultural Machinery Exhibition. CIAME has a history of more than 60 years. It is a world-renowned professional international exhibition of agricultural machinery held annually (Fig. 7).



Fig. 7. China International Agricultural Machinery Exhibition 2021

In recent years, the exhibition area has exceeded 220,000 square meters. There are about 2,000 domestic and foreign exhibitors and a professional visitor of 135,000 person time. And more than 30 high-end forums and special events are held during CIAME. The exhibition is a world-renowned one and is known as a platform for global agricultural machinery business and brand communication, a platform for agricultural machinery information gathering and interaction, a platform for industrial policy and academic exchange, and a platform for modern agricultural technology and equipment integration and demonstration.

2. Agricultural machinery exhibitions in major provinces and main crop regions. There are more than 20 exhibitions each year.

3. Agricultural machinery field exhibition. It is the public industrial brand established by China Agricultural Machinery Distribution Association. The exhibition selects advanced technology and equipment to display and demonstrate in the field, organize on-site observations, directly dock products with farmers, and the farmers could learn about the machinery performance on the spot. The exhibition is arranged according to different crops and different regions, there are generally about 15 large-scale events throughout the year all over China.

Suggestions for the development of China's agricultural machinery distribution market

1. More attention should be paid to the importance of the guiding role of agricultural machinery purchase subsidies. The subsidy policy reflects the will of the government, and industry development needs to keep up with the situation. The latest policy is the "Guiding Opinions on the Implementation of Agricultural Machinery Purchase Subsidies from 2018 to 2020", which is also publicly available.

2. The distribution of agricultural machinery must be oriented to the entire process of agricultural production, comprehensive, high-quality and efficient. It is necessary to comprehensively consider crop types, topography and landform. The agricultural machinery industry must focus on the overall situation, change the grain-oriented development thinking, and shift from plain agriculture to hilly and mountain agriculture, from food crops to cash crops, horticultural crops, and feed crops [5]. It should develop towards the breeding and processing industries, and fully serve the overall idea of the adjustment of the planting industry structure.

3. It is necessary to strengthen the comprehensive agricultural technical service capabilities and transform to a comprehensive agricultural production technical service provider. Where the customers are, the boundaries of your organization are. The industry needs us to be brave in self-revolution and good at self-evolution. The only reason for survival is to better realize value creation, more comprehensive and in-depth service capabilities. At present, the root cause of the turbulence in the agricultural

machinery market is also that the industry has shifted from the pursuit of efficiency, agricultural machinery ownership, and overall mechanization rate to the pursuit of efficiency, agricultural machinery operation service volume, and single agricultural machinery service coverage [6].

For agricultural machinery operation services, it is necessary to be localized, to have incremental value creation, to deepen scientific and technological power and industry resources into the industrial chain of growers, to help them enlarge the cake, and then try to divide the cake [7-8].

4. It is necessary to attach importance to the socialized agricultural service model, and pay equal attention to the scale of planting and the scale of operation. Agricultural productive services refer to socialized services that run through the chain of agricultural production operations, directly completing or assisting in the completion of various aspects of agricultural operations before, during and after production. Accelerating the development of agricultural productive service industries is of great significance for cultivating new forms of agricultural and rural economy and building a modern agricultural industrial system, production system, and management system. To develop diversified alliances and cooperation to improve the degree of organization of small farmers is a must. The characteristics of China's agricultural resources and the situation of urbanization determine that it is unrealistic to follow the path of mass production and large-scale distribution similar to the United States.

For a long period of time in the future, "appropriate scale" will be the main focus; and scale is the basic prerequisite for the next stage of agricultural productivity improvement. Therefore, it is inevitable that the "agricultural socialized service system" with scale effect will link up and play the role of a platform that "empowers" small and medium farmers, forming a collaborative structure of "agricultural leader + service system + moderately large-scale farmers".

5. It is important to grasp the nature of business and study how to anchor the market. In a rapidly changing world, entrepreneurs will lose their overall grasp of future changes if they just focus on the competitors in front of them. The important thing is to explore how the market is changing, rather than blindly emphasizing how companies are "fickle" [9-10]. In the face of accelerating changes and increasingly complex competition in the business world, one must return to the essence of business to find a cognitive "anchor" for the rapidly changing market turbulence.

CONCLUSIONS

It is believed that in the future, the agricultural machinery industry must first pay attention to two core issues, namely: the efficiency and benefit of agriculture, and the return on investment of agricultural machinery purchase. To put it bluntly, it is whether agriculture makes

money and agricultural machinery makes money. The essence of agricultural machinery is to serve agricultural production. It is an input to agricultural production, and of course it is the cost of agricultural output. Only when agriculture is competitive, has good efficiency and bene-

fits, and the purchase of agricultural machinery has a good return on investment, can the industry develop healthily. It can be said that these two issues are the anchor of the industry.

REFERENCES

1. Shi L., Shi G., Qiu H. General review of intelligent agriculture development in China. *China Agricultural Economic Review*. 2019. Vol. 11. N1. 39-51.
2. Tong H., Qian X.D., Chen Y., et al. Optimal Decision of Agricultural Machinery Product Quality under the Regulation of Government Subsidy Policy. *African and Asian Studies*. 2020. Vol. 19. N3. 218-244.
3. Shujun L. Status and Trends on Sci-Tech Development of Agricultural Machinery in China. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2016. Vol. 47. N2. 115-120.
4. Li W., Xue C.X., Zhu R.X., et al. An Imbalance Analysis of China's Agricultural Machinery Distribution. *Economic Geography*. 2014. Vol. 34. N7. 116-122.
5. Li W., Xue C.X., Zhu R.X., et al. Analysis on production allocative efficiency of agricultural machinery based on frontier theory in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2012. Vol. 28. N3. 38-43.
6. Meng P., Zhang J.S. Effects of silvopastoral system on ecology and economics in the hilly land of Taihang Mountain. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*. 2003. Vol. 2. 117-119.
7. Hu S.H. Study On Development Countermeasures Of Agricultural Machinery Market In China Based On Continued Subsidies. *Chinese Agricultural Mechanization*. 2012. Vol. 6. 26-28.
8. Xu J.H. Peasant's Demand Desire for Agricultural Scientific and Technical Service and Evaluation Analysis: Based on Investigation Conducted in Parts of Jiangsu Province. *Science and Technology Progress*. 2010. Vol. 27. N9. 115-118.
9. Koester U. Foundations of Agricultural Market Analysis and Agricultural Policy. 2020. 440.
10. Chen R., Yang W., Zhang Z. Problems and Countermeasures in Benefit Linkage between Agricultural Leading Enterprises and Farmers. *Asian Agricultural Research*. 2020. Vol. 12. N4. 17-23.

Conflict of interest.

The author declares no conflict of interest.

The author read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

10.03.2021
25.05.2021

Development and Application of the Intelligent Seed Processing Technology and Equipment



Shenghuo Jia^{1,2,3},

Dr.Sc.(Agr.), professor of engineering;

Guochun Liu^{1,2,3},

master of agriculture, senior engineer, general director,
e-mail: liugc213@163.com;

Jun Jia^{1,2,3},

master of management, deputy senior engineer;

Ting Yang³,

bachelor of arts, engineer

¹National Engineering Technology Research Center of Seed Processing Equipment, People's Republic of China;

²Key Laboratory of Seed Processing Technological Equipment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China;

³Aokai Seed Machinery Co., Jiuquan, People's Republic of China

Abstract. Seed processing is an important link in the seed industry chain. Crop seed industry is a national strategic and basic core of industry. Drying, cleaning, selecting, grading, coating, packaging and storage of crop seeds are the main measures to realize the precision sowing of crops and the increase of grain yield and income. Continuously improving the intelligence and fine level of seed processing equipment is of great significance to ensure the production and supply of excellent seeds and the stability of agricultural production. This paper describes the development status of modern seed processing equipment technology in China, introduces the establishment of seed processing equipment engineering technology research center, taking maize, rice, wheat and cotton seed processing technology and machinery as an example, describes the key technologies and technological process of the breakthrough in the major crop seed processing, analyzes the existing problems of seed processing equipment in China at this stage as well as the development trend in the future, provides a reference for government decision makers in resolving the problem of mechanical damage in the process of seed processing and further improving the intellectualization level of seed processing, promotes the common progress of the global seed processing equipment technology.

Keywords: seed, processing equipment, development and application.

For citation: Jia Sh., Liu G., Jia J., Yang T. Development and application of the intelligent seed processing technology and equipment. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021 Vol. 15. N4. 24-28 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-24-28.

Разработка и применение интеллектуальных технологий и оборудования для обработки семян

Шэнхуо Цзя^{1,2,3},

доктор сельскохозяйственных наук, профессор;

Гочунь Лю^{1,2,3},

магистр сельскохозяйственных наук,
главный инженер, генеральный директор,
e-mail: liugc213@163.com;

Цзюнь Цзя^{1,2,3},

магистр, заместитель главного инженера;

Тин Ян³,

бакалавр, инженер

¹Национальный научно-технический центр семеноводческого оборудования;

²Ключевая лаборатория технологического оборудования для обработки семян, Министерство сельского хозяйства и сельских дел Китайской Народной Республики;

³Компания Aokai Seed Machinery Co., Цзюцюань, Китайская Народная Республика

Реферат. Обработка семян – важное звено в цепочке семеноводства. Отрасль растениеводства – это национальная

стратегическая и базовая отрасль промышленности страны. Сушка, очистка, отбор, сортировка, дражирование, упаковка и хранение семян сельскохозяйственных культур являются основными мерами по обеспечению точного посева сельскохозяйственных культур и увеличения урожайности и доходов зерна. Постоянное повышение интеллектуального уровня оборудования для обработки семян имеет большое значение для получения и поставки отличных семян и обеспечения стабильности сельскохозяйственного производства. В этой работе описывается состояние разработки современного оборудования для обработки семян в Китае, рассказывается о создании центра инженерных технологий оборудования для обработки семян. На примере технологий и оборудования для обработки семян кукурузы, риса, пшеницы и хлопка описываются ключевые технологии и технологический процесс, лежащие в основе технологического прорыва в обработке семян основных сельскохозяйственных культур. Анализируются существующие проблемы, связанные с оборудованием для обработки семян в Китае на данном этапе, а также будущие тенденции развития обработки семян. Статья предоставляет рекомендации для лиц, принимающих правительственные решения в области проблем механических повреждений семян в процессе обработки и решения о дальнейшем повышении уровня интеллектуализации обработки семенного материала. Данная работа способствует дальнейшему развитию глобальных технологий в этой сфере.

Ключевые слова: семеноводческое оборудование, разработка и применение.

Для цитирования: Цзя Ш., Лю Г., Цзя Ц., Ян Т. Разработка и применение интеллектуальных технологий и оборудования для обработки семян // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №4. 24-28 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-24-28.

President Jinping Xi put forward, “we must promote the mechanization and intelligence of agriculture vigorously, and add wings of science and technology for agricultural modernization”. “One seed can change the world, the bowls of the Chinese, in any situation, must be firmly held in our own hands, and it should be mainly filled with Chinese grain” [1].

Crop seed industry is a national strategic and basic core of industry. Seed processing equipment is an important link in its industrial chain, which is the main measure to realize precision sowing and the increase of grain yield. Seed processing mainly refers to the seed treatments before planting and the fine processing, drying and storage of the grain after harvest (Fig. 1).

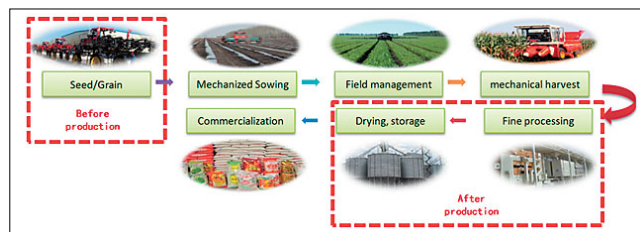


Fig. 1. Seed processing equipment in the crop seed industry chain

Seed processing refers to the process of drying, cleaning, grading, coating, packaging and storage of seeds from harvest to sowing depending on their different biological, physical and mechanical characteristics.

Seed processing equipment is the generic term of specialized processing technology and technical equipment which are designed and adopted for the different breeds of crop and processing requirements. Seed processing equipment is of special significance to ensure the production of fine seeds supply and the stability of agricultural production [2].

Development and application of intelligent seed processing technology and equipment

The National engineering technology research center of seed processing equipment was approved by the ministry of science and technology in 2012, established on Aokai Seed machinery Co., Ltd. Jiuquan, China (Fig. 2). It mainly engaged in the research of the principle of seed processing technology, the key technology of seed processing, the serialization, complete set, and intelligence for the seed processing equipment.



Fig. 2. National Engineering Technology Research Center of Seed Processing Equipment

Aokai Seed machinery Co., Ltd. is close to the core area of national corn seed production base, and it is the largest leading enterprise of seed industrial equipment development and manufacture, ranking first in the industry in China. The main products are seed fine processing, seed drying, metal storage, field seed production, environmental protection and dust removal, and other 10 series included more than 500 varieties.

The center has set up 4 research and development centers in Jiuquan, Lanzhou, Beijing and Chengdu, with 14 sub centers about seed processing, drying and complete engineering, including 128 technicians. In 2020, Aokai Seed machinery Co., Ltd. was rated as national green factory. Our goal is to build it into a garden mold of intelligent green manufacturing factory which manifests the type of brand effectiveness and viewing demonstration.

In the process of manufacture, the advance processing equipment such as laser cutting, numerical control cutting, numerical control machine, automatic welding, precision forging, precision casting has been widely adopted, and the precision of the manufacture of the seed processing equipment has been improved (Fig. 3, 4).



Fig. 3. Hydraulic gravity separation test detection platform



Fig. 4. Hydraulic testing platform

After the implementation of “seed law” in China, the number of seed enterprises in China has decreased from more than 8000 to less than 4000 now. The concentration of seed enterprises has been continuously improved, and the enterprises march toward the road of the large-scale management, which ensured the quality of seed processing and the safety of seed supply [3]. We have realized the industrialization, complete set, large-scale and intelligent of the seed processing in the standardizing, large-scale, mechanized and intensive environment. We pay attention to the seed health, preserve the seed vitality and ensure the processing quality [4].

The production line of the seed processing equipment is mainly divided into corn, rice, wheat, cotton, vegetable and flower seeds [5-7]. In China, corn seed production is a huge industry. In the field of the process of the corn seeds, we have built an intelligent mechanized operation in the whole process, and the mode of the large-scale production (Fig. 5). We developed the complete set of equipment for large-scale processing of corn seeds. We realized the information management, fine processing, mechanized operation and large-scale production of corn seeds. We provided the mechanized processing equipment

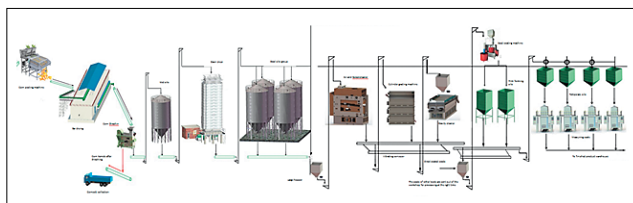


Fig. 5. Engineering processing technology flow of maize seed

of the corn seeds with high cost performance, intelligent, large-scale, engineering in the whole process for seed industry in China.

In terms of the product research and development, according to the processing characteristics of the corn seeds, we have successfully developed large modular corn ear drying equipment, variable temperature drying equipment, intelligent seed sorting and processing equipment, multi-channel corn peeling machine, kneading maize sheller, intelligent batch environmental coating machine and other equipment, forming an advanced and perfect corn seed processing technology and equipment system.

In the application of new technology, the automatic control and information management system of the corn ear drying were researched. Through tracking and analyzing the collected data and corresponding curves, the best drying process parameters for the certain corn seeds were defined (Fig. 6). The remote monitoring and intelligent control of corn ear drying were realized, which reduces the intensity of the operators, and realizes the information recording and administration of the whole process of drying.

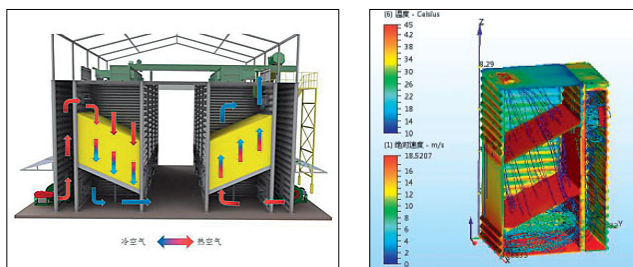


Fig. 6. Schematic diagram of hot air reversing in drying process of corn seed ear

In the aspect of intelligent batch seed coating machine, based on PLC, the units are controlled to operate automatically, orderly, and concordantly, which realize the intelligent and precise addition of the seed coating agent. The pre-mixing system of seed coating agent was developed to solve the problems of various kinds and complex formulations of the seed coating agent.

We have developed an integrated high-clearance self-propelled corn tasseling and spraying equipment, based on the Beidou navigation system, it achieve automatic navigational operation of the spraying machine, which solves the problem of the intelligent control of the mechanized tasseling, spraying, fertilization, reduces the production cost of the corn seed production, and improves

the competitiveness of the seed market. The layout of large-scale corn seed processing plant is constructed. We can develop one-stop solutions from plan, design, manufacture and install. We can complete the integrated turnkey project from the front unloading platform – ear dressing workshop – ear drying – threshing – temporary storage – cleaning processing – intelligent storage (Fig. 7).



Fig. 7. Layout of large-scale corn seed processing plant

In terms of popularization and application, the annual production of the seed production of hybrid maize in the base in Hexi corridor, Gansu, accounts for about 60% of the national demand. The purification rate of corn seeds reaches 99.5%, the damage rate is less than 0.5%, and the germination rate is more than 96%. At present, there are 150 corn ear drying production lines in China, which effectively guarantee the large-scale processing demand of corn seeds.

In the field of rice and wheat seed processing, we mainly solve the problems of processing equipment and intelligent control system, such as precleaning, grain drying, awning removal, gravity separation, pit-hole roller cleaning, specific gravity wind separation, coating and packaging (Fig. 8). In recent years, the demand of the mechanical drying of rice seeds is increasing by year. There are more than 1200 complete sets of wheat and rice seed processing lines in China, which basically meet the current processing requirements of rice seeds in China [8].

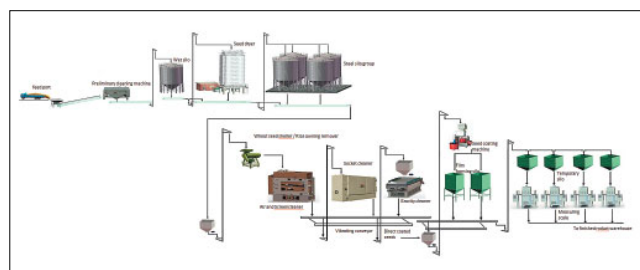


Fig. 8. Rice and wheat seed engineering processing process

The continuous intelligent drying technology of rice and wheat grain were mainly solved. According to the safety temperature of different materials tolerated, the variable temperature drying process was adopted to realize the slow and uniform precipitation of rice and wheat seeds, and reduce the rate of cracking and heat damage of seeds.

In terms of heat source, heat pump is used as clean heat

source to change the traditional drying mode which uses coal as heat source. Large rice dryers with 15 t/h, 30 t/h and even 100 t/h have been developed and produced. The drying temperature is accurately controlled, and energy saving, environmental protection and reduced seed drying cost are achieved.

In the aspect of cotton seed processing, the excessive dilute sulfuric acid depilation process was used to build a complete production line of intelligent decasing of cotton seeds. After processing, the purity of cotton seeds was more than 95%, the germination rate was more than 90%, and the crushing rate was less than 5%. China has built 120 complete sets of cotton seed production lines.

In recent years, color separation and magnetic separation technology have been continuously applied in processing production line of cotton seeds, which significantly improve the quality of cotton seeds. Color separation technology is also suitable for the processing production line of rice and corn seeds.

In the field of seed processing of vegetable, flower and forage seeds, a production line with a processing capacity of 150 kg/h has been developed, which has solved the key technologies of the fine processing single machine and complete set of production regarding polishing, drying, wind separation, specific gravity selection, coating of the vegetables, flowers and grasses seeds. It also provides key technical equipment for the fine processing of vegetable and flower seeds in China.

Seed processing technology in china originated in the 1970s and has a history of 50 years. The development of seed industry equipment has gone through a process from scratch less to much more, small to large, single to complete. The development of seed industry equipment has basically met the needs of China's seed processing equipment, and has been exported to many countries around the world. The technical level of seed industry equipment has reached the international advanced level, which can play an important role in solving the problem of the grain yield, farmers' income, and the eating problems of 1.4 billion people in China.

The future of seed processing

To solve the problem of mechanical seed damage during seed processing, the level of the intelligence in seed process should be further improved. The deep integration of 5G with cloud computing, big data, artificial intelligence, virtual reality and other technologies to establish seed processing parameter database and realize online remote intelligent control of seed process is the goal of the research and development of seed processing equipment in the future.

Quality traceability and on-line monitoring of seed production process should be solved. Machine vision technology, near infrared spectroscopy, hyper-spectral imaging technology, soft X-ray technology, laser speckle technology and other technical means should be applied to detect seed vitality and vigor.

We should adhere to the concept of “scientific and technological innovation lead the development”, build a seed industry equipment innovation system with the government as the leading factor, the market as the guide, enterprises and scientific research institutions as the main body, scientists and technicians as the main force, and the system as the guarantee. We should build a highland of scientific and technological innovation, and make greater contributions to the national food security and the new rural construction [9, 10].

We should further deepen the exchange and cooperation with international seed processing equipment enterprises, promote the common progress of the global seed processing equipment technology, and create a better future for human society.

CONCLUSIONS. With the continuous promotions of the national economic development in the period of “14th five

year plan”, the strategic core position of seed industry in the national economy will be more prominent. The mechanized technology system and equipment of seed industry in China face high-quality development. We should further grasp the development trend of seed industry in China, solve the problem regarding the supply-demand relationship between seed production and processing in the new period, continuously increase the investment in scientific research, strengthen the collaborative innovation and cooperative research, deepen the integration of agricultural machinery and agronomy, strengthen the integrated development of seed industry equipment with intelligence and information, establish the team of scientific talents, and promote the transformation and application of the achievements, which can make important contributions to ensure the food security in China.

REFERENCES

1. Zhang Y.Q. The understanding of the several problems in the reform and development of seed industry. *China Seed Industry*. 2014. Vol. 10. 1-3.
2. Jia Q., Jia J., Jia L., Guo J.F. Probation seed processing industry development of China. *Seed*. 2010. Vol. 9. N3. 119-122.
3. Zhu M., Chen H.J., Li Y.L. Investigation and development analysis of seed industry mechanization in China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2015. Vol. 31. N14. 1-7.
4. Chen H.J., Feng Z.Q., Sun W.H. Implementation of fine seed processing to enhance seed competitiveness. *China seed industry*. 2011. Vol. 5. 9-10.
5. Feng S.Z., Zhao L.W. Problems and Countermeasures of seed processing machinery. *China Seed Industry*. 2005. Vol. 2. 30.
6. Zhang H.J., Wang H.O., Zhao Z.Y., et al. Rapeseed seed processing technology in China. *China Seed Industry*. 2009. Vol. 1. 34-35.
7. Huang D C. Function and management of cotton seed processing. *China Seed Industry*. 2014. Vol. 9. 27-28.
8. Li Y.K., Qiao W.F., Sun S.Z., et al. Experience and suggestions on promoting transformation and upgrading of high quality wheat industry. *China Seed Industry*. 2021. Vol. 2. 32-34.
9. Cao X.Q. Development status and trend of seed processing machinery in China. *Agricultural Science & Technology and Equipment*. 2012. Vol. 1. 87-88.
10. Chang D.F., Yang X.J., Chen T.L. Explore the development status and future trend of seed processing machinery. *Seed technology*. 2019. Vol. 37. N3. 120.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

10.03.2021
25.05.2021

Research on the Progress and Future Development of Technological Innovation of Intelligent Agricultural Machinery in China



Fang Xianfa,
Ph.D., professor,
e-mail: fangxf@caams.org.cn;

Wu Haihua,
Ph.D., professor, e-mail: caamswhh@163.com

Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing, People's Republic of China

Abstract. Agricultural machinery is the key field in modern scientific and technological innovation. In recent years, China has made great achievements in the development of high-performance intelligent agricultural machinery with cutting-edge technology, which promotes the efficient use of agricultural resources and environment-friendly development, and supports 70 percent of China's agricultural mechanization production. This paper mainly focus on the innovation and progress in the field of intelligent agricultural equipment technology in China from the aspects of information perception and precision production monitoring technology, intelligent operation management technologies, power machinery, farmland operation machinery, intelligent harvesting technology, production technology and agricultural products processing equipment. the paper also summarizes that, in the future, green, intelligence and universality will become the main characteristics of the development of intelligent agricultural machinery technology, and cross integration, extension and expansion will become the main direction of technological innovation. At last by referring to the application basis and cutting-edge technology of China's intelligent agricultural machinery industry, the innovation and development goals and research direction of future intelligent agricultural equipment, the scientific and technological innovation and industrial development trend in the field of agricultural mechanization and intelligent application integration, this paper puts forward some suggestions on the research direction of future intelligent agricultural equipment.

Keywords: agricultural machinery; innovation progress; development focus.

For citation: Xianfa F., Haihua W. Research on the progress and future development of technological innovation of intelligent agricultural machinery in China. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 29-34 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-29-34.

Исследование достижений и перспектив развития технологических инноваций в области интеллектуальной сельскохозяйственной техники в Китае

Фан Сяньфа,
кандидат наук, профессор,
e-mail: fangxf@caams.org.cn;

Ву Хайхуа,
кандидат наук, профессор,
e-mail: caamswhh@163.com

Китайская академия наук механизации сельского хозяйства, Пекин, Китайская Народная Республика

Реферат. Сельскохозяйственная техника стала ключевой областью современных научных и технологических инноваций. В последние годы Китай добился больших успехов в разработке высокопроизводительной интеллектуальной сельскохозяйственной техники и применении передовых технологий, которые способствуют эффективному использованию сельскохозяйственных ресурсов и экологически безопасному развитию, а также обеспечивают 70 процентов производства в области механизации сельского хозяйства в Китае. В этой работе основное внимание уделяется инновациям и достижениям в области технологии интеллектуального сельскохозяйственного оборудования в Китае, а именно вопросам восприятия информации, технологии точного мониторинга производства, проблемам технологий интеллектуального управления операциями, энергетического оборудования, машин для обработки сельскохозяйственных угодий, интеллектуальной тех-

нологии сбора урожая, технологий производства и оборудования для переработки сельхозпродукции. В статье также прогнозируется, что в будущем экологичность, интеллект и универсальность станут основными характеристиками развития технологий интеллектуальной сельскохозяйственной техники, а перекрестная интеграция, рост и расширение неотрывно связаны с технологическими инновациями. Наконец, на основе прикладного характера китайской интеллектуальной сельскохозяйственной техники и передовых технологий, учитывая цели инновационного развития и направления исследований будущего интеллектуального сельскохозяйственного оборудования, принимая во внимание научные и технологические инновации и тенденции промышленного развития в области механизации сельского хозяйства и возможности интеллектуальной интеграции, авторы выдвигают некоторые предложения в направлении исследований будущего интеллектуального сельскохозяйственного оборудования.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, инновационный прогресс, фокус развития.

Для цитирования: Синьфа Ф., Хайхуа В. Исследование достижений и перспектив развития технологических инноваций в области интеллектуальной сельскохозяйственной техники в Китае // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №4. С. 29-34 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-29-34.

Agricultural machinery is the key field in modern scientific and technological innovation. Since 2016, China has made significant achievements in technological studies, such as information perception in agricultural machinery operation, lean production, intelligent operation management; key equipment research, such as intelligent agricultural power machinery, efficient, precision and environmentally protective multi-functional field operation equipment, efficient and intelligent harvesting equipment for grain and cash crops, intelligent facility and lean production equipment, intelligent desiccation and precise grading equipment, as well as livestock and poultry processing equipment at the places of production, mechanized technology equipment in hilly and mountainous areas and paddy field. In developing high-performance intelligent agricultural machinery with cutting-edge science and technology, China has developed agricultural machinery that is applicable in featured areas and crops and animal husbandry, also developed small-scale agricultural machinery that finishes the whole production chain of tillage, seeding, planting, pesticide application, harvesting, storage and processing, and has realized whole process monitoring and regulation over production environment, process and operation quality, and has enhanced the application level of water, fertilizer and medicine and agricultural production capacity and efficiency, promoted efficient application of agricultural resources and environmental friendly development, and supported 70% of mechanized agricultural production in China [1].

Information perception and precision production monitoring technology in agricultural machinery operation

Focusing on agricultural lean production, China has developed soil environmental information such as soil moisture, temperature, water potential, tillage resistance, as well as sowing amount, fertilization amount, rice and wheat growth, crop yield and sensors for lean production information, and formed a lean production regulation system based on crop production process and realized the controlling and regulation of more than 70% key param-

eters. China has developed a new mechanism for bio-mimetic farming and precision seeding based on information sensor control, raising the efficiency by about 10%; it has developed physiological and ecological monitoring for livestock and poultry, and digital characterization and classification analysis, growth control and other technologies and sensor monitoring devices, and realized characterization and monitoring of more than 60 parameters, developed fine feeding devices and systems; studied the kinetic characteristics such as field work environment detection, track-slip rate and dynamic load, also realized operation status monitoring over seed flow, sowing and fertilizing depth, grain moisture, grain loss and other operational status, and its testing methods and technologies, and developed special sensing devices and systems, with detection errors of main parameters less than ± 0.02 [2-3].

Intelligent operation and management technologies for agricultural machinery

Besides, China has developed positioning and navigation systems and devices based on Beidou system, self-organizing network technology, machine vision technology, host and machine coordination, path tracking and automatic obstacle avoidance under complicated working conditions with horizontal positioning accuracy of 1 cm + 1 ppm and linear navigation accuracy less than 3 cm in high-speed operation; China has made breakthrough in multi-source information acquisition and fusion control of optoelectronics, electro-hydraulic, and developed intelligent variable application actuators and system devices for seeding, fertilization, irrigation, and pesticide application with response time based on multi-source information decision-making less than 5s, and variable control error less than 5% FS; developed technologies and systems in intelligent control strategy, work flow detection, automatic fault diagnosis, cluster scheduling and remote operation and maintenance technology and system, which can meet the management requirements of agricultural machinery operation of more than 100,000 units; for smart farms, China developed operation decision-making and operation quality management technologies and systems

and formed a typical intelligent control system for agricultural machinery, and realized the application of “Internet + agricultural machinery”.

Power machinery in intelligent farming

Focusing on energy saving, emission reduction, and noise reduction, China has studied key technologies such as electrically controlled high-pressure injection for engine, exhaust gas recirculation, and exhaust gas after treatment, and developed systems for intelligent power output control, overall machine working status monitoring and fault diagnosis, and intelligent management systems. The small and large-scale agricultural diesel engine has been developed with maximum injection pressure of 2000 bar and a torque reserve of more than 30%. China has developed technologies such as power shift and continuously variable transmission, electro-hydraulic lift and suspension type steering drive axle as well as intelligent control, also developed a series of heavy tractors with full power shift, continuously variable transmission, high and low power, which achieved more than 50 hours of trouble-free operation. China has also developed technologies of optimized power distribution and control, energy management strategy, double motor coupling, as well as key components in transmission, steering and suspension, and designed and developed 25 horsepower and 35 horsepower electric motors. China has developed chassis with high passability and high adaptability, gearbox combined with Hydrostatic Mechanical Transmission (HST/HMT) and mechanical transmission, light weight of the whole machine matched with working machine and intelligent control, developed tractors with suitable for hilly and mountainous areas and gradeability if more than 20° and contour farming angle more than 15°; developed a 20-horsepower four-wheel driven/wheel-track type, 70-horsepower crawler type, 80-horsepower crawler type paddy field tractors; developed 25-horsepower, 55-horsepower, and 80-horsepower wheeled horticultural tractors, which provide green and efficient power for the diversified production of modern agriculture.

Efficient, accurate and environmentally friendly multifunctional farmland operation machinery

Aiming at the key links such as seeding, planting, weeding, fertilization and pesticide application, China has made breakthrough in some key technologies such as high-speed precision seeding metering, sowing depth control, and simultaneous seed fertilizer delivery, and developed high-speed precision seeding equipment for rice, soybeans, corn, and wheat and achieved over 90% of working precision at working velocity of 10 km/s; made breakthrough in seedling identification, high-speed seedling picking, precision planting, and developed equipment for high-speed super rice transplanting, rape and vegetable transplanting, with transplanting unit efficiency as high as 7200 seedlings/hour; developed technologies such as ground clearance/wheel gauge control, precision mixing of medicine liquid and seedling zone identification., de-

veloped multi-functional field management equipment in high-clearance precision pesticide application and paddy field light plant protection, with the highest ground clearance height of 2 m and accuracy of liquid application control within $\pm 5\%$; China has broken through the technology of airborne information detection, autonomous flight control, and pesticide application control, and developed a series of agricultural unmanned plant protection operation equipment, with cruise time over 30 minutes; studied soil rapid detection, protective tillage, soil residual film separation technologies, developed laser leveling, residual film separation, and subsurface pipe drainage for soil conditioning; developed technologies such as plot precision seeding, emasculation, pollination, high-cleanliness harvesting, and carried out integrated research and development of corn, wheat, rice, vegetable seed breeding and harvesting equipment [4-5].

Efficient and intelligent harvesting technology and equipment

China has made breakthrough in the key technologies of the combine harvester's intelligent working condition parameter control, high-efficiency and low-loss harvesting, high-throughput threshing and cleaning, and developed an intelligent and efficient rice-wheat combine harvester with a feed rate of over 10 kg/s. China has also made breakthrough in the key components such as corn plant cutting, low-loss ear picking, high moisture content kernel after low loss threshing, as well as intelligent control of working conditions based on loss rate, and developed corn grain harvester with single/double longitudinal axial flow, corn ear and stem harvesters, corn ear combine harvesters, fresh corn combine harvesters, and realized corn damage rate of less than 4% with a corn moisture content of about 30%.

China has made breakthrough in technologies such as automatic alignment, online production measurement, and working condition monitoring, integrated intelligent control system for cotton picking, and developed a six-row cotton box-type and packaged high-efficiency intelligent cotton picker. China has developed technologies such as efficient stalk cutting, low-loss transportation, and stalk-leaf separation, and integrated intelligent control technologies such as alignment and cutting depth, and developed a wheeled/track type sugarcane combine harvester, studied key technologies and devices for the intelligent and low-loss rape harvesting, and developed self-propelled rape combine harvester and rape swath and picking harvester, reducing total loss rate by about 6%; studied the technologies of drag reduction excavation, separation of fruit and soil, and high-efficiency fruit removal and cleaning, and developed high-efficiency self-propelled peanut combine harvesters and harvesters for digging and laying, picking and fruit removal, reducing total loss rate by about 4% [6-7].

Facility intelligent production technology and equipment

Focusing on the lean production needs of vegetables, orchards, edible fungi, livestock and poultry, and aquatic products, taking environmental monitoring and control, efficient planting and harvesting, and intelligent management as the main tasks, China has developed:

- technologies such as standardized seedling cultivation for leaf vegetables, root vegetables, and solanaceous vegetables, seedbed finishing, precise seeding and high-speed planting;

- vegetable precise planting, high-speed planting, integrated water and fertilizer application, and combined harvesting equipment for carrots, cabbage, and brassica chinensis;

- deep fertilization, targeted variable plant protection, and grafting, bagging, harvesting, pruning and other equipment for lean production in orchards;

- high-efficiency and energy-saving facilities, fine environmental regulation, and nutrient coupling supply technologies, as well as intelligent equipment for light, temperature and humidity control, seedling cultivation and planting, seedbed space transport, and robot inspection and harvesting based on the growth characteristics of facility vegetables and edible fungi;

- equipment for precise control of the housing environment, personalized precise feeding, health identification and automatic milking, epidemic prevention and disinfection robots, and complete isolation and bio-safety disposal of sick and dead animals, and the intelligent control system for integrated animal and poultry breeding has realized large-scale application [8].

China has developed technologies such as water quality and environment online inspection and control, aquatic animal feeding behavior identification, and researched and developed intelligent precision feeding, mechanized low-loss fish classification, and the intelligent management and control system of facility aquaculture has been put into application.

Intelligent technical equipment for agricultural products processing

China has developed vibration cleaning, ultrasonic mixed flow cleaning, differential pressure pre-cooling, high-efficiency physical sterilization technologies on agricultural products, and developed low-loss cleaning and quality-preserving equipment for leafy vegetables, potatoes, camellia seeds, and walnuts. China has developed high-moisture multi-structure drying technology, quality-based drying coupling control, drying heat recovery and utilization, and developed high-efficiency and energy-saving drying equipment for seeds, fungi, and Chinese medicinal materials. Compared with traditional drying, the efficiency has been raised by more than 15%, and the energy consumption has been reduced by over 30%.

China has made breakthrough in real-time non-destructive testing of internal and external quality of fruits, such as high-throughput weight, sugar content, and appearance, and developed high-precision online weighing

technologies, complete sets of automated grading equipment for citrus fruits and apples, with single-channel grading capabilities based on multi-source information over 300/min, with accuracy greater than 95%. China has developed short-flow cotton cleaning technology, foreign fiber detection based on spectral imaging, cotton moisture regain online monitoring, and developed intelligent moisture control, foreign fiber removal, new lint cleaning and ginning and other cotton upgrading intelligent equipment; developed the digital and intelligent control technology of tea fixation, flavoring, rolling, shaping and other processes based on quality evaluation, integrated the technology of removing and sorting out impurities, and developed a complete set of tea refining and processing equipment. The fresh leaf processing capacity is more than 400 kg/h.

China has also developed technologies such as synchronous sanitation inspection, multi-station efficient automatic peeling, automatic cleaning and disinfection of livestock carcasses, and precise and automatic online segmentation of poultry; developed a complete set of equipment for slaughter of cattle and sheep and poultry product segmentation. The automatic segmentation capacity of poultry is more than 6000 per hour. China has developed fish and shrimp identification, directional transportation, detection and classification technologies, and developed a complete set of equipment for automatic shrimp peeling and grading, and fish descaling and impurity removal. The processing efficiency of the shrimp peeling equipment reached 450 kg/h. China has developed technologies such as quality monitoring, multi-source information collection and control, environment regulation in storage and logistics distribution, and developed a quality control system for livestock, poultry and aquatic products for cold storage, refrigerated trucks, and refrigerated shelves, reducing the loss rate by more than 5%.

Situation and demand for future development

Green, intelligence, and ubiquitousness have become the main characteristics of technological development. In recent years and for some time to come, the penetration and integration of artificial intelligence, big data, Internet of Things, 5G, and biotechnology is triggering a new round of technological changes in agricultural equipment. Agricultural equipment technology has moved from the mechanization stage where machinery replaces human and animal power to the automation stage based on electronic control technology, and enters a new stage of intelligence centered on information technology. It is developing in the direction of autonomous intelligence with artificial intelligence technology as the core, showing the trend of high efficiency, modernization, intelligence, networking and greening [9-10].

Cross integration, extension and expansion have become the main direction of technological innovation. The development of modern agricultural equipment and technology is facing the new situation and new opportunities



in global agricultural transformation and the new challenges of global food security and climate change. It is necessary to promote multi-field and multi-industry collaborative innovation, continuously integrate biology, agronomy, and engineering technology, and highly integrate advanced manufacturing and information, new materials, new energy, to promote the systematization of soil-animals and plants-machines, the coordination of resources and the environment, the integration of agricultural machinery and agronomy, the joint development of equipment and information, to realize transformation of modern agriculture to precise control, equipment intelligence, lean production, green and efficient intelligent production.

The new generation of intelligent agricultural equipment industry is the main goal of technological development. Facing the new demands and new focus in transformation and upgrading of agricultural equipment industry, the rapid development of intelligent agriculture, and division and coordination of labor in international industries, technological innovation of China's agricultural equipment must be guided by the promotion of comprehensive agricultural mechanization and intelligent production and application, taking leading, supporting and cultivating emergent industry as the core task, China strives to promote the innovation of key core technologies in informatization and intelligentization and make up for the technical weaknesses in operation efficiency, loss control, water and fertilizer application control, and continuously strengthen the foundation, expand the field, extend the chain, improve the level, so as to improve the modernization of the industrial chain and build the new ecology for industrial development.

Innovation goals

Developing intelligent agricultural equipment is a strategic focus for China to realize rural revitalization, agricultural and rural modernization. China plans to make an overall planning of the innovation chain from application foundation to application demonstration, as well as the industrial chain of R&D, design, manufacturing, and service, and the entire agricultural and rural chain of grain economics and feeding, planting, breeding and processing, production and ecological life, with integration between agricultural machinery and agronomy, equipment and information, manufacturing and services, and production and ecology as the main paths. Guided by such goals,

China will strengthen achievement orientation, promote international scientific and technological innovation cooperation, and develop a new generation of intelligent agricultural equipment technology and products, to make China's contribution to global agricultural development.

RESEARCH DIRECTIONS

1. Application foundation and cutting-edge technology. Focusing on the trends and needs of smart equipment, smart manufacturing, smart production and smart ser-

vices, China aims to strengthen basic and cutting-edge technology research, such as fine control of individual animals and plants, structured environment construction of working conditions, sensing and control, autonomous and collaborative operations, robots and smart design applications, and explore the precise control mechanism of water, fertilizer, seed medicine and light, heat, and animal physiological behaviors and the environment, as well as the interaction mechanism of technological equipment, and the mechanism of human-computer-things integration in the operation process, and develop new mechanisms for cultivation and harvesting, new materials and agricultural sensors, high-efficiency drives, transmission and other key components, research and development environment and animal and plant growth inspection, process management, product collection and other operating robots, to form mechanized and intelligent technology system suitable for production scale and mode with the functions of information perception, quantitative decision-making, intelligent production and precise investment [10].

2. Technology research and development for major equipment. Focusing on improving efficient, intelligent and green agricultural equipment, China aims to develop multi-functional land preparation and efficient precision planting, fertilization, seeding, pesticide application, irrigation, and efficient harvesting of seeds and straws, as well as precision planting and efficient harvesting of vegetables and Chinese medicinal materials, large-scale harvesting of oilseeds, cotton, hemp, rubber, sugar cane, large-scale characteristic forest fruit tea, mulberry shaping and pruning, fertilization and pesticide application, fine harvesting and other efficient and intelligent operation equipment for grain and economic crops; develop intelligent heavy tractors and intelligent diesel-electric hybrid, unmanned driving, electric and new energy agricultural power vehicles; study and develop three-dimensional multi-layer high-efficiency facilities, factory-based intelligent planting and breeding equipment and facilities in environmental and energy efficiency control, lean production operations and management; study and develop high-efficiency breeding production equipment in precision breeding and seed expansion, fine selection and automatic seedling breeding; develop intelligent grassland animal husbandry production equipment for grassland conservation and forage and seed planting, harvesting and high-quality processing; develop equipment for soil quality improvement and farmland transformation, agricultural and rural ecological environment restoration and management, disaster prevention and mitigation, efficient storage and transportation of agricultural materials, and emergency production; develop intelligent equipment for the storage and transportation of agricultural, forestry, livestock and aquatic products, such as cleaning and grading, disinfection and sterilization, storage and transportation, and quality inspection, to form an independent and

controllable new generation of intelligent agricultural equipment technology and product system, build the core competitiveness of the industry, and support the transformation and upgrading of the industry to mid-to-high end.

3. Agricultural mechanization and intelligent application integration. Focusing on the demands of modern agriculture for high-quality, high-efficiency, green ecology and sustainable development, China will study the efficient, standardized, and green production technology, supporting facilities and systematic modes under characteristics of different agricultural production areas, agronomic requirements, planting and breeding scales, farming systems and climate environment, and the efficient mechanized production technologies under the new seed breeding conditions and form an overall solution for planting, breeding, and production mechanization and intelligentization suitable for different scales, and carry out integrated research and development of operation equipment in hilly and mountainous areas, drying and storage mechanization equipment, and mechanized breeding equipment, mechanized equipment for agricultural and rural waste disposal and comprehensive utilization; carry out integrated research and development of equipment for laser leveling, precision seeding, precise pesticide application, high-efficiency fertilization, integrated water and fertilizer, water-saving irrigation, high-efficiency and low-loss

harvesting, carry out integrated research and development of equipment for agricultural intelligent, unmanned production and processing equipment application, promote the high-quality, efficient, green and sustainable development of modern agriculture.

CONCLUSIONS. Scientific and technological innovation is the key to achieving a higher level of development in agriculture. At present and in the years to come, we will witness continuous breakthroughs in gene editing, big data, artificial intelligence and extensive integration with various fields, which will trigger a new round of agricultural production methods, operation modes and industrial changes. Agricultural equipment is facing huge opportunities and challenges. It is necessary to pay more attention to the collaborative promotion of innovation from a global scale, with major equipment as the core, informationization and intelligence as the main line, to promote the integration of the Internet, Internet of Things, cloud computing, big data and agricultural machinery equipment and achieve the complementarity of traditional intensive farming and modern equipment, promote the transformation of agricultural development mode, constantly improve labor productivity, land output rate, resource utilization rate and comprehensive production capacity, and better guarantee global food supply.

REFERENCES

1. Deng X.M., Hu X.L., Bai Y.C., et al. National Agricultural Machinery Industry Innovation and Development Report (2018). Machinery Industry Press. 2019. 181-182.
2. Wu W J. Research on agricultural intelligent technology in mechanical engineering automation. *Metallurgical Collections*. 2020. Vol. 5. N3. 267-268.
3. Li L.L., Meng C.Y., et al. Application Research on information perception technology of tractor suspension system in field operation. *Value Engineering*. 2019. Vol. 38. N8. 167-169.
4. Ren N., Zhou J.N., Dai H.J., et al. Bibliometric analysis of information perception and precision agriculture research at home and abroad. *Information exploration*. 2017. Vol. 11. 104-113.
5. Sun H., Li S., Li M.Z., et al. Research Progress on Application of agricultural information imaging perception and deep learning. *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery*. 2020. Vol. 51. N5. 1-17.
6. Liu P.Z., Meng X.W., et al. Design of precision agriculture information perception system based on Internet of things. *Computer Engineering and Science*. 2012. Vol. 34. N3. 137-141.
7. Sun S.P., Wei J.L., Hua C.Y. Application of intelligent technology in agricultural machinery. *South Agricultural Machinery*. 2020. Vol. 51. N20. 23, 25.
8. Wang B., Fang X.F., Wu H.H. Review and prospects of scientific and technological innovation of agricultural equipment in New China. *Agricultural Machinery Quality and Supervision*. 2019. Vol. 10. 12-14.
9. Liu C.L., Lin H.Z., Li Y.M., et al. Research status and development trend of intelligent control technology for agricultural equipment. *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery*. 2020. Vol. 51. N1. 1-18.
10. Ma H.T., Zhao X.Y., Tong Y.F. Intelligent agricultural equipment information system for intelligent manufacturing. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*. 2020. Vol. 41. N11. 171-177.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

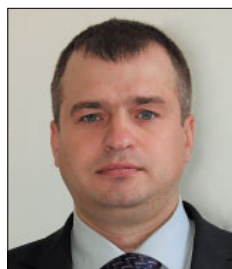
All authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

10.03.2021
25.05.2021

Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур



Игорь Геннадьевич Смирнов,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник;

Дмитрий Олегович Хорт,
кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник;
Алексей Игоревич Кутырев,
кандидат технических наук,
научный сотрудник, e-mail, alexeykutyrev@gmail.com

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали, что существующие модели промышленных роботов не могут выполнять технологические процессы уборки урожая яблок. Отметили необходимость разработки специальных исполнительных устройств, захватных приспособлений и новых алгоритмов управления для сбора урожая в садоводстве. (*Цель исследования*) Разработать систему интеллектуального управления промышленными технологиями в садоводстве и роботизированные технические средства для мониторинга урожайности и сбора плодов. (*Материалы и методы*) Использовали современные методы компьютерного моделирования и программирования. Применили методологию системного анализа, теорию искусственных нейронных сетей, распознавание образов, цифровую обработку сигналов. Разработку программного обеспечения программно-аппаратных средств проводили в соответствии с требованиями ГОСТ. Использовали языки программирования C/C++ с библиотекой *OpenCV*, *Python*-среду разработки *Spyder*, фреймворк *PyTorch* и *Flask*, а также *JavaScript*. Разметку изображений для обучения нейронных сетей провели в *VGG ImageAnnotator* и в *Labelbox*. При проектировании оперировали методом конечных элементов, программной средой САПР *SolidWorks*. (*Результаты и обсуждение*) Создали систему интеллектуального управления промышленными технологиями в садоводстве на базе программно-аппаратного комплекса «Агроинтеллект ВИМ». Показали, что концепция системы реализуется с помощью компьютерной и коммуникационной техники, роботизированных машин, программного обеспечения для сбора, систематизации, анализа и хранения данных. Определили, что захват аккуратно фиксирует яблоко и надежно удерживает его. Время на фиксацию плода в зависимости от размера составляет 1,5-2,0 секунды, максимальные размеры плода – 85 на 80 миллиметров, а его максимальный вес – 500 граммов. (*Выводы*) Разработанный программно-аппаратный комплекс системы интеллектуального управления промышленными технологиями «Агроинтеллект ВИМ» обеспечивает оперативную обработку в реальном времени информации, необходимой для проектирования интеллектуальных агротехнологий с применением роботизированных машин и систем искусственного интеллекта.

Ключевые слова: интеллектуальная система, роботизированная платформа, производственная система «Умный сад», нейронная сеть, программный комплекс, мониторинг насаждений, роботизированный сбор урожая.

Для цитирования: Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Кутырев А.И. Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №4. С. 35-41. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-35-41.

Intelligent Technologies and Robotic Machines for Garden Crops Cultivation

Igor G. Smirnov,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher;
Dmitriy O. Khort,
Ph.D.(Agr.), leading researcher;

Aleksey I. Kutyrev,
Ph.D.(Eng.), researcher,
e-mail: alexeykutyrev@gmail.com

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The existing models of industrial robots cannot perform technological processes of apple harvesting. It is noted that there is a need for developing special actuators, grippers and new control algorithms for harvesting horticulture products. (*Research*

purpose) The research aimed to develop an intelligent control system for horticulture industrial technologies and robotic techniques for yield monitoring and fruit harvesting. (*Materials and methods*) The research methodology was based on such modern methods as computer modeling and programming. In particular, the following methods were applied: systems analysis, artificial neural networks theory, pattern recognition, digital signal processing. The development of software, hardware and software was carried out in accordance with the requirements of GOST technical standards. The following programming languages were used: (C / C++)-based OpenCV library, Spyder Python Development Environment, PyTorch and Flask frameworks, and JavaScript. Image marking for training neural networks was carried out via VGG ImageAnnotator and in Labelbox. The design process was based on the finite element method, CAD SolidWorks software environment. (*Results and discussion*) An intelligent management system for horticulture industrial technologies has been created based on the «Agrointellect VIM» hardware and software complex. The concept of the system is shown to be implemented via computer and communication technology, robotic machines, the software for collecting, organizing, analyzing and storing data. The gripper proves to fix an apple gently and holds it securely. Depending on the size, the fruit fixation time is 1.5-2.0 seconds, the fruit maximum size is 85 per 80 millimeters, and its maximum weight is 500 grams. (*Conclusions*) The developed intelligent control system for industrial technologies based on «Agrointellect VIM» hardware and software complex ensures the efficient real-time processing of information necessary for the design of intelligent agricultural technologies using robotic machines and artificial intelligence systems.

Keywords: intelligent system, robotic platform, smart garden, neural network, software package, plant monitoring, robotic harvesting.

For citation: Smirnov I.G., Khort D.O., Kutyrev A.I. Intellectual'nye tekhnologii i robotizirovannye mashiny dlya vozdel'yvaniya sadovykh kul'tur [Intelligent technologies and robotic machines for garden crops cultivation]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 35-41 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-35-41.

Мировое научное сообщество разрабатывает фундаментальные принципы, методы и технологии по роботизации технологических процессов в сельскохозяйственном производстве (в том числе садоводстве), уделяя внимание цифровому управлению производственными процессами, мониторингу состояния и распознаванию биологических объектов системами компьютерного зрения. Созданы предпосылки для создания и широкого распространения роботизированных технических средств:

- модули компьютерного зрения;
- системы компьютерного зрения для идентификации плодов и координат их расположения для последующего сбора урожая;
- программное обеспечение для обработки информации;
- широкий выбор орудий и приборов для оснащения мобильной техники с учетом требований технологий производства продукции.

Однако основная трудность, с которой сталкиваются разработчики роботов для садоводства, – отсутствие технических устройств, способных в автономном режиме осуществлять технологические действия с высокой производительностью, в условиях множества изменяющихся факторов окружающего пространства (освещенность, влажность почвы, перепады температур и др.). В системе механизированного процесса возделывания плодовых и ягодных культур уборка урожая – важный завершающий этап, который требует разработки новых удобных автоматизированных технических устройств, установленных на роботизированные платформы, способных в автономном режиме проводить деликатный сбор урожая, ис-

ключающий травмируемость плодов. В связи с этим актуальна разработка автоматизированных устройств для снятия плодов фруктовых насаждений с минимальными повреждениями или без них на высоте до 5 м. Существующие модели промышленных роботов невозможно использовать при погрузке, выгрузке, сортировке и сборе урожая яблок. В частности, необходимо разрабатывать специальные исполнительные устройства, захватные приспособления и новые алгоритмы управления ими для сбора урожая плодовых насаждений в полевых условиях. Требуется установить оптимальные конструктивные параметры устройств съема, обосновать критерии системы управления.

Цель исследования – разработка программно-аппаратного комплекса системы интеллектуального управления промышленными технологиями в садоводстве и роботизированных технических средств для мониторинга урожайности и сбора плодов в производственной системе «Умный сад».

Материалы и методы. Использованы современные методы компьютерного моделирования и программирования, а также методология системного анализа, теории искусственных нейронных сетей, распознавания образов, цифровой обработки сигналов. Программное обеспечение программно-аппаратных средств разработано в соответствии с требованиями ГОСТ 24.103-84, ГОСТ 24.104-85, ГОСТ 34.601-90. Действуют языки программирования C/C++ с библиотекой *OpenCV*, *Python*-среда разработки *Spyder*, фреймворк *PyTorch* и *Flask*, а также *JavaScript*. Обработка экспериментальных данных осуществлялась с помощью программных средств *PTC Mathcad*, *Microsoft Excel*, разметка изображений для обучения нейрон-

ных сетей проведена в *VGG ImageAnnotator* и в *Labelbox*. При проектировании применены метод конечных элементов, программная среда САПР *SolidWorks*. При проведении экспериментальных исследований понадобились современные измерительные приборы, электронные тяговые весы ЭВК/ЭВСК-10РМ, портативный люксметр *AR823*, измеритель влажности *gm620*, лазерный дальномер *DISTOX310*, метеостанция *imetos 3.3* с комплектом датчиков. Для оценки и уточнения параметров электронных компонентов и сборки плат управления позиционированием и движением робототехнических средств использованы программно-аппаратные средства: 3D-принтер, *RTK*-станция *REACH RS+*, осциллограф, мультиметр, инвертор 12В-220В.

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований в Федеральном агроинженерном научном центре ВИМ разработана система интеллектуального управления промышленными технологиями в садоводстве «Агроинтеллект ВИМ». Концепция данной системы реализуется с помощью компьютерной и коммуникационной техники, роботизированных машин, программного обеспечения для сбора, систематизации, анализа и хранения данных [1, 2] (рис. 1).

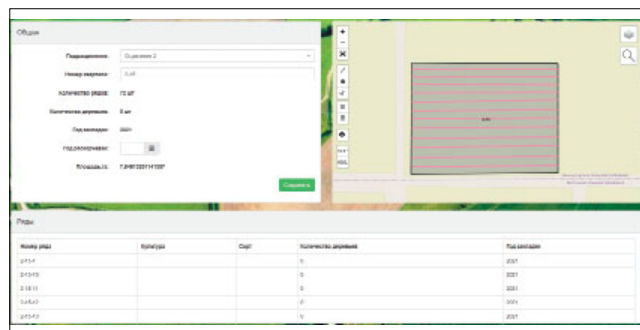


Рис. 1. Система интеллектуального управления промышленными технологиями в садоводстве «Агроинтеллект ВИМ»
Fig. 1. The system for the intelligent management of industrial technologies in «Агроинтеллект ВИМ» horticulture

Эффективные управленческие решения принимаются на основе многокритериального анализа многомерных массивов информации об объектах производственного процесса (почве, растениях, сельхозмашинах и др.). Программно-аппаратный комплекс управления агротехнологиями «Агроинтеллект ВИМ» обеспечивает цифровой мониторинг насаждений, оперативный контроль в реальном времени информационных потоков, определяющих особенности роста и состояния растений в критические фазы развития, поступающих от регистрирующих приборов на основе искусственного интеллекта. Примером может служить мобильное приложение, которое обеспечивает возможность сбора данных с насаждений с фотофиксацией и определением местоположения объектов с последующей передачей данных на сервер. Система

«Агроинтеллект ВИМ» позволяет не только осуществлять мониторинг состояния садовых насаждений, но и проектировать и контролировать выполнение технологических процессов роботизированными машинами при возделывании садовых культур и уборке урожая.

В систему «Агроинтеллект ВИМ» включена разработанная роботизированная платформа, предназначенная для работы в посадках: плодовых деревьев интенсивного типа с шириной междурядий 2,5-4,0 м; кустарниковых ягодников (смородины) с междурядьями 2,5-3,0 м; земляники садовой в открытом грунте со схемой посадки 0,9×0,3 м [3, 4].

Предложена конструкция платформы, имеющая две ходовые оси с одинаковыми по размеру колесами и рамой-корпусом параллелепипедной формы. В программной среде САПР *SolidWorks* разработана 3D-модель роботизированной платформы (рис. 2).



Рис. 2. Изометрический вид роботизированной платформы
Fig. 2. The isometric view of a robotic platform

Конструктивно роботизированная платформа состоит из рамы со стойками, энергетической установки, электротрансмиссии, блоков электронной системы управления. Ее преимущество заключается в интеллектуальной системе управления движением, энергоустановкой и электротрансмиссией. Энергосредство может работать в трех режимах:

- дистанционное управление;
- автономный – по электронным картам местности с использованием сигналов *GPS*;
- беспилотный – с помощью модулей машинного зрения.

Для выполнения трудоемких операций по уборке плодов и ягод разработаны манипулятор и интеллектуальная система управления роботизированным оборудованием, обеспечивающие деликатный съем без повреждений плода при различных климатических параметрах и условиях освещенности, без участия человека [5]. Роботизированное устройство предназначено для проведения технологической операции сбо-

ра урожая плодов яблони. Манипулятор имеет 3 степени свободы, перемещение звеньев возможно как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости (рис. 3).



Рис. 3. Роботизированное устройство с системой управления

Fig. 3. Robotic device with a control system

Характеристики роботизированного устройства:

количество степеней свободы	3;
количество уровней управления	2;
количество управляемых звеньев (подвижных подсистем)	3;
вылет руки, мм	
без учета захвата	1400;
с учетом захвата	1490;
максимальная грузоподъемность, г	500;
скорость съема одного плода, с	15;
язык программирования – Python, C++, среда Arduino IDE.	

Новизна разработки заключается в созданной на основе рекуррентной нейронной сети глубокого обучения интеллектуальной системе управления [6-9].

Система интеллектуального управления манипулятором разделена на несколько блоков:

- стереопар – основная часть, направленная на взаимодействие с внешней средой;
- электронный блок управления, включающий два отдельных контура управления, обусловленных программными и аппаратными особенностями;
- блок управления положением вертикальной оси (стойки) роботизированного устройства;
- блок управления положением подъемника (стрелы) роботизированного устройства;
- блок управления положением захвата.

Различные сенсорные устройства, в частности датчики обратной связи и видеокамеры, передают собираемую информацию в общую память манипулятора. Электронный блок управления использует информацию при формировании команд на передачу управляющих воздействий исполнительным механизмам. Для оптимальной скорости распознавания плодов яблони и получения максимальной точности результата выбрана сегментирующая нейронная сеть глу-

бокого обучения [10-14]. Принцип работы такой нейросети заключается в разделении (сегментировании) анализируемой фотографии на классы и выделении конкретных объектов (пораженный болезнью участок, яблоко, ветка и т.д.). На первом этапе анализа нейронная сеть проверяет изображение на наличие искомого объекта и выделяет его в рамку. На втором – определяет его точные границы. Для поиска известных зависимостей (отличительных особенностей или закономерностей искомого объекта на картинке) используются алгоритмы пошагового уменьшения качества изображения.

Для обучения нейронной сети, устойчивой к изменяющимся климатическим условиям, применены известные алгоритмы расширения обучающего множества искаженными вариантами изображений (аугментацией) библиотеки *Python imgaug 0.3.0*. (сдвиги, небольшие повороты, гауссово размытие, шум) [14-16]. Согласно методике разметки данных можно выделять необходимые объекты на изображении и присваивать каждой ограничивающей рамке нужный класс [17]. Для подготовки выборки для обучения в первом подходе решили разделить яблоки на два класса – яблоко и фон – и сделать разметку фотографий. Для этого выбрали программу с открытым исходным кодом *VGG Image Annotator*. Она позволила получить контур выделенных яблок и классифицировать их как яблоки, что необходимо в процессе обучения, с сохранением результатов выделения в файле формата *JSON* (рис. 4) [18-21].



Рис. 4. Процесс разметки данных и выделения классов изображения в *VGG Image Annotator*

Fig. 4. The process of data markup and highlighting image classes in *VGG Image Annotator*

Разработана и испытана тест-система сбора объемного датасета – механизма хранения информации, который предоставляет быстрый доступ к большим объемам данных. С помощью камер *Go-Pro HERO-8* собран датасет для обучения нейросети. Данный метод позволил получить объемное изображение плодов с разных ракурсов. Определены расстояния для съемок (0,2; 0,5 и 1 м) с ракурсов, которые перекрывают друг друга. Проведена съемка более 25 000 фотографий заданных классов яблок. Все координаты и метки созданных рамок для каждой фотографии со-

храняются в отдельном *XML* файле. После обработки и разметки фотографий подготавливается датасет с разделением всех фотографий и файлов меток на обучающую и тестовую выборку. Для обучения модели использованы библиотеки машинного обучения *TensorFlow Object Detection API*, библиотеки вычисления на *GPU*, библиотеки работы с изображениями и графиками. Отснятый набор данных, датасет, сгруппирован равномерно по классам. Его можно увеличить с помощью ряда случайных преобразований, чтобы модель никогда не увидела повторяющееся изображение.

После разметки яблок выборку разделили на тренировочную и тестовую в соотношении 80 и 20%. Тренировочная предназначена для обучения нейросети, а тестовая – для проверки. Каждая из масок представляет собой картинку формата *PNG* с разметкой, на которой пиксели без яблока изображены черным цветом, а пиксели, принадлежащие одному плоду, помечены по контуру и закрашены другим цветом (рис. 5).

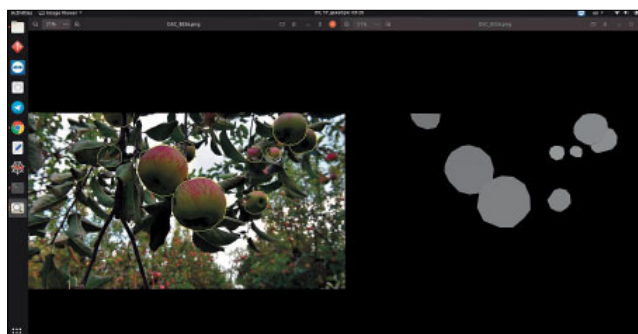


Рис. 5. Преобразование разметки формата *JSON* в битовые маски

Fig.5. Converting *JSON*-based markup to bitmasks

Результатом работы разработанной нейронной сети стала система мониторинга количества плодов и точные координаты расположения каждого из них на кроне дерева (рис. 6).



Рис. 6. Результаты идентификации плодов яблони и их координат на кроне дерева

Fig. 6. Results of apple fruits identification and their coordinates on the tree crown

Проведено полевое тестирование роботизированной платформы с интеллектуальной системой управления и манипулятором с исполнительным механизмом деликатного захвата плода (рис. 7).

При выполнении технологической операции сбо-



Рис. 7. Полевое тестирование роботизированного манипулятора на УРП

Rice. 7. URP manipulator field testing

ра плодов в полевых условиях робот-манипулятор срывает плод и перемещает его в тару для хранения. Если захват не сможет точно зафиксировать момент срыва плода, то он продолжит тянуть плод после его отрыва. Наличие в системе датчика срыва плода позволит сократить время сбора вследствие исключения лишних движений манипулятора. В момент, когда плодоножка отсоединилась от ветки, захват получает резкое ускорение в сторону отрыва плода. Это резкое ускорение и будет показывать момент отрыва плода от ветки. Для регистрации данного ускорения применен датчик – трехосевой акселерометр *ST Microelectronics LIS331DLHTR* (напряжение питания 1,5-3,6 В, тип интерфейса *i2c, spi*, чувствительность 0,1 м/с²).

В качестве исполнительного механизма захвата выбрали линейный шаговый актуатор *Nema 18*, имеющий следующие технические характеристики:

масса, г	80;
длина штока, мм	110;
максимальная скорость хода штока, мм/с	4;
точность позиционирования, мм	0,001;
номинальное напряжение питания, В	4,2;
максимальный потребляемый ток, А	0,5.

Согласно вычисленным нагрузкам провели прочностной расчет. Установили, что нагрузки не превышают допустимые, запас прочности – более 15 МПа. Максимальная нагрузка на лапы захвата составляет 9,3 МПа, максимальная деформация – 0,3 мм. Интеллектуальная система управления оборудованием роботизированного устройства для съема плодов способна определить момент срыва плода с плодоножки, а также контролировать степень давления лап захвата на него. В результате проведенной серии экспериментов подтверждена работоспособность захвата, он аккуратно фиксирует плод и надежно удерживает его. Время на захват яблока в зависимости от размера составляет 1,5-2,0 с, максимальные размеры захватываемого плода – 85×80 мм, а его максимальный вес – 500 г.

Выводы. Программно-аппаратный комплекс сис-

темы интеллектуального управления промышленными технологиями в садоводстве «Агроинтеллект ВИМ» обеспечивает оперативную обработку в реальном времени информации, необходимой для проектирования интеллектуальных агротехнологий с применением роботизированных машин и систем искусственного интеллекта. Система позволяет не только осуществлять мониторинг состояния садовых насаждений, но и проектировать и контролировать выполнение технологи-

ческих процессов роботизированными машинами при возделывании и уборке садовых культур.

Для выполнения трудоемких операций по уборке плодов и ягод разработаны роботизированная платформа, манипулятор и интеллектуальная система управления роботизированным оборудованием, обеспечивающие деликатный съем без повреждений плода при различных климатических параметрах и условиях освещенности, без участия человека.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хорт Д.О., Кутырев А.И., Смирнов И.Г., Воронков И.В. Разработка системы автоматизированного управления агротехнологиями в садоводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N2. С. 61-68.
2. Ampatzidis Y., Tan L., Haley R., Whiting M.D. Cloud-based-harvest management information system for hand-harvested specialty crops. *Computers and electronics in agriculture*. 2016. 122. 161-167.
3. Fountas S., Sorensen C.G., Tsiropoulos Z., Cavalaris C., Lianos V., Gemtos T. Farm machinery management information system. *Computers and electronics in agriculture*. 2015. 110. 131-138.
4. Khort D., Kutyrev A., Filippov R., Semichev S. Development control system robotic platform for horticulture. *E3S Web of Conferences*. 2021. 262. 01024.
5. Khort D., Kutyrev A., Filippov R., Kiktev N., Komarchuk D. Robotized platform for picking of strawberry berries. *IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Informatics Science and Technology*. 2019. 869-872.
6. Khort D.O., Kutyrev A.I., Filippov R.A., Vershinin R.V. Device for robotic picking of strawberries. *E3S Web of Conferences*. 2020. 193. 01045.
7. Wu A., Zhu J., Ren T. Detection of apple defect using laser-induced light backscattering imaging and convolutional neural network. *Computers and Electrical Engineering*. 2020. 81. 106454.
8. Sofu M.M., Er O., Kayacan M.C., Cetisli B. Design of an automatic apple sorting system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. 127. 395-405.
9. Baranowski P., Mazurek W. and Pastuszka-Wozniak J. Supervised classification of bruised apples with respect to the time after bruising on the basis of hyperspectral imaging data. *Postharvest Biology and Technology*. 2013. 86. 249-258.
10. Bhatt A.K., Pant D. Automatic apple grading model development based on back propagation neural network and machine vision, and its performance evaluation. *AI and Society*. 2015. 30(1). 45-56.
11. Smirnov I.G., Kutyrev A.I., Kiktev N.A. Neural network for identifying apple fruits on the crown of a tree. *E3S Web of Conferences*. 2021. 270. 01021.
12. Kavdir I., Guyer D.E. Evaluation of different pattern recognition techniques for apple sorting. *Biosystems engineering*. 2008. 99. 211-219.
13. Zhang B., Huang W., Gong L., Li J., Zhao C., Liu C., Huang D. Computer vision detection of defective apples using automatic lightness correction and weighted RVM classifier. *Journal of Food Engineering*. 2015. 146. 143-151.
14. Kleynen O., Leemans V., Destain M.-F. Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples. *Journal of Food Engineering*. 2005. 69. 41-49.
15. Unay D., Gosselin B., Kleynen O., Leemans V., Destain M.-F., Debeir O. Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2011. 75. 204-212.
16. Blasco J., Aleixos N., Moltó E. Machine vision system for automatic quality grading of fruit. *Biosystems Engineering*. 2003. 85(4). 415-423.
17. Kavdir I., Guyer D.E. Comparison of artificial neural networks and statistical classifiers in apple sorting using textural features. *Biosystems Engineering*. 2004. 89. 331-344.
18. Gene-Mola J., Gregorio E., Guevara J., Auat F., Sanz-Cortiel-la R., Escola A., Lorens J., Morros J.-R., Ruiz-Hidalgo J., Vilaplana V., Rosell-Polo J.R. Fruit detection in an apple orchard using a mobile terrestrial laser scanner. *Biosystems engineering*. 2019. 187. 171-184.
19. Gongal A., Amatya S., Karkee M., Zhang Q., Lewis K. Sensors and systems for fruit detection and localization: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. 116. 8-19.
20. Steinbrener J., Posch K., Leitner R. Hyperspectral fruit and vegetable classification using convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. 162. 364-372.
21. Lv J., Wang J., Xu L., Ma Z., Yang B. A segmentation method of bagged green apple image. *Scientia Horticulturae*. 2019. 246. 411-417.

REFERENCES

1. Khort D.O., Kutyrev A.I., Smirnov I.G., Voronkov I.V. Razrabotka sistemy avtomatizirovannogo upravleniya agrotekhnologiyami v sadovodstve [Development of an automated management system for agricultural technologies in horticulture]. *Sel'skookhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 61-68 (In Russian).
2. Ampatzidis Y., Tan L., Haley R., Whiting M.D. Cloud-based-harvest management information system for hand-harvested spe-

cialtycrops. *Computers and electronics in agriculture*. 2016. 122. 161-167 (In English).

3. Fountas S., Sorensen C.G., Tsiropoulos Z., Cavalaris C., Liakos V., Gemtos T. Farm machinery management information system. *Computers and electronics in agriculture*. 2015. 110. 131-138 (In English).

4. Khort D., Kuttyrev A., Filippov R., Semichev S. Development control system robotic platform for horticulture. *E3S Web of Conferences*. 2021. 262. 01024 (In English).

5. Khort D., Kuttyrev A., Filippov R., Kiktev N., Komarchuk D. Robotized platform for picking of strawberry berries. *IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology*. 2019. 869-872 (In English).

6. Khort D.O., Kuttyrev A.I., Filippov R.A., Vershinin R.V. Device for robotic picking of strawberries. *E3S Web of Conferences*. 2020. 193. 01045 (In English).

7. Wu A., Zhu J., Ren T. Detection of apple defect using laser-induced light backscattering imaging and convolutional neural network. *Computers and Electrical Engineering*. 2020. 81. 106454 (In English).

8. Sofu M.M., Er O., Kayacan M.C., Cetisli B. Design of an automatic apple sorting system using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. 127. 395-405 (In English).

9. Baranowski P., Mazurek W. and Pastuszka-Wozniak J. Supervised classification of bruised apples with respect to the time after bruising on the basis of hyperspectral imaging data. *Postharvest Biology and Technology*. 2013. 86. 249-258 (In English).

10. Bhatt A.K., Pant D. Automatic apple grading model development based on back propagation neural network and machine vision, and its performance evaluation. *AI and Society*. 2015. 30(1). 45-56 (In English).

11. Smirnov I.G., Kuttyrev A.I., Kiktev N.A. Neural network for identifying apple fruits on the crown of a tree. *E3S Web of Conferences*. 2021. 270. 01021 (In English).

12. Kavdir I., Guyer D.E. Evaluation of different pattern re-

cognition techniques for apple sorting. *Biosystems engineering*. 2008. 99. 211-219 (In English).

13. Zhang B., Huang W., Gong L., Li J., Zhao C., Liu C., Huang D. Computer vision detection of defective apples using automatic lightness correction and weighted RVM classifier. *Journal of Food Engineering*. 2015. 146. 143-151 (In English).

14. Kleynen O., Leemans V., Destain M.-F. Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples. *Journal of Food Engineering*. 2005. 69. 41-49 (In English).

15. Unay D., Gosselin B., Kleynen O., Leemans V., Destain M.-F., Debeir O. Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2011. 75. 204-212 (In English).

16. Blasco J., Aleixos N., Moltó E. Machine vision system for automatic quality grading of fruit. *Biosystems Engineering*. 2003. 85(4). 415-423 (In English).

17. Kavdir I., Guyer D.E. Comparison of artificial neural networks and statistical classifiers in apple sorting using textural features. *Biosystems Engineering*. 2004. 89. 331-344 (In English).

18. Gene-Mola J., Gregorio E., Guevara J., Auat F., Sanz-Cortiel-la R., Escola A., Lorens J., Morros J.-R., Ruiz-Hidalgo J., Vilaplana V., Rosell-Polo J.R. Fruit detection in an apple orchard using a mobile terrestrial laser scanner. *Biosystems engineering*. 2019. 187. 171-184 (In English).

19. Gongal A., Amatya S., Karkee M., Zhang Q., Lewis K. Sensors and systems for fruit detection and localization: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. 116. 8-19 (In English).

20. Steinbrener J., Posch K., Leitner R. Hyperspectral fruit and vegetable classification using convolutional neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. 162. 364-372 (In English).

21. Lv J., Wang J., Xu L., Ma Z., Yang B. A segmentation method of bagged green apple image. *Scientia Horticulturae*. 2019. 246. 411-417 (In English).

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Смирнов И.Г. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования, разработка теоретических предпосылок, формирование общих выводов.

Хорт Д.О. – проведение научных исследований, анализ результатов исследований, литературный обзор.

Кутырев А.И. – проведение научных исследований, обработка лабораторных и полевых данных, редактирование и оформление материалов.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution statement:

Smirnov I.G. – scientific supervision, study conception and design, the development of theoretical premises, the formulation of general conclusions.

Khort D.O. – conducting scientific research, analysis and interpretation of research results, literature review.

Kutyrev A.I. – conducting scientific research, laboratory and field data processing, draft manuscript preparation.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

01.11.2021

18.11.2021

Повышение точности аэрофотосъемки с применением наземных контрольных точек



Рашид Курбанович Курбанов,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;

Наталья Ивановна Захарова,
аспирант, младший научный сотрудник;
Дмитрий Михайлович Горшков,
младший научный сотрудник,
e-mail: smedia@vim.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали возможность оперативного сбора актуальной информации о состоянии сельскохозяйственных угодий с помощью беспилотного воздушного судна. Отметили, что использование наземных опорных точек повышает точность измерений в проекте, помогает сравнить результаты постобработки проекта с реальными измерениями. (*Цель исследования*) Сравнить результаты стандартной и высокоточной постобработки данных аэрофотосъемки с использованием наземных опорных точек. (*Материалы и методы*) Провели аэрофотосъемку на селекционном поле площадью 1,1 гектара. Использовали беспилотное воздушное судно DJI Matrice 200 v2 с приемником GNSS L1/L2 и модифицированной камерой DJI X4S, пять опорных точек размером 50 × 50 сантиметров и мультиспектральный GNSS-приемник EMLID Reach RS2. Изучили результаты научных исследований по применению наземных опорных точек при проведении аэрофотосъемки. (*Результаты и обсуждение*) Определили, что погрешность геопривязки изображений, полученных посредством беспилотного воздушного судна, без опорных точек значительно выше при стандартной обработке данных по сравнению с высокоточной. Погрешность проекта при применении пяти опорных точек выше в 3,9 раза для стандартной обработки данных. (*Выводы*) Показали, что с помощью наземных опорных точек можно повысить точность измерений в проекте, а также сравнить результаты его постобработки с измерениями на местности. Определили, что высокоточный мониторинг позволяет обойтись меньшим количеством наземных опорных точек. Выявили, что для получения данных с точностью 2-4 сантиметра в плане и по высоте при высокоточной постобработке нужно использовать не менее 3 наземных опорных точек. **Ключевые слова:** цифровое земледелие, дистанционное зондирование, беспилотное воздушное судно, наземные контрольные точки, опорные точки, высокоточная аэрофотосъемка.

Для цитирования: Курбанов Р.К., Захарова Н.И., Горшков Д.М. Повышение точности аэрофотосъемки с применением наземных контрольных точек // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №4. С. 42-47. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-42-47.

Improving the Accuracy of Aerial Photography Using Ground Control Points

Rashid K. Kurbanov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Natalia I. Zakharova,
postgraduate student, junior researcher;

Dmitriy M. Gorshkov,
junior researcher,
e-mail: smedia@vim.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The authors showed that it is possible to quickly collect up-to-date information on the agricultural land condition using an unmanned aerial vehicle. It was noted that the use of ground control points increases the accuracy of project measurements, helps to compare the project post-processing results with the real measurements. (*Research purpose*) To compare the results of standard and high-precision post-processing of aerial survey data using ground control points. (*Materials and methods*) Aerial photography was carried out on a 1.1-hectare breeding field. The authors used DJI Matrice 200 v2 unmanned aerial vehicle with a GNSS L1/L2 receiver and a modified DJI X4S camera, five control points sized 50 × 50 centimeters and an EMLID Reach RS2 multi-frequency GNSS receiver. The results of scientific research into the use of ground control points during aerial photography

were studied. (*Results and discussion*) It was found out that the error of georeferencing images obtained by an unmanned aerial vehicle without control points is significantly higher during the standard data processing compared to the high-precision one. The project error when using five control points is 3.9 times higher during the standard data processing. (*Conclusions*) It was shown that using ground control points it is possible to improve the project measurement accuracy, as well as compare the project post-processing results with the measurements on the ground. It was detected that the high-precision monitoring enables the use of fewer ground control points. It was found out that in order to obtain data with the accuracy of 2-4 centimeters in plan and height, at least 3 ground control points need to be used during the high-precision post-processing.

Keywords: digital farming, remote sensing, unmanned aerial vehicle, ground control points, high-precision aerial photography.

For citation: Kurbanov R.K., Zakharova N.I., Gorshkov D.M. Povyshenie tochnosti aerofotosemki s primeneniem nazemnykh kontrol'nykh tochek [Improving the accuracy of aerial photography using ground control points]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 42-47 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-42-47.

Беспилотные воздушные суда (БВС) представляют собой универсальный инструмент в цифровом сельском хозяйстве для оперативного сбора актуальной информации [1-5].

Технологический процесс мониторинга сельскохозяйственных угодий начинается со сбора данных с помощью БВС и навесного оборудования (мульти-спектральных, термальных и гиперспектральных камеры) [6-10]. Условно все операции можно разбить на 4 группы:

- сбор данных;
- конвертация и подготовка данных;
- обработка и дешифрация данных;
- создание рекомендаций.

Собранные данные подготавливаются к обработке и анализу, на основе которых формируются рекомендации.

Значительную роль в выработке рекомендаций играет точность измерений. Чтобы ее повысить, наземные контрольные или опорные точки (*GCP – Ground Control Points*) применяются как стандартная часть рабочего процесса постобработки [11]. Опорная точка – опознанная на снимке контурная точка объекта, координаты которой получены в результате геодезических измерений. В виде опорных точек целесообразно использовать мишени, их количество зависит от сложности и площади рельефа. Чем больше площадь и сложнее рельеф, тем больше опорных точек необходимо. Наземные контрольные точки размещают на поле перед осуществлением аэрофотосъемки. Они используются для повышения качества данных, получаемых после обработки, и для проведения оценки точности измерений [12-13].

Цель исследования – сравнение результатов стандартной и высокоточной постобработки проекта с наземными опорными точками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследование проводили на селекционном поле картофеля площадью 1,1 га в Федеральном исследовательском центре картофеля имени А.Г. Лорха.

В качестве платформы использовали квадрокоптер *DJI Matrice 200 v2* с установленным приемником

GNSS L1/L2 [14]. Дрон с пыле- и влагозащитой способен осуществлять полеты при скорости ветра до 20 м/с, что актуально при работе в поле на открытой местности [15-16].

Аппарат оснащен модифицированной камерой *DJI X4S 20Mp* (5472 × 3648) с трехосевым стабилизатором. Полеты осуществлялись с помощью мобильного приложения *DJI Pilot*.

Для получения высокоточных данных использовали мультичастотный *GNSS*-приемник *EMLID Reach RS2*. Подключение происходило к базовой станции *МСК-3*, расположенной на расстоянии менее 25 км (рис. 1).



Рис. 1. Платформенное решение для высокоточного мониторинга сельскохозяйственных полей (слева направо): беспилотное воздушное судно *DJI Matrice 200 v2* с *GNSS*-приемником, контрольная точка, мультичастотный *GNSS*-приемник *EMLID Reach RS2* на треноге

Fig. 1. Platform solution for agricultural field high-precision monitoring (from left to right): *DJI Matrice 200 v2* unmanned aerial vehicle with *GNSS* receiver, control point, *EMLID Reach RS2* multi-frequency *GNSS* receiver on a tripod

Для проверки точности данных использовали пять контрольных точек размером 50 × 50 см, расположенных с учетом перепадов высот (рис. 2) [17]. Их точные координаты зафиксированы с помощью мульти-

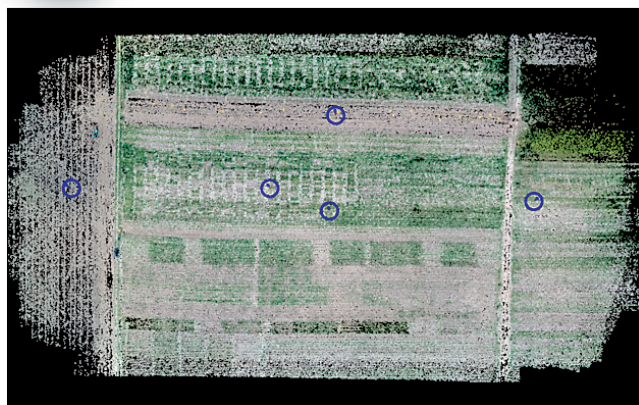


Рис. 2. Расположение опорных точек на карте
Fig. 2. The control points' location on the map

частотного геодезического приемника *EMLID Reach RS2* в режиме *Survey*. Все координаты записывались в соответствии с всемирной системой геодезических параметров Земли 1984 г. (*WGS 84*).

Фотограмметрическая обработка данных осуществлялась в программном обеспечении *Pix4D Mapper*. Для обработки *rgb*-данных использовали шаблон *3D Maps*.

Для обработки высокоточных данных задействовали программу *TopoSetter 2 pro*. Она учитывает высокоточные координаты, полученные с базовой станции и *GNSS*-антенны. *TopoSetter 2 pro* способна заменить навигационные координаты в *EXIF*-тегах изображений на высокоточные.

Каждая из опорных точек на этом этапе выступала в роли контрольной и была отмечена на серии фотографий, полученных с БВС. Отмечалась середина опорной точки, координаты которой были взяты с помощью *GNSS*-приемника (рис. 3).

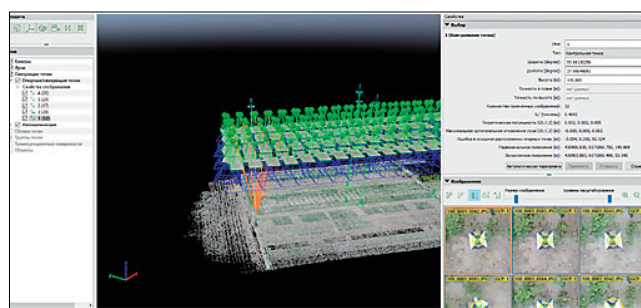


Рис. 3. Геопривязка изображений, полученных с беспилотного воздушного судна

Fig. 3. Georeferencing of images obtained by an unmanned aerial vehicle

Для оценки погрешности *RMSE* (*Root Mean Square Error*) по каждой из осей использовали среднеквадратичные ошибки *RMSE_x*, *RMSE_y*, *RMSE_z* [18-19]:

$$RMSE_x = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{oi} - X_{GNSSi})^2}}{n}, \quad (1)$$

$$RMSE_y = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{oi} - Y_{GNSSi})^2}}{n}, \quad (2)$$

$$RMSE_z = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_{oi} - Z_{GNSSi})^2}}{n}, \quad (3)$$

где *n* – количество опорных точек;

X_{oi}, *Y_{oi}* и *Z_{oi}* – координаты *X*, *Y* и *Z*, полученные после первичной аэротриангуляции;

X_{GNSSi}, *Y_{GNSSi}* и *Z_{GNSSi}* – координаты *X*, *Y* и *Z*, измеренные с помощью *GNSS*-приемника в полевых условиях.

Для оценки погрешности всего проекта применили формулу среднеквадратичной ошибки *RMSE_p* [20-21]:

$$RMSE_p = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{oi} - X_{GNSSi})^2 + (Y_{oi} - Y_{GNSSi})^2 + (Z_{oi} - Z_{GNSSi})^2}}{n}. \quad (4)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Мониторинг селекционного поля осуществляли на высоте 50 м. Собрали 158 фотографий видимого диапазона. Продольное и поперечное перекрытие установлено на 75%. Разрешение (*GSD* – *Ground Sampling Distance*) для ортофотоплана составило 1,4 см/пикс.

В программе *Pix4D Mapper* создали 12 проектов: по 0-5 опорных точек для высокоточной и стандартной обработки данных. Поскольку исследуемое поле имело прямоугольную форму, опорные точки расположили по краям и в центре (рис. 4) [22].

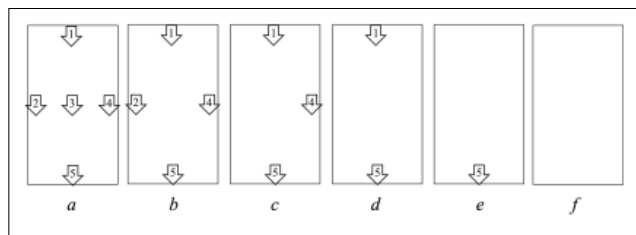


Рис. 4. Расположение опорных точек

Fig. 4. The control points' distribution

Погрешность геопривязки изображений, полученных с БВС без использования высокоточной постобработки, значительно выше. При использовании пяти опорных точек погрешность стандартной обработки выше по

Таблица		Table	
РЕЗУЛЬТАТЫ СТАНДАРТНОЙ/ВЫСОКОТОЧНОЙ ПОСТОБРАБОТКИ ПРОЕКТА С ОПОРНЫМИ ТОЧКАМИ RESULTS OF PROJECT STANDARD / HIGH-PRECISION POST-PROCESSING WITH CONTROL POINTS			
GCP Name	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z [m]
1	−0,090/0,000	0,021/0,001	0,098/−0,004
2	0,053/0,018	−0,052/0,028	0,083/−0,010
3	−0,094/0,002	0,064/0,003	0,059/0,000
4	−0,056/−0,031	−0,058/0,033	0,024/0,023
5	0,077/0,025	−0,084/0,003	−0,045/−0,008
Mean, m	−0,022/0,003	−0,022/0,014	0,044/0,000
Sigma, m	0,081/0,022	0,062/0,016	0,057/0,013
RMS Error, m	0,076/0,020	0,059/0,019	0,067/0,012

оси x в 3,8 раза, по оси y в 3,1 раза, по оси z в 5,6 раз (таблица).

Погрешность проекта при применении пяти опорных точек выше в 3,9 раза при стандартной обработке данных по сравнению с высокоточной. Без использования опорных точек точность проекта в плане и по высоте при стандартной обработке метровая, а при высокоточной – сантиметровая. При использовании 3 и более опорных точек средняя квадратичная ошибка проекта уменьшается (рис. 5).

Выводы. Применение наземных опорных точек позволяет повысить точность измерений в проекте, а также сравнить результаты постобработки проекта с реальными измерениями.

Высокоточный мониторинг дает возможность обойтись меньшим количеством наземных опорных точек. Для получения данных точностью 2-4 см в плане и по высоте (XYZ) при высокоточной постобработке нужно использовать не менее 3 наземных опорных точек.

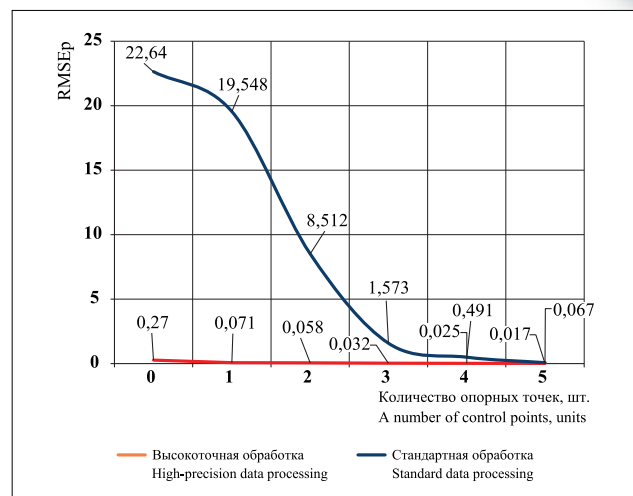


Рис. 5. Зависимость среднеквадратичной ошибки проекта от количества использованных наземных опорных точек

Fig. 5. Dependence of the project root mean square error on the number of the ground control points used

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Mogili U.R., Deepak B.B.V.L. Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science*. 2018. N133. 502-509.
- Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Дорохов А.С., Сибирев А.В., Крючков В.А., Сазонов Н.В. Современные технологии и техника для сельского хозяйства – тенденции выставки Agritechnika 2019 // *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. N6. С. 28-40.
- Maes W.H., Steppe K. Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Trends in Plant Science*. 2019. N24(2). 152-164.
- Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе // *Техника и оборудование для села*. 2019. N6 (264). С. 2-9.
- Личман Г.И., Коротченя В.М., Смирнов И.Г., Курбанов Р.К. Концепция точного земледелия на основе понятий идеального поля и цифрового двойника // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. N67(3). С. 81-86.
- Курбанов Р.К., Костомахин М.Н., Захарова Н.И., Захарова О.М., Бабков С.В. Рекомендации для легких беспилотных летательных аппаратов по сбору данных // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2018. N6. С. 47-53.
- Артюшин А.А., Курбанов Р.К., Марченко Л.А., Захарова О.М. Выбор типоразмерного ряда беспилотных летательных аппаратов и полезной нагрузки для мониторинга сельскохозяйственных полей // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N4 (37). С. 36-43.
- Matese A., Di Gennaro S.F. Beyond the traditional NDVI index as a key factor to mainstream the use of UAV in precision viticulture. *Scientific Reports*. 2021. N11. 2721.
- Курбанов Р.К., Захарова Н.И., Гайдук О.М. Использование теплового канала (LWIR) для оценки состояния посевов и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. N67(3). С. 87-94.
- Tamouridou A.A., Alexandridis T.K., Pantazi X.E., Lagopodi A.L., Kashefi J., Kasampalis D., Kontouris G., Moshou D. Application of Multilayer Perceptron with Automatic Relevance Determination on Weed Mapping Using UAV Multispectral Imagery. *Sensors*. 2017. N17. 2307.
- Han X., Thomasson J.A., Xiang Y., Gharakhani H., Yadav P.K., Rooney W.L. Multifunctional Ground Control Points with a Wireless Network for Communication with a UAV. *Sensors*. 2019. N19(13). 2852.
- Pessoa G.G., Carrilho A.C., Miyoshi G.T. Assessment of UAV-based digital surface model and the effects of quantity and distribution of ground control points. *International Journal of Remote Sensing*. 2021. Vol. 42. 65-83.
- Liu J., Xu W., Guo B., Zhou G., Zhu H. Accurate Mapping Method for UAV Photogrammetry Without Ground Control Points in the Map Projection Frame. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2021. 1-9.
- Курбанов Р.К., Захарова О.М. Рекомендации по предполетной подготовке БПЛА // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. Т. 67. N1(38). С. 93-98.
- Daugela I., Visockiene J.S., Kumpiene J. Detection and analysis of methane emissions from a landfill using unmanned aerial drone systems and semiconductor sensors. *Detritus*. 2020. Vol. 10. 127-138.
- Beranek C.T., Roff A., Denholm B., Howell L.G., Witt R.R. Trialling a real-time drone detection and validation protocol for the koala (*Phascolarctos cinereus*). *Australian Mammalogy*. 2020. N43(2). 260-264.

17. Kapicioglu H.S., Hastaoglu K.O., Poyraz F., Gül Y. Investigation of topographic effect in ground control point selection in UAV photogrammetry: Gaziantep/ Nizip. *International conference on innovative engineering applications*. 2018. 1174-1178.
18. Martínez-Carricondo P., Agüera-Vega F., Carvajal-Ramírez F. Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2018. Vol. 72. 1-10.
19. Ferrer-González E., Agüera-Vega F., Carvajal-Ramírez F., Martínez-Carricondo P. UAV Photogrammetry Accuracy Assessment for Corridor Mapping Based on the Number and Dis-

- tribution of Ground Control Points. *Remote Sensing*. 2020. N12.
20. Gómez-Candón D., De Castro A.I., López-Granados F. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. *Precision Agriculture*. 2014. N15(1). 44-56.
21. Kim J. S., Hong Y. Accuracy Analysis of Photogrammetry Based on the Layout of Ground Control Points Using UAV. *Journal of the Korean Cartographic Association*. 2020. N20(2). 41-55.
22. Santana L.S., Ferraz G.A.E.S., Marin D.B., Barbosa B.D.S., et al. Influence of flight altitude and control points in the georeferencing of images obtained by unmanned aerial vehicle. *European Journal of Remote Sensing*. 2021. Vol. 54. Iss. 1. 59-71.

REFERENCES

1. Mogili U.R., Deepak B.B.V.L. Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science*. 2018. N133. 502-509 (In English).
2. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Kryuchkov V.A., Sazonov N.V. Sovremennye tekhnologii i tekhnika dlya sel'skogo hozyaystva – tendentsii vystavki Agritechnika 2019 [Modern agriculture technologies and equipment - trends of an Agritechnika 2019 exhibition]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2017. N6. 28-40 (In Russian).
3. Maes W.H., Steppe K. Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Trends in Plant Science*. 2019. N24(2). 152-164 (In English).
4. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Razvitiye intensivnykh mashinnykh tekhnologiy, robotizirovannoy tekhniki, effektivnogo energoobespecheniya i tsifrovyykh sistem v agropromyshlennom komplekse [Development of intensive machine technologies, robotic technology, efficient energy supply and digital systems in the agribusiness]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2019. N6(264). 2-9 (In Russian).
5. Lichman G.I., Korotchenya V.M., Smirnov I.G., Kurbanov R.K. Konceptsiya tochnogo zemledeliya na osnove ponyatiy ideal'nogo polya i tsifrovogo dvoynika [A concept of precision farming based on the notions of the ideal field and digital twin]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye v APK*. 2020. N67(3). 81-86 (In Russian).
6. Kurbanov R.K., Kostomakhin M.N., Zakharova N.I., Zakharova O.M., Babkov S.V. Rekomendatsii dlya legkikh bespilotnykh letatel'nykh apparatov po sboru dannykh [Recommendations for light unmanned aerial vehicles for data collection]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont*. 2018. N6. 47-53 (In Russian).
7. Artyushin A.A., Kurbanov R.K., Marchenko L.A., Zakharova O.M. Vybortiporazmernogo ryada bespilotnykh letatel'nykh apparatov i poleznoy nagruzki dlya monitoringa sel'skokhozyaystvennykh poley [The choice of a standard series of unmanned aerial vehicles and payload for monitoring agricultural fields]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye v APK*. 2019. N4(37). 36-43 (In Russian).
8. Matese A., Di Gennaro S.F. Beyond the traditional NDVI index as a key factor to mainstream the use of UAV in precision
- viticulture. *Scientific Reports*. 2021. N11. 2721 (In English).
9. Kurbanov R.K., Zakharova N.I., Gayduk O.M. Ispol'zovaniye teplovogo kanala (LWIR) dlya otsenki sostoyaniya posevov i prognozirovaniya urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Using a thermal channel (LWIR) to assess crop conditions and predict crop yields]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye v APK*. 2020. N67(3). 87-94 (In Russian).
10. Tamouridou A.A., Alexandridis T.K., Pantazi X.E., Lagopodi A.L., Kashefi J., Kasampalis D., Kontouris G., Moshou D. Application of Multilayer Perceptron with Automatic Relevance Determination on Weed Mapping Using UAV Multispectral Imagery. *Sensors*. 2017. N17. 2307 (In English).
11. Han X., Thomasson J.A., Xiang Y., Gharakhani H., Yadav P.K., Rooney W.L. Multifunctional Ground Control Points with a Wireless Network for Communication with a UAV. *Sensors*. 2019. N19(13). 2852 (In English).
12. Pessoa G.G., Carrilho A.C., Miyoshi G.T. Assessment of UAV-based digital surface model and the effects of quantity and distribution of ground control points. *International Journal of Remote Sensing*. 2021. Vol. 42. 65-83 (In English).
13. Liu J., Xu W., Guo B., Zhou G., Zhu H. Accurate Mapping Method for UAV Photogrammetry Without Ground Control Points in the Map Projection Frame. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2021. 1-9 (In English).
14. Kurbanov R.K., Zakharova O.M. Rekomendatsii po predpoletnoy podgotovke BPLA [Recommendations for uav pre-flight preparation]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye v APK*. 2020. Vol. 67. N1(38). 93-98 (In Russian).
15. Daugela I., Visockiene J.S., Kumpiene J. Detection and analysis of methane emissions from a landfill using unmanned aerial drone systems and semiconductor sensors. *Detritus*. 2020. Vol. 10. 127-138 (In English).
16. Beranek C.T., Roff A., Denholm B., Howell L.G., Witt R.R. Trialling a real-time drone detection and validation protocol for the koala (*Phascolarctos cinereus*). *Australian Mammalogy*. 2020. N43(2). 260-264 (In English).
17. Kapicioglu H.S., Hastaoglu K.O., Poyraz F., Gül Y. Investigation of topographic effect in ground control point selection in UAV photogrammetry: Gaziantep/ Nizip. *International conference on innovative engineering applications*. 2018. 1174-1178 (In English).

18. Martínez-Carricondo P., Agüera-Vega F., Carvajal-Ramírez F. Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2018. Vol. 72. 1-10 (In English).

19. Ferrer-González E., Agüera-Vega F., Carvajal-Ramírez F., Martínez-Carricondo P. UAV Photogrammetry Accuracy Assessment for Corridor Mapping Based on the Number and Distribution of Ground Control Points. *Remote Sensing*. 2020. N12 (In English).

20. Gómez-Candón D., De Castro A.I., López-Granados F. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle

(UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. *Precision Agriculture*. 2014. N15(1). 44-56 (In English).

21. Kim J. S., Hong Y. Accuracy Analysis of Photogrammetry Based on the Layout of Ground Control Points Using UAV. *Journal of the Korean Cartographic Association*. 2020. N20(2). 41-55 (In English).

22. Santana L.S., Ferraz G.A.E.S., Marin D.B., Barbosa B.D.S., et al. Influence of flight altitude and control points in the georeferencing of images obtained by unmanned aerial vehicle. *European Journal of Remote Sensing*. 2021. Vol. 54. Iss. 1. 59-71 (In English).

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests.

The authors declare no conflicts of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Курбанов Р.К. – научное руководство, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи.

Захарова Н.И. – обработка данных аэрофотосъемки, составление начального варианта статьи, анализ и обобщение данных литературы.

Горшков Д.Г. – обработка данных аэрофотосъемки, литературный анализ, работа с графическим материалом, доработка текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Kurbanov R.K. – scientific guidance, developing general conclusions, article proofreading.

Zakharova N.I. – aerial photography data processing, preparing the article draft, literature analysis

Gorshkov D.M. – aerial photography data processing, literature analysis, work with graphic material, text revision

All authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

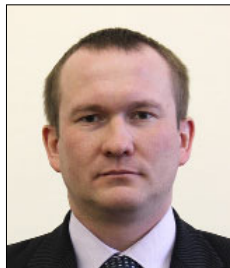
The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

16.09.2021

25.11.2021

Анализ и решения экологических проблем в животноводстве



Александр Юрьевич Брюханов,
доктор технических наук,
член-корреспондент РАН,
e-mail: sznii@yandex.ru;

Владимир Дмитриевич Попов,
доктор технических наук, академик РАН,
главный научный сотрудник, e-mail: popov_vd@mail.ru;
Эдуард Вадимович Васильев,
кандидат технических наук, ведущий научный
сотрудник, e-mail: sznii6@yandex.ru;
Екатерина Викторовна Шалавина,
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, e-mail: shalavinaev@mail.ru;
Роман Алексеевич Уваров,
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, e-mail: puo-24@mail.ru

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. Интенсификация сельскохозяйственного производства привела к нарушению циклов биогенных веществ в агроэкосистемах. В животноводстве одной из ключевых проблем стала низкая степень использования органических удобрений на основе навоза и помета. *(Цель исследования)* Обосновать основные принципы оценки экологической устойчивости агроэкосистем и разработать инженерные методы обеспечения экологической безопасности в животноводстве. *(Материалы и методы)* Для решения задач агроэкологической оценки, выбора эффективных технологий и создания интеллектуализированных систем использовали показатели: удельную плотность животных (преимущественно для макрооценки); баланс питательных веществ (разницу между количеством азота в органических удобрениях и экологически безопасным потреблением); потери азота при утилизации органических отходов животноводства; эффективность внедрения наилучших доступных технологий. *(Результаты и обсуждение)*. Выявили, что по первым двум показателям три района Ленинградской области относятся к территориям с чрезмерным риском для окружающей среды, один район – с высоким риском, пять – с допустимым и восемь районов – с незначительным риском. Для решения проблем в районах с чрезмерной и высокой нагрузкой провели оценку по третьему и четвертому показателям. Исследовали технические решения и подобрали наилучшие доступные технологии для снижения нагрузки на окружающую среду. Показали преимущества основных технических решений в области утилизации органических отходов животноводства – биоферментации и внесения жидких органических удобрений. Определили, что биоферментационные установки позволяют сократить выбросы загрязняющих газов в 2 раза и более, ускорить процесс переработки в 60 раз. Для работы с жидкой органикой разработали интеллектуализированные машины с низкоэмиссионными рабочими органами, позволяющие снизить потери азота при внесении до 50 процентов. Разработали цифровую систему для моделирования сценариев технологического развития и их влияния на экологическую устойчивость агроэкосистем. *(Выводы)* Сформулировали принципы системного анализа экологической устойчивости агроэкосистем с предложением конкретных технических и оптимизационных решений для животноводства.

Ключевые слова: агроэкосистема, экологическая устойчивость, экологическая безопасность, животноводство, питательные вещества, машинные технологии, интеллектуальные системы.

Для цитирования: Брюханов А.Ю., Попов В.Д., Васильев Э.В., Шалавина Е.В., Уваров Р.А. Анализ и решения экологических проблем в животноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №4. С. 48-55. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-48-55.

Analysis and Solutions to Environmental Problems in Livestock Farming

Aleksandr Yu. Bryukhanov,
Dr.Sc.(Eng.), corresponding member of the Russian
Academy of Sciences, e-mail: sznii@yandex.ru;
Vladimir D. Popov,
Dr.Sc.(Eng.), member of the Russian Academy
of Sciences, chief researcher, e-mail: popov_vd@mail.ru;

Eduard V. Vasilev,
Ph.D.(Eng.), leading researcher, e-mail: sznii6@yandex.ru;
Ekaterina V. Shalavina,
Ph.D.(Eng.), senior researcher, e-mail: shalavinaev@mail.ru;
Roman A. Uvarov,
Ph.D.(Eng.), senior researcher, e-mail: puo-24@mail.ru



Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The intensification of agricultural production has led to the disruption of nutrient cycles in agroecosystems. In livestock farming, one of the key problems is the low degree of using secondary resources (organic fertilizers based on manure and manure). (*Research purpose*) To substantiate the basic principles of assessing the agroecosystem environmental sustainability and to develop engineering methods for ensuring environmental safety in livestock farming. (*Materials and methods*) To solve the problems of agroecological assessment, effective technology choice and intelligent system creation, the following indicators were used: 1. specific density of animals (mainly for macro-assessment); 2. nutrient balance (the difference in the amount of nitrogen available in the formed organic fertilizers with environmentally safe consumption); 3. nitrogen losses during the disposal of organic waste from livestock farming; 4. the effectiveness of implementing the best available techniques (BAT). (*Results and discussion*) Using the assessment of indicators 1 and 2 in the case of the Leningrad region, it was revealed that 3 districts are classified as territories with an excessive risk to the environment, 1 district is classified as a territory with a high risk, 5 districts – with an acceptable risk, and 8 districts – with a low risk to the environment. To solve problems in areas with excessive and high load, we conducted an assessment on indicators 3 and 4, which allowed us to explore technical solutions and select the BAT to reduce the environmental burden. The obtained results showed that among the main technical solutions in the field of organic waste management of livestock farming are biofermentation and the introduction of liquid organic fertilizers. Biofermentation in special chambers can reduce emissions of polluting gases by more than 2 times, and speed up the processing process by more than 60 times. To work with liquid organic fertilizers, intelligent machines with low-emission working bodies have been developed to reduce nitrogen losses during application by up to 50 percent. To solve the problems of agricultural monitoring and engineering solution management, a digital system has been developed that allows to model scenarios of technological development and their impact on the agroecosystem environmental sustainability. (*Conclusions*) The results obtained allow us to systematically analyze the problems of agroecosystem environmental sustainability and propose specific technical and optimization solutions for livestock farming.

Keywords: agroecosystem, sustainability, livestock farming, nutrients, machine technology, intelligent systems.

For citation: Bryukhanov A.Yu., Popov V.D., Vasil'ev E.V., Shalavina E.V., Uvarov R.A. Analiz i resheniya ekologicheskikh problem v zhivotnovodstve [Analysis and solutions to environmental problems in livestock farming]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 48-55 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-48-55.

Современные достижения аграрной науки, реализованные при поддержке специальных государственных программ в реальном производстве, позволили к 2020 г. достичь высокого уровня выполнения задач обеспечения жителей страны качественными продуктами питания в необходимых объемах и создать фундамент для дальнейшего роста и развития, в том числе экспортного потенциала. Животноводство – одно из приоритетных направлений развития сельскохозяйственного производства. К 2020 г. по ряду стратегически важных продуктов Россия вышла на уровень самообеспеченности и закрепила в первой десятке стран-лидеров производителей сельскохозяйственной продукции: самообеспеченность по свинине и мясу птицы – 100%, молоку – 84, яйцам – более 100%.

Сельское хозяйство развивается по интенсивным технологиям. Особенно ярко это проявляется в животноводстве и птицеводстве, где происходит концентрация поголовья на крупных фермах и комплексах. Это позволяет сократить издержки на обслуживание животных, но создает существенные экологические риски [1-3]. Интенсификация аграрного производства связана с целым рядом экологических проблем. Одна из них – низкая степень использования вторич-

ных ресурсов (органических удобрений на основе навоза и помета) [2-8].

В 2015-2020 гг. агропредприятия использовали не более 30% органики. Такой низкий уровень дестабилизирует агроэкосистемы, повышает диффузную нагрузку на водные объекты вблизи животноводческих комплексов: до 150 кг/га азота и до 20 кг/га фосфора [9, 10]. Отсутствие возврата органики в регионы, выращивающие растениеводческую продукцию и корма для животных, снижает плодородие почв. Нарушается производственный цикл, происходит неконтролируемое выделение в окружающую среду загрязняющих веществ [3-5]. С каждым десятилетием обостряется глобальная экологическая проблема, связанная с потеплением климата. Изменения климата создают для продовольственной безопасности и сельского хозяйства серьезные проблемы с точки зрения ожидаемого негативного воздействия на производительность, а также осуществления отраслевых мер по ограничению глобального потепления [11-13].

В складывающейся ситуации агроинженерная наука призвана разработать научные принципы создания сельскохозяйственных экосистем и управления их функционированием на основе высокоэффективных комплексов машин и оборудования, интеллекту-

альных технологий интенсивного и биологизированного производства сельхозпродукции, обеспечивающих экологическую безопасность.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – обосновать основные принципы оценки экологической устойчивости агроэкосистем и разработать инженерные методы обеспечения экологической безопасности в животноводстве.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Мировой опыт в агроэкологических исследованиях свидетельствует о возможности использования ряда основных научных принципов создания устойчивых сельскохозяйственных экосистем [3-5]. В основе заложен главный принцип создания эффективного круговорота биогенных веществ с минимальным расходом внешних ресурсов, обеспечивающего производство сельхозпродукции необходимого объема и качества. Под круговоротом биогенных веществ в аграрном производстве подразумевается переход питательных веществ в замкнутом цикле производства продукции: почва – растения (продукция и корма) – животные (продукция и воспроизводство) – удобрения (преимущественно органические) – почва [14]. Для формализации данного принципа обоснован ряд агроэкологических показателей, которые могут выступать в качестве критериев оценки устойчивости агроэкосистем. К ним относятся удельная плотность животных (отношение условных голов к площади обрабатываемых земель), баланс питательных веществ, диффузная нагрузка на водосбор, уровень потерь питательных веществ, плодородие почвы и др. [15-17]. Можно использовать как отдельные показатели, так и их совокупность для комплексной оценки. Все они объединены круговоротом биогенных (питательных) веществ.

Для решения задач агроэкологической оценки, выбора эффективных технологий, создания интеллектуализированных систем в данной статье использованы показатели [1, 11, 14, 17, 18]:

- удельная плотность животных (преимущественно для макрооценки);
- баланс питательных веществ (разница количества азота, имеющегося в образуемых органических удобрениях с экологически безопасным потреблением);
- потери азота при утилизации органических отходов животноводства;
- эффективность внедрения наилучших доступных технологий (НДТ).

Первые два показателя привязывали к агроэкосистемам исходя из принципа деления по муниципальным районам, так как это позволяет оперативно и достоверно пользоваться данными официальной статистики для необходимых расчетов. Вторую пару допустимо использовать для оценки технологий в целом, а также для отдельных технологических операций и машин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Исследования проведены на примере сельскохозяйственного производ-

ства Ленинградской области (рис. 1). Результаты оценки по балансу азота и плотности поголовья позволили выделить районы с различной степенью негативного воздействия на окружающую среду (ОС). Из 17 муниципальных районов 3 относятся к территориям с чрезмерным риском для ОС. На их территории удельная плотность животных превышает 3,1 усл. гол./га, что требует более детального анализа на уровне конкретных предприятий, используемых технологий и организационных решений. Один район отнесен к территории с высоким риском (1,6-3,0 усл. гол./га), 5 – с допустимым (1,1-1,6 усл. гол./га) и 8 районов – с незначительным риском для ОС (0,2-1,0 усл. гол./га). В районах с незначительным риском может возникать локальная проблема, связанная с потерей плодородия почв, о чем свидетельствуют отрицательные значения баланса азота [1, 14].

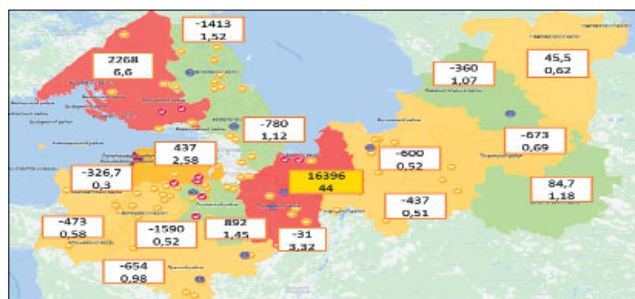


Рис. 1. Результаты агроэкологической оценки (на примере Ленинградской области): верхний показатель – баланс азота, т; нижний показатель – удельная плотность животных, усл. гол./га

Fig. 1. Results of the agroecological assessment (the case of Leningrad region): the upper indicator is nitrogen balance, t; the lower indicator is the specific density of animals, cond. head/ha

Для районов с чрезмерным риском для ОС характерен переизбыток биогенных элементов в составе органических отходов крупных животноводческих комплексов. В данном случае необходимо решение задач перераспределения нагрузки путем обоснования технологий утилизации и организации взаимосвязей с другими районами, имеющими потребность и резерв для приема питательных веществ в составе органических удобрений. При выборе технологий и конкретных машин следует учитывать потери азота при утилизации органических отходов животноводства и эффективность внедрения НДТ. В ранее проведенных исследованиях были обоснованы главные направления технико-технологической модернизации, позволяющие выбрать НДТ для конкретных производственных и природно-климатических условий [1].

К приоритетным машинным технологиям утилизации органических отходов с минимальным риском загрязнения ОС относятся биоферментация в установках закрытого типа и внесение органических удобрений машинами с низкэмиссионными рабочими

органами [1]. В ИАЭП – филиале ФНАЦ ВИМ разработан типоразмер автоматизированных биоферментационных установок серии *BIOFERM* для переработки твердых органических отходов (таблица, рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид установки *BIOFERM 10.0*: а – 3D-модель; б – промышленный образец (изготовлен совместно с ООО «Научно-производственный центр «ОКАН»)

Fig. 2. Exterior view of the *BIOFERM 10.0* unit: а – 3D model; б – industrial design (manufactured jointly with OKAN Research and Production Center LLC)

Применение биоферментационных установок позволит в 2 раза сократить выбросы загрязняющих газов в процессе переработки навоза и помета и в 60 раз ускорить процесс превращения исходного сырья в высококачественный конечный продукт по сравнению с длительным выдерживанием. Сроки переработки при технологии длительного выдерживания в штабеле составляют 160-240 суток, а при использовании биоферментационных установок – 3 суток. Потери азота в составе газообразных выбросов в первом случае достигают 30-50% от исходного содержания, а во втором – не более 15%.

Изучение потерь азота при основных технологиях утилизации куриного помета для птицефабрики, рассчитанной на содержание 1 млн гол. птицы, показало возможность сокращения эмиссий до 353 т в год при использовании технологии ускоренной биоферментации (рис. 3).

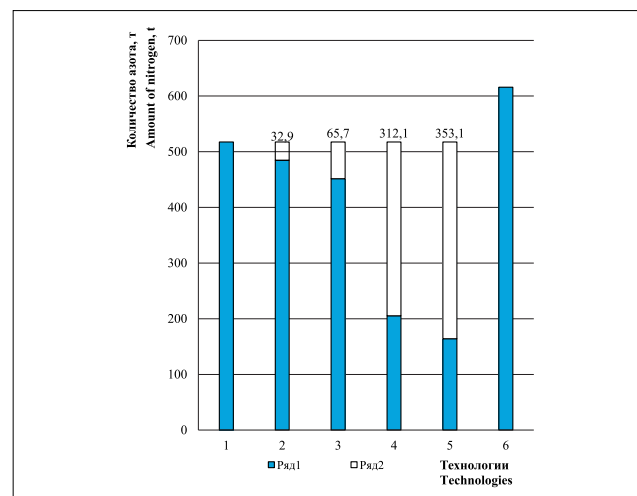


Рис. 3. Технологические потери азота при утилизации куриного помета: 1 – длительное хранение; 2 – пассивное компостирование; 3 – активное компостирование; 4 – камерная ферментация; 5 – барабанная ферментация; 6 – термическая сушка

Fig. 3. Technological nitrogen losses during the disposal of poultry manure: 1 – long-term storage; 2 – passive composting; 3 – active composting; 4 – chamber fermentation; 5 – drum fermentation; 6 – thermal drying

При работе с жидкими органическими удобрениями (ЖОУ) важной технологической операцией считается внесение их в почву. Использование неэффективных технологий и технических средств может привести к потере более 50% азота, в основном в виде газообразных выделений. Для решения данной проблемы разработано техническое задание на изготовление интеллектуализированных машин для транспортировки и внесения ЖОУ. Основными особенностями машин стали автоматизированная фиксация и

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БИОФЕРМЕНТАЦИОННЫХ УСТАНОВОК СЕРИИ <i>BIOFERM</i> MAIN CHARACTERISTICS OF BIOFERMENTATION PLANTS OF THE <i>BIOFERM</i> SERIES					
Модели Models	Производительность одного модуля, т/год Productivity of one module, t/year	Объем биореактора, м ³ Bioreactor volume, m ³	Габаритные размеры Д×Ш×В, м Overall dimensions L×W×H, m	Удельное потребление элек- троэнергии, кВт·ч/т Specific electricity consumption, kWh/t	Ориентировочная стоимость установки, млн руб. Estimated cost of the installation, million rubles
BIOFERM 1.0	360	5,4	6×2×2	25,4	от 2
BIOFERM 2.5	900	13,5	7×2,4×2,4	13,4	от 5
BIOFERM 5.0	1800	27,0	9×2,8×2,8	9,8	от 8
BIOFERM 10.0	3600	54,0	14×3,5×3,5	8,4	от 15

управление следующими функциями:

- автоматический учет содержания питательных веществ в удобрении и адаптивный расчет дозы внесения (с учетом характеристик почвы и выращиваемой культуры);
- автоматическая регулировка дозы внесения в зависимости от скорости движения машины и контроля зон пропусков/перекрытия при внесении.

В 2020 г. при сотрудничестве с фирмой ООО «Агро-Маг» (официальным дилером *JOSKIN*, Бельгия) изготовлены две экспериментальные машины для внесения жидких органических удобрений (рис. 4). Эти машины должны обеспечить наилучшие значения показателя эффективности внедрения НДТ, который выражается в минимальной стоимости приведенных затрат на одну тонну сокращения эмиссии загрязняющих веществ (рис. 5).



Рис. 4. Интеллектуализированные машины для транспортировки и внесения жидких органических удобрений

Fig. 4. Intelligent machines for transporting and applying liquid organic fertilizers

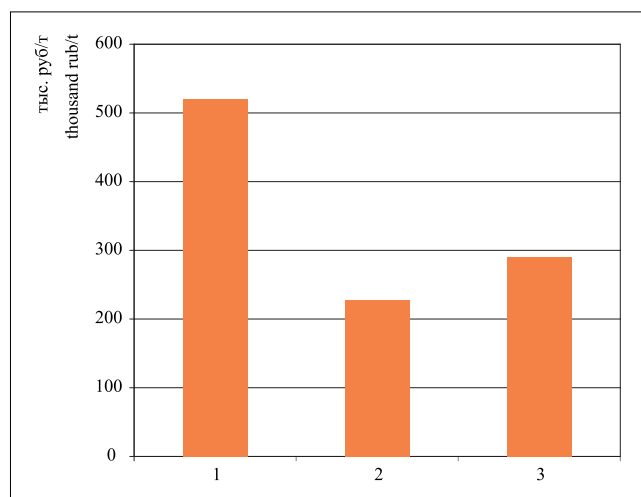


Рис. 5. Эффективность внедрения наилучших доступных технологий внесения жидких органических удобрений: 1 – внесение машиной с шланговой системой; 2 – внесение интеллектуализированной машиной с низкоэмиссионными рабочими органами; 3 – внутрисочвенное внесение без интеллектуализированной системы

Fig. 5. Efficiency of implementing the best available technologies for liquid organic fertilizer application: 1 – application by a machine with a hose system; 2 – application by an intellectualized machine with low-emission working bodies; 3 – subsoil application without intelligent system

Промышленные образцы биоферментационной установки и машин для внесения ЖОУ изготовлены и поставлены для проведения производственных испытаний при поддержке проекта *EcoAgRAS*, реализуемого в рамках программы приграничного сотрудничества «Юго-Восточная Финляндия – Россия» на 2014-2020 гг.

В целом существует более 30 технологических вариантов утилизации органических отходов животноводства, которые могут обеспечить соответствующую эффективность в конкретных производственных и природно-климатических условиях.

Для достижения экологической устойчивости сельскохозяйственных экосистем необходимо создание комплексной системы агромониторинга, управления инженерными и организационными решениями. Такая система должна строиться на цифровых паспортах сельских территорий, алгоритмах сбора и обработки информации, моделях прогнозирования с учетом сценариев технологического развития и стратегий управления.

В 2021 г. ИАЭП – филиал ФНАЦ ВИМ, ООО «ЦИТ «Петройнт» и АО «НИО ЦИТ «Петрокомета» совместно с Комитетом по агропромышленному и рыбохозяйственному комплексу Ленинградской области приступил к тестированию цифровой системы (компьютерной интерактивной программы) для мониторинга образования органики и ее эффективного использования [19]. Система позволяет оценивать текущую ситуацию и моделировать сценарии развития

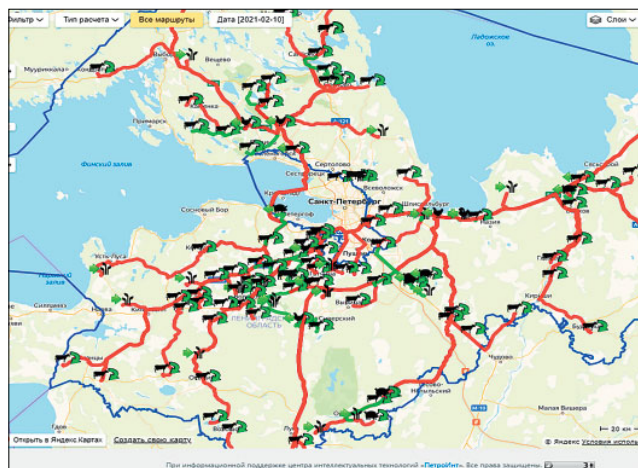


Рис. 6. Снимок экрана интерактивной программы мониторинга образования органических удобрений и их эффективного использования (стрелками указана возможность внутреннего потребления удобрений, красными линиями обозначены взаимосвязи сельхозпредприятий с учетом транспортной инфраструктуры)

Fig. 6. Screenshot of an interactive program for monitoring the formation of organic fertilizers and their effective use (the arrows indicate the possibility of domestic consumption of fertilizers, the red lines indicate the relationship of agricultural enterprises, taking into account the transport infrastructure)

и их влияние на экологическую устойчивость агроэкосистем. Алгоритм программы реализует принцип баланса питательных веществ и позволяет оптимизировать логистические межхозяйственные связи отдельных сельхозтоваропроизводителей с целью сбалансированного использования питательных веществ и достижения условий экологической устойчивости (рис. 6).

Программа позволяет формировать электронные паспорта по каждому сельхозпредприятию, району и всей области. Паспорта содержат подробную информацию о достижении оптимального баланса питательных веществ и необходимого для этого материально-технического и ресурсного обеспечения. В перспективе такую систему можно масштабировать для всех территориальных субъектов Российской Федерации с центральной координационной функцией, которую может выполнять Минсельхоз.

Выводы

Для оценки и регулирования агроэкосистем применили ряд показателей: удельную плотность животных; баланс питательных веществ; потери азота при утилизации органических отходов животноводства; эффективность внедрения наилучших доступных технологий.

При оценке по первым двум показателям на примере Ленинградской области, выявили, что 3 района относятся к территориям с чрезмерным риском для окружающей среды, 1 район отнесен к территории с высоким риском, 5 – с допустимым и 8 районов – с незначительным риском. Для решения проблем в районах с чрезмерной и высокой нагрузкой целесообразно проводить оценку по третьему и четвертому показателям, позволяющим исследовать технические решения и подобрать наилучшие доступные техноло-

гии для снижения нагрузки на окружающую среду.

Показали, что применение биоферментационных установок позволит в 2 раза сократить выбросы загрязняющих газов в процессе переработки навоза и помета и в 60 раз ускорить процесс превращения исходного сырья в высококачественный конечный продукт по сравнению с длительным выдерживанием. Сроки переработки при технологии длительного выдерживания в штабеле составляют 160-240 суток, а при использовании биоферментационных установок – 3 суток. Потери азота в составе газообразных выбросов в первом случае достигают 30-50% от исходного содержания, а во втором – не более 15%.

Представили типоразмер биоферментационных установок производительностью одного модуля от 360 до 3600 т/год.

Определили, что использование интеллектуализированных машин для транспортировки и внесения ЖОУ с низкоэмиссионными рабочими органами позволит снизить потери азота при внесении до 50% относительно применяемых в настоящее время технических средств.

Разработали цифровую систему, для оценки текущей ситуации и моделирования сценария технологического развития и их влияния на экологическую устойчивость агроэкосистем. Алгоритм программы реализует принцип баланса питательных веществ и помогает оптимизировать межхозяйственные связи отдельных сельхозтоваропроизводителей с целью достижения условий экологической устойчивости. В перспективе такая система может быть масштабирована для всех территориальных субъектов Российской Федерации с центральной координационной функцией, которую может выполнять Минсельхоз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Briukhanov A., Vasilev E., Kozlova N., Shalavina E., Subbotin I., Lukin S. Environmental assessment of livestock farms in the context of BAT system introduction in Russia. *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 246. 283-288.
2. Danilov-Danilyan V.I., Venitsianov E.V., Belyaev S.D. Some Problems of Reducing the Pollution of Water Bodies from Diffuse Sources. *Water Resources*. 2020. N47. 682-690.
3. Nainggolan D., Hasler B., Andersen H.E., Gyldenkarne S., Termansen M. Water Quality Management and Climate Change Mitigation: Cost-effectiveness of Joint Implementation in the Baltic Sea Region. *Ecological Economics*. 2018. Vol. 144. 12-26.
4. Kontsevoi G.R., Ermakov D.N., Rylova N.I., Leoshko V.P., Safonova M.F. Management accounting of agricultural production: improving planning and standardization of costs in the management information system. *Amazonia Investiga*. 2020. Vol. 9. N27. 284-293.
5. Ghimire S., Wang J., Fleck J.R. Integrated Crop-Livestock Systems for Nitrogen Management: A Multi-Scale Spatial Analysis. *Animals*. 2021. N11. 100.
6. Porter S.A., James D.E. Using a Spatially Explicit Approach to Assess the Contribution of Livestock Manure to Minnesota's Agricultural Nitrogen Budget. *Agronomy*. 2020. N10(4). 480.
7. Franzluebbers A., Hunt D., Telford G., et al. Integrated crop-livestock systems: lessons from New York, British Columbia, and the South-Eastern United States. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2021. N8(1). 81-96.
8. Schut A.G.T., Cooledge E.C., Moraine M., et al. Reintegration of crop-livestock systems in Europe: an overview. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2021. 8(1). 111-129.
9. Pozdynakov Sh.R., Briukhanov A.Yu., Kondratyev S.A., Ignateva N.V., Shmakova M.V., Minakova E.A., Rasulova A.M., Oblomkova N.S., Vasilev E.V., Terekhov A.V. Perspectives of the reduction of nutrient export from river watersheds through the introduction of best available technologies for agricultural production: based on modeling results. *Water Resources*. 2020. Vol. 47. N5. 771-784.

10. Kondratyev S.A., Ershova A.A., Ekholm P., Victorova N.V. Nutrient load from the Russian territory on the gulf of Finland. *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2019. Т. 12. N2. 77-87.
11. Kebede A.S., Nicholls R.J., Clarke D., Savin C., Harrison P.A. Integrated assessment of the food-water-land-ecosystems nexus in Europe: Implications for sustainability. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 768. 144461.
12. Bleischwitz R., Spataru C., VanDeveer S.D., et al. Resource nexus perspectives towards the United Nations Sustainable Development Goals. *Nat Sustain* 1. 2018. 737-743.
13. Kiryushin V.I. Ecological functions of landscapes. *Eurasian Soil Science*. 2018. Vol. 51. N1. 14-21.
14. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В., Обломкова Н.С. Показатели негативного воздействия на окружающую среду при производстве сельскохозяйственной продукции // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019. N2(99). С. 250-260.
15. Bittman S., Dedina M., Howard C.M., Oenema O., Sutton M.A. (Eds.) Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen; Centre for Ecology and Hydrology (CEH): Edinburgh, UK. 2014. 82.
16. Santonja G.G., Georgitzikis K., Scalet B.M., Montobbio P., Roudier S., Delgado Sancho L. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs. Publications Office of the European Union: Luxembourg. 2017.
17. Субботин И.А., Васильев Э.В. Модель прогнозирования комплексного негативного воздействия технологий сельхозпроизводства на водные объекты // *Инженерные технологии и системы*. 2021. N31(2). С. 227-240.
18. Суханов П.А. Земля и почва, почва и земля – двуединый ресурс? // *Агрохимический вестник*. 2020. N3. С. 3-6.
19. Briukhanov A., Dorokhov A., Shalavina E., Trifanov A., Vorobyeva E., Vasilev E. Digital methods for agro-monitoring and nutrient load management in the Russian part of the Baltic sea catchment area. *IOP CONFERENCE SERIES: Earth and Environmental Science*. 2020. N578. 012011.

REFERENCES

1. Briukhanov A., Vasilev E., Kozlova N., Shalavina E., Subbotin I., Lukin S. Environmental assessment of livestock farms in the context of BAT system introduction in Russia. *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 246. 283-288 (In English).
2. Danilov-Danilyan V.I., Venitsianov E.V., Belyaev S.D. Some Problems of Reducing the Pollution of Water Bodies from Diffuse Sources. *Water Resources*. 2020. N47. 682-690 (In English).
3. Nainggolan D., Hasler B., Andersen H.E., Gyldenkarne S., Termansen M. Water Quality Management and Climate Change Mitigation: Cost-effectiveness of Joint Implementation in the Baltic Sea Region. *Ecological Economics*. 2018. Vol. 144. 12-26 (In English).
4. Kontsevoi G.R., Ermakov D.N., Rylova N.I., Leoshko V.P., Safonova M.F. Management accounting of agricultural production: improving planning and standardization of costs in the management information system. *Amazonia Investiga*. 2020. Vol. 9. N27. 284-293 (In English).
5. Ghimire S., Wang J., Fleck J.R. Integrated Crop-Livestock Systems for Nitrogen Management: A Multi-Scale Spatial Analysis. *Animals*. 2021. N11. 100 (In English).
6. Porter S.A., James D.E. Using a Spatially Explicit Approach to Assess the Contribution of Livestock Manure to Minnesota's Agricultural Nitrogen Budget. *Agronomy*. 2020. N10(4). 480 (In English).
7. Franzluebbbers A., Hunt D., Telford G., et al. Integrated crop-livestock systems: lessons from New York, British Columbia, and the South-Eastern United States. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2021. N8(1). 81-96 (In English).
8. Schut A.G.T., Cooledge E.C., Moraine M., et al. Reintegration of crop-livestock systems in Europe: an overview. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*. 2021. 8(1). 111-129 (In English).
9. Pozdynakov Sh.R., Briukhanov A.Yu., Kondratyev S.A., Ignateva N.V., Shmakova M.V., Minakova E.A., Rasulova A.M., Oblomkova N.S., Vasilev E.V., Terekhov A.V. Perspectives of the reduction of nutrient export from river watersheds through the introduction of best available technologies for agricultural production: based on modeling results. *Water Resources*. 2020. Vol. 47. N5. 771-784 (In English).
10. Kondratyev S.A., Ershova A.A., Ekholm P., Victorova N.V. Nutrient load from the Russian territory on the gulf of Finland. *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*. 2019. Т. 12. N2. 77-87 (In English).
11. Kebede A.S., Nicholls R.J., Clarke D., Savin C., Harrison P.A. Integrated assessment of the food-water-land-ecosystems nexus in Europe: Implications for sustainability. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 768. 144461 (In English).
12. Bleischwitz R., Spataru C., VanDeveer S.D., et al. Resource nexus perspectives towards the United Nations Sustainable Development Goals. *Nat Sustain* 1. 2018. 737-743 (In English).
13. Kiryushin V.I. Ecological functions of landscapes. *Eurasian Soil Science*. 2018. Vol. 51. N1. 14-21 (In English).
14. Briukhanov A.Yu., Shalavina E.V., Vasil'ev E.V., Oblomkova N.S. Pokazateli negativnogo vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu pri proizvodstve sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Indicators of ecological sustainability of rural areas with intensive livestock production]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019. N2(99). 250-260 (In Russian).
15. Bittman S., Dedina M., Howard C.M., Oenema O., Sutton M.A. (Eds.) Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen; Centre for Ecology and Hydrology (CEH): Edinburgh, UK. 2014. 82 (In English).
16. Santonja G.G., Georgitzikis K., Scalet B.M., Montobbio P.,

Roudier S., Delgado Sancho L. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs. Publications Office of the European Union: Luxembourg. 2017 (In English).

17. Subbotin I.A., Vasil'ev E.V. Model' prognozirovaniya kompleksnogo negativnogo vozdeystviya tekhnologiy sel'khozproduktstva na vodnye obekty [A Forecast Model of the Complex Negative Impact of Agricultural Production Technologies on Water Bodies]. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. 2021. N31(2). 227-240 (In Russian).

18. Sukhanov P.A. Zemlya i pochva, pochva i zemlya – dvuedinyy resurs? [The earth and soil, soil and the earth – a two-uniform resource?]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2020. N3. 3-6 (In Russian).

19. Briukhanov A., Dorokhov A., Shalavina E., Trifanov A., Vorobyeva E., Vasilev E. Digital methods for agro-monitoring and nutrient load management in the Russian part of the Baltic sea catchment area. *IOP CONFERENCE SERIES: Earth and Environmental Science*. 2020. N578. 012011 (In English).

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов

Брюханов А.Ю. – разработка теоретических предпосылок исследований, доработка текста, формирование общих выводов.

Попов В.Д. – научное руководство, формулирование основных направлений исследования.

Васильев Э. В. – обоснование показателей экологических оценки агроэкосистем, технических требований на интеллектуализированные машины для транспортировки и внесения жидких органических удобрений, литературный анализ.

Шалавина Е.В. – разработка алгоритмов и баз данных для интерактивной программы мониторинга образования органических удобрений и их эффективного использования.

Уваров Р.А. – обоснование параметров и режимов работы биоферментационных установок для ускоренной переработки органических отходов животноводства.

Coauthors' contribution:

Bryukhanov A.Yu. – development of theoretical prerequisites for the research, the text revision, the formation of the general conclusions.

Popov V.D. – scientific leadership, the formulation of the research main directions

Vasil'ev E.V. – substantiation of agroecosystem ecological assessment indicators and technical requirements for intelligent machines for transportation and application of liquid organic fertilizers, literature analysis.

Shalavina E.V. – development of algorithms and databases for an interactive program for monitoring organic fertilizer formation and effective use.

Uvarov R.A. – substantiation of the parameters and operating modes of biofermentation plants for the accelerated processing of animal husbandry organic waste.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

11.08.2021

02.11.2021

Задачи и структура информационно-коммуникационной системы «умного» органического хозяйства



Владислав Борисович Минин,
кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: minin.iamfe@mail.ru;



Антон Михайлович Захаров,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: bauermw@mail.ru

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. Показали, что производство органической продукции – это активно растущий мировой бизнес: в 2017 году он занимал более 1,4 процента всех сельскохозяйственных угодий планеты. Подчеркнули актуальность цифровизации на фоне не постоянного роста базы данных, которые фермеру необходимо оперативно и эффективно обрабатывать. *(Цель исследования)* Сформировать структуру информационно-коммуникационной системы «умного» растениеводческого органического хозяйства и необходимую базу данных для ее обучения и обеспечения функционирования. *(Материалы и методы)* Использовали ранее выполненные исследования, включая созданные базы данных и информацию из литературных источников. С 2016 года для заполнения экспериментальными данными информационной базы проводится многофакторный опыт с картофелем в рамках органического севооборота. *(Результаты и обсуждение)* Сформировали структуру информационно-коммуникационной системы «умного» растениеводческого органического хозяйства. За ее основу приняли цифровую карту территории и цифровые модели сельскохозяйственных культур. Решили в ходе работы системы ежедневно вносить изменения в цифровую модель сельскохозяйственной культуры на основе поступающей агроэкологической информации, а также подготовить рекомендации по оптимальному выбору и использованию очередных технологических операций. Выявили, что в полевом опыте за четыре года урожайность картофеля в контрольном варианте (без внесения компоста и пестицидов) составила в среднем 21,7 тонны на гектар, а при использовании компоста и биофунгицида Картофин она увеличилась до 26,7 тонны на гектар. Рассчитали уравнения множественной линейной регрессии, описывающие зависимость содержания минеральных форм азота в почве в июне от суммы активных температур в этот период и дозы компоста (коэффициент корреляции 0,658) и зависимость урожайности картофеля от содержания в почве минеральных форм азота в первую декаду июня и суммы активных температур в мае – июне (коэффициент корреляции 0,667). *(Выводы)* Представили структуру информационно-коммуникационной системы органического сельхозпредприятия, обосновали возможность ее полной реализации в качестве инструмента, помогающего агропроизводителям осуществлять экологически безопасное, конкурентоспособное и эффективное органическое производство на новом уровне.

Ключевые слова: органическое производство, информационно-коммуникационная система, урожайность картофеля, минеральные формы азота в почве, погодные условия.

■ **Для цитирования:** Минин В.Б., Захаров А.М. Задачи и структура информационно-коммуникационной системы «умного» органического хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №4. С. 56-64. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-56-64.

Objectives and Structure of the Information and Communication System for "Smart" Organic Farming

Vladislav B. Minin,
Ph.D.(Agri.), senior researcher,
e-mail: minin.iamfe@mail.ru;

Anton M. Zakharov,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: bauermw@mail.ru

Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, St. Petersburg, Russian Federation



Abstract. The authors showed that the organic production is an actively growing global business: in 2017, it occupied more than 1.4 percent of all agricultural land on the planet. The authors emphasized the relevance of digitalization with the constant growth of the database, which the farmer needs to process quickly and efficiently. (*Research purpose*) To form the structure of the information and communication system for the «smart» crop organic farming and the database necessary for its training and ensuring its functioning. (*Materials and methods*) The prior research was used, as well as previously created databases and information from the existing literature. Since 2016, a multifactorial experiment with potatoes has been carried out as part of an organic crop rotation to fill the information base with experimental data. (*Results and discussion*) The structure of the information and communication system of the “smart” organic crop production has been formed. It is based on the territory digital map and agricultural crop digital models. In the course of the work of the system, we decided to make daily changes to the digital model of agricultural crops based on the incoming agroecological information, as well as to prepare recommendations on the relevant choice and use of the planned technological operations. It was found out that in a four-year field experiment, the potato yield in the control variant (without the introduction of compost and pesticides) averaged 21.7 tons per hectare, and when using compost and biofungicide Kartofin, it increased to 26.7 tons per hectare. The authors calculated multiple linear regression equations describing the dependence of the nitrogen mineral form content in the soil in June on the sum of the active temperatures during this period and the compost dose (the correlation coefficient is 0.658); and the dependence of potato yield on the nitrogen mineral form content in the soil in the first ten days of June and the sum of active temperatures in May-June (the correlation coefficient is 0.667). (*Conclusions*) The authors presented the structure of the information and communication system of an organic agricultural enterprise, substantiated the possibility of its full implementation as a tool that helps agricultural producers to carry out environmentally safe, competitive and efficient organic production at a totally new level.

Keywords: organic production, information and communication system, potato yield, mineral forms of nitrogen in the soil, weather conditions.

For citation: Minin V.B., Zakharov A.M. Zadachi i struktura informatsionno-kommunikatsionnoy sistemy «umnogo» organicheskogo khozyaystva [Objectives and structure of the information and communication system for "smart" organic farming]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 56-64 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-56-64.

Производство органической продукции – это активно растущий бизнес. В 2017 году он занимал более 1,4 процента всех сельскохозяйственных угодий планеты. Анализ мета-набора данных показал относительно небольшие различия в урожайности между органическим и традиционным сельским хозяйством – 15,5-22,9%, которые снизились до 8-9% при использовании методов диверсификации [1]. Вклад органических систем в смягчение последствий изменения климата в ходе отказа от минеральных удобрений сокращает ежегодные выбросы парниковых газов в сельском хозяйстве на 20%, а вследствие связывания углерода – на 40-72% [2].

К началу 2020 г. в связи с вступлением в силу Закона № 280-ФЗ от 03.08.2018 и ряда государственных стандартов в Российской Федерации фактически сложилось законодательное обеспечение органического производства. При управлении продуктивностью органических агроэкосистем необходимо учитывать множество хозяйственно значимых процессов и факторов [3]. Технологии растениеводства многообразны: даже один процесс может быть реализован несколькими способами. Использование параметров управления и ограничивающих экологических факторов позволяет выбрать адекватные технологии и создать программы управления продуктивностью [4].

В Указе Президента России от 7 мая 2018 г. № 204

«О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» поставлена задача внедрения цифровых технологий в приоритетные отрасли экономики, включая сельское хозяйство. Соответствующая научная база в аграрном производстве предусматривает создание интенсивных машинных технологий, энергонасыщенной техники нового поколения, роботизированного оборудования и использования цифровых систем [5]. Разработана организационная модель сельскохозяйственного предприятия, позволяющая на базе современных информационно-коммуникационных технологий осуществлять интеграцию всех технологических звеньев производства, обеспечивать непрерывность отслеживания сроков и качества выполнения технологических операций [6].

Для органических производителей использование информационных технологий жизненно необходимо, так как им следует постоянно ориентироваться на развитие природных процессов и состояние агроэкосистемы. Внедрение цифровых технологий, автоматизации производственных и других процессов повысят эффективность органического производства благодаря более экономному использованию ресурсов [7]. Группа авторов разработала программу для работы с органическими удобрениями, использующую модели развития растений, размещенную в «облаке», куда фер-

мер может выходить через смартфон [8]. Другое направление цифровизации – применение полевых роботов в органических хозяйствах, в частности для борьбы с сорной растительностью, которая может значительно распространяться в органических посевах, что установлено в Северной Европе [9, 10].

При создании информационной системы для управления производством органической растениеводческой продукции необходимо ориентироваться на потребности основных культур, входящих в севооборот. Для исследования выбрали картофель, третью по важности продовольственную культуру в мире после риса и пшеницы, производящую больше калорий на гектар, чем зерновые. При органическом производстве картофеля не используют генетически модифицированный семенной материал, а получаемая продукция обычно ценнее для питания, так как содержит больше витаминов и в ней отсутствуют остаточные количества пестицидов [11]. В литературе описано более 30 моделей развития картофеля [12]. Калиброванная и проверенная биофизическая модель улучшает управление путем прогнозирования реакции урожайности и размера клубней картофеля на управленческие решения и стрессовые события [13].

Цель исследования – формирование структуры информационно-коммуникационной системы «умного» органического хозяйства и заполнение базы данных экспериментальной информацией, описывающей развитие картофеля.

Материалы и методы. Решение задачи основывается на ранее выполненных исследованиях по созданию соответствующих баз данных и информации, взятой из литературных источников [3].

Для сбора экспериментальной информации с 2016 г. проводится полевой опыт в составе 6-польного модельного органического севооборота, включающего картофель, свеклу столовую, несколько полей с многолетними травами. Почва опытного участка – дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая на остаточном карбонатном моренном суглинке. Она характеризуется слабокислой реакцией среды, достаточным запасом питательных элементов и высоким содержанием органического вещества [14].

В многофакторном опыте с картофелем изучается действие двух групп факторов:

- уровень минерального питания, регулируемый внесением компоста;
- действие биофунгицидного препарата Картофин, СК, созданного на основе штамма *Bacillus subtilis*-И5-12/23, полученного в результате широкого скрининга микробов-антагонистов, входящих в состав Государственной коллекции микроорганизмов, патогенных для растений и их вредителей ФГБНУ ВИЗР [15].

Возделывали картофель сорта Удача, районированный для Ленинградской области. Ширина междурядья 0,7 м.

Исследования проводились с компостом, произведенным на основе куриного помета промышленным способом в биоконвекторе [16]. Использовали три дозы компоста, рассчитанные по последовательно возрастающему в 2 раза количеству содержащегося в нем азота: 40; 80 и 160 кг N/га. Конкретные дозы рассчитывали после анализа удобрения, приготовленного для использования в опыте.

Клубни картофеля обрабатывали во время посадки Картофином СК (3 л на 1 т посадочного материала), для чего на сажалку установили специально разработанный опрыскиватель. Этим же биофунгицидом обрабатывали листья во время вегетации культуры, переместив опрыскиватель на культиватор.

Междурядную обработку проводили с использованием экспериментального образца пропашного культиватора оригинальной конструкции, обеспечивающего глубокое рыхление. Сорная растительность удалялась механическим способом с помощью борона БРУ-0,7, входящих в состав культиватора.

Площадь делянки $5,6 \times 11 = 61,6 \text{ м}^2$, повторность 4-кратная, расположение делянок рендомизированное.

Образцы почвы отбирали из пахотного слоя. Содержание аммония и нитратов в почве, а также нитратов в картофеле определяли ионометрическим методом, ГОСТ 26951-86.

Полученные в опыте за ряд лет аналитические данные объединены в единую электронную базу данных и обработаны при помощи программы Статистика, версия 10.

Результаты и обсуждение. Агропроизводитель в течение вегетационного периода должен принимать более 40 различных организационных и управленческих решений, касающихся выбора сортов, вида, дозы и способа внесения удобрений, целесообразности проведения той или иной обработки почвы, нормы высева, проведения мероприятий по защите растений и уборке [17]. Информационно-коммуникационная система умного органического сельскохозяйственного предприятия обеспечивает научно обоснованную поддержку принятия решений по выбору и сопровождению адаптивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Северо-Западного региона России. Разработка структуры Информационно-коммуникационной системы умного органического сельскохозяйственного предприятия (ИКСУ-ОСП) основана на следующих базовых принципах:

- интеграция: обрабатываемые данные, однажды введенные в систему, образуют единое информационное пространство, которое многократно используется для решения большого числа задач;
- системность: обработка данных в различных аспектах, чтобы получить информацию, необходимую для принятия решений на всех уровнях управления;

- комплексность: механизация и автоматизация процедур преобразования данных на всех этапах функционирования информационной системы;

- гибкость: способность системы легко меняться при изменении структуры и (или) условий функционирования предприятия;

- самообучаемость: система, «анализируя» выбор решений пользователя, получает знания, которые повышают эффективность ее работы;

- открытость (масштабируемость): любые изменения, вносимые в систему (внедрение новых компонентов, обновление законодательства, реорганизация предприятия и т.п.), не требуют изменения ее базовой части, то есть не нарушают функционирования системы, что позволяет варьировать «размер» системы, просто добавляя к базовой части нужные компоненты.

При практически ориентированном подходе разработки ИКСУОСП прежде всего необходимо решить четыре базовые задачи:

- определить и формализовать методику агроэкологического мониторинга, то есть определить список источников информации об агроэкологическом состоянии предприятия и механизм ее обработки;
- разработать архитектуру системы, то есть фундаментальную организацию системы, реализованную в ее компонентах, связях компонентов друг с другом и внешней средой и принципах, определяющих структуру и развитие системы;
- найти базовое программное обеспечение (такое как СУБД, WCB-сервер) для реализации системы на его основе;
- выбрать датчики и сетевое оборудование.

Основу ИКСУОСП составляют цифровая карта территории, цифровые модели сельскохозяйственных культур и несколько баз данных (рис. 1). На цифровой карте будут представлены следующие данные:

- сельскохозяйственная информация: размещение земельных угодий, посевов, построек хозяйства, дорожная сеть;
- информация о природных ресурсах расположенных на территории: почвенный покров, агрохимическая характеристика почв, водная сеть.

ИКСУОСП анализируют и формализуют:

- схемы информационных потоков, отражающих маршруты движения информации и ее объемы,
- места возникновения первичной информации и использования результатной информации.

Построение схем информационных потоков, позволяет выявить объемы информации и провести ее анализ, что необходимо для формирования единого информационного пространства системы.

Использование данной информационной технологии создает возможность эффективно реализовывать систему управления, своевременно отражать объективную картину экологического и технологического

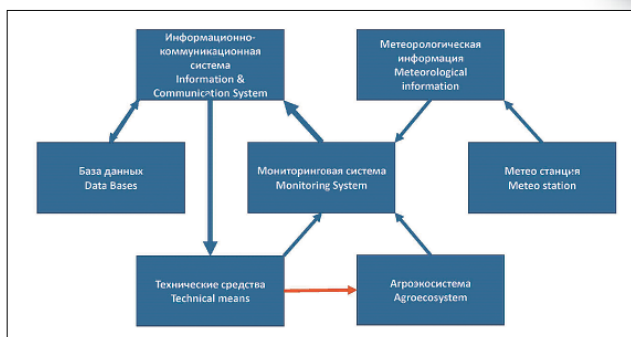


Рис. 1. Структура информационно-коммуникационной системы «умного» органического сельскохозяйственного предприятия

Fig.1. The structure of the "smart" organic agricultural enterprise information and communication system

состояния предприятия и формировать рекомендации по его улучшению.

Результатом станет многомерная картина происходящего, с визуализацией данных в удобном и понятном виде. Экспертная система на основании данных, накопленного опыта и заданного набора критериев оптимизации выбирает наилучшее решение. В свою очередь система моделирования позволяет рассчитать и оценить результаты различных сценариев, что обеспечивает разностороннее рассмотрение выбираемого мероприятия.

Основная задача системы моделирования – это управление, в динамике, развитием цифровой модели сельскохозяйственной культуры от посадки до уборки. Ежедневно поступающая информация от метеостанции, почвенных датчиков и данные по результатам облетов беспилотными летательными аппаратами будет обрабатываться информационной системой.

Выбранная цифровая модель должна проводить ежедневные изменения, в соответствии с поступившей информацией подготавливать сценарии дальнейшего развития культуры и рекомендации по оптимальному выбору времени осуществления технологических операций. При этом развитие картофеля определяется среднесуточной температурой воздуха. При накоплении соответствующей суммы температур осуществляется переход из одной фазы развития картофеля в другую. Недостатки водного или питательного режимов, а также проявление болезней и вредителей замедляют скорость развития культуры, что отражается в модели.

Предметные области описывают как саму агроэкосистему, так и воздействующие на нее факторы:

- территория, на которой находится агроэкосистема;
- почва агроэкосистемы;
- сельскохозяйственные культуры;
- сорная растительность;
- вредители;
- болезни;
- сельскохозяйственные технические средства;

- агрохимикаты и улучшители почвы;
- агрометеорологические условия.

Части базы данных, за которыми закреплены эти предметные области, должны быть заполнены соответствующей информацией. Например, предметная область «территория» должна включать местоположение, рельеф местности, расположение полей, дорожную сеть; предметная область «сельскохозяйственные культуры» объединяет виды и сорта культур, характеристику сортов.

Близкие по задачам выполнения системы разрабатывает целый ряд ученых [13, 17].

Сбор экспериментальных данных для использования информационной системой осуществляется в полевых экспериментах и опытах, заложенных в пилотных фермерских хозяйствах.

С 2016 г. ведется экспериментальный органический севооборот, в котором отрабатываются модели управления производственным процессом. Все экспериментальные данные заносятся в единую базу данных «Опыт», что позволяет обрабатывать их достаточно быстро. Ниже приводятся результаты, которые включаются в ИКСУОСП.

Для оценки погодных условий использовались два интегральных показателя: сумма активных температур (более 10°C) и ГТК по Селянинову (табл. 1). Следует отметить, что если сумма активных температур характеризует тепловой и световой режимы, то гидротермический коэффициент (ГТК) является комплексным показателем, отражающим как тепловой, так и водный режимы агроэкосистемы.

Представленные данные свидетельствуют о существенных различиях в рассматриваемых показателях между годами. Наиболее равномерное обеспечение тепловыми и водными ресурсами отмечено в 2019 г.

Были собраны данные о содержании минеральных форм азота (включающих нитраты и аммонийный) в почве в конце мая – начале июля, перед посадкой, во время прорастания картофеля и начала активного накопления биомассы (табл. 2). Используемая в опыте почва была хорошо окультурена, с повышенным содержанием органического вещества.

При создании благоприятных условий, обеспечивающих развитие минерализационных процессов,

даже в контрольном варианте отмечалось накопление достаточно значительного количества минеральных форм азота в почве (до 30,7 мг N/кг почвы в первой декаде июня в 2019 г. и до 72,4 мг N/кг почвы в начале июля в 2020 г).

Использование компоста существенно активизировало этот процесс, что хорошо заметно в первую декаду июня, до начала активного потребления питательных веществ картофелем: содержание минеральных форм азота в почве в случаях с внесением компоста в дозе, соответствующей 80 кг N/га, в среднем превышало контроль на 6-8 мг/кг почвы.

Содержание минеральных форм азота в почве в июне зависит от дозы компоста и суммы активных температур в июне (рис. 2).

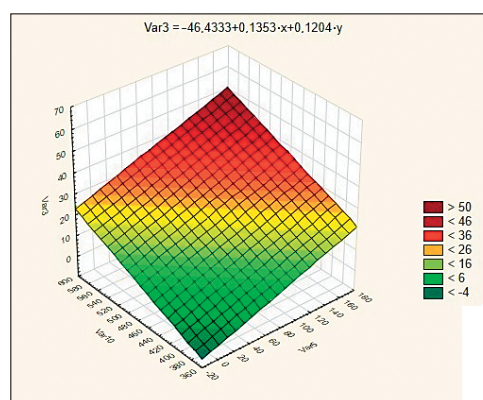


Рис. 2. Зависимость содержания минерального азота в почве (Var 3) от дозы компоста (Var 5) и суммы активных температур в июне (Var 10), коэффициент множественной корреляции $R = 0,658$

Fig. 2. Dependence of mineral N content in the soil (Var 3) on the compost dose (Var 5) and the sum of active temperatures in June (Var 10); multiple correlation coefficient, $R = 0.658$

Проведена статистическая обработка данных за 4 года. Как внесение компоста, так и увеличение суммы активных температур способствуют накоплению минеральных форм азота в почве, причем с синергетическим эффектом. Уравнение позволяет прогнозировать содержание минеральных форм азота в почве в условиях нашего опыта. По результатам опыта установлено существенное влияние содержания мине-

Таблица 1

Table 1

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗА ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД В 2017-2020 гг. METEOROLOGICAL INDICATORS FOR THE GROWING SEASONS IN 2017-2020

Годы Year	Сумма активных температур Sum of active temperatures				Гидротермический коэффициент Hydrothermal coefficient			
	май May	июнь June	июль July	август August	май May	июнь June	июль July	август August
2017	195	379	511	541	0,45	1,69	2,48	2,83
2018	435	478	646	595	0,64	1,02	2,85	2,02
2019	341	560	514	526	2,11	1,42	3,52	1,80
2020	203	575	546	575	0,59	2,25	3,41	3,80

Таблица 2

Table 2

СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОРМ АЗОТА В ПОЧВЕ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА THE CONTENT OF MINERAL FORMS OF NITROGEN IN THE SOIL IN THE FIRST HALF OF THE GROWING SEASON			
Годы Year	22-26 мая May, 22-26	4-10 июня June, 4-10	2-7 июля July, 2-7
<i>Контроль (без компоста и биофунгицида) / Control variant (without compost or biofungicide)</i>			
2017	13,4+1,9	13,9	30,8
2018	–	8,9	27,7
2019	16,0+7,9	30,7	24,3
2020	6,3+ 2,7	23,7	72,4
<i>Опыт (компост 80 кг N/га + биофунгицид) / Option with compost (80 kg N/ha) and plant protection products</i>			
2017	13,4+1,9	21,8	27,5
2018	–	15,1	33,2
2019	16,0+7,9	38,6	36,2
2020	6,3+ 2,7	31,7	82,4
<i>HCP₀₅/LSD₀₅</i>		1,02	1,28

ральных форм азота в почве в начале июня на продуктивность картофеля.

Рассмотрим урожайность картофеля в двух вариантах опыта в 2017-2020 гг. (табл. 3). Благодаря высокому плодородию почвы и отработанной технологии возделывания даже на контрольных вариантах урожайность составляла около 20 т/га.

Существенное воздействие на продуктивность картофеля оказывали как использование компоста и биофунгицида, так и условия года исследований. Наибольшая прибавка биологического урожая от биопрепаратов достигнута в 2018 г. – более 12 т/га, наименьшая, около 3 т/га, – в 2017 г., когда отмечались засушливые условия в начале вегетации картофеля. Разница между биологическим урожаем и урожаем стандартных клубней объясняется количеством поврежденного, травмированного и нестандартного карто-

феля. Наилучший выход стандартных клубней отмечен в 2020 г. В 2017-2019 гг. этот показатель выше в варианте с компостом и биофунгицидом. В 2020 г. он оказался ниже контроля вследствие увеличения числа нестандартно крупных клубней. В дальнейшем нужно больше внимания уделять созданию условий для получения стандартных клубней в соответствии с требованиями рынка [18].

Зависимость биологического урожая картофеля от суммарного содержания нитратов и аммония в почве в первой декаде июня (когда начинается активное развитие картофеля) и суммы активных температур в мае – июне демонстрирует важность управления содержанием минеральных форм азота в почве в начале вегетации картофеля (рис. 3). При благоприятном сочетании этих факторов биологический урожай органического картофеля может превышать 40 т/га – без

Таблица 3

Table 3

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ГОДА, КОМПОСТА И БИОФУНГИЦИДА НА УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ INFLUENCE OF THE YEAR CONDITIONS, THE PLANT PROTECTION SYSTEM AND THE NUTRIENT SUPPLY ON THE POTATO YIELD				
Год опыта Year	Вариант Option	Биологическая урожайность, т/га Biological yield, t/ha	Урожайность стандартных клубней, т/га Yield of standard tubers, t/ha	Доля стандартных клубней в общей биомассе, % Share of standard tubers in total biomass, %
2017	контроль* / reference point*	17,13	14,11	82,4
	опыт* / experiment*	20,65	17,84	86,4
2018	контроль / reference point	19,26	17,07	88,6
	опыт / experiment	31,38	28,20	89,9
2019	контроль / reference point	25,52	21,21	83,1
	опыт / experiment	31,96	26,90	84,2
2020	контроль / reference point	20,95	20,25	96,7
	опыт / experiment	28,77	26,87	93,4
<i>HCP₀₅ / LSD₀₅</i>		0,71	0,73	–
* контроль – без внесения компоста и биофунгицида; опыт – с внесением компоста и биофунгицида. * reference point – without compost and biofungicide; experiment – with the application of compost and biofungicide.				

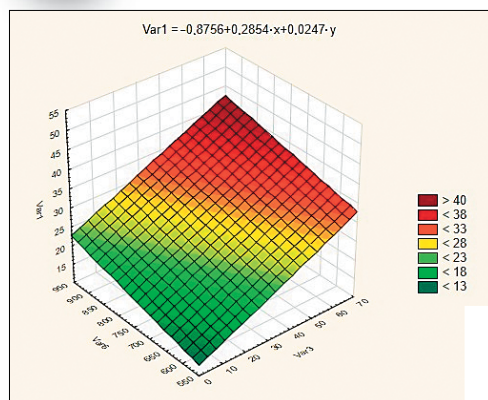


Рис. 3. Зависимость биологического урожая картофеля (Var 1) от содержания минерального азота в почве в первую декаду июня (Var 3) и суммы активных температур в мае – июне (Var 6), коэффициент множественной корреляции $R = 0,667$

Fig. 3. Dependence of the potato biological yield (Var 1) on the mineral nitrogen content in the soil in the first ten days of June (Var 3) and the sum of active temperatures in May – June (Var 6); multiple correlation coefficient $R = 0.667$

использования химических удобрений и пестицидов, но с внесением дозы компоста, соответствующей 160 кг N/га, и биофунгицида.

На разнообразном статистическом материале показано, что количество клубней и их величина для каждого сорта зависела от суммы активных температур и числа стеблей [13, 19, 20]. Шведские ученые провели многомерный анализ набора данных серии полевых экспериментов с органическим картофелем за 7 лет. Уровень плодородия почвы сильно влиял на продуктивность и качество картофеля, объяснив 53% общей вариации [21]. Аналогично нашим исследованиям использование куриного помета при возде-

лывании картофеля в Бангладеш обеспечило получение максимальной урожайности [20].

Для обучения информационной системы и формирования ее откликов на складывающиеся агроэкологические условия будут использованы полученные экспериментальные данные и информация, взятая из литературных источников.

Выводы

1. Представили структуру информационно-коммуникационной системы органического агропредприятия, предусматривающую использование цифровой модели сельскохозяйственной культуры как основы управления производственным процессом с учетом складывающейся агроэкологической обстановки в течение вегетации. При полной реализации этой системы хозяйства получают мощный инструмент, позволяющий перейти к экологически безопасному, конкурентоспособному и эффективному органическому производству на новом уровне.

2. Установили зависимости содержания минеральных форм азота в почве в начале вегетации картофеля от использования компоста, произведенного из куриного помета, и суммы активных температур. Урожайность органического картофеля определяется содержанием минеральных форм азота в почве в начале июня и суммой активных температур в мае – июне и может достигать 40 т/га.

3. Продолжили формирование массива экспериментальной информации, который будет использован в будущей информационно-коммуникационной системе «умного» органического сельскохозяйственного предприятия для ее настройки, а затем и для подготовки рекомендаций по возделыванию картофеля с учетом складывающихся агроэкологических условий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ponisio L.C., M'Gonigle L.K., Mace K.C., Palomino J., de Valpine P., Kremen C. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015. 1396.
2. Scialabba N., Müller-Lindenlauf M. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2010. Vol. 25. Special Iss. 2. 158-169.
3. Попов В.Д., Минин В.Б., Максимов Д.А., Папушин Э.А. Обоснование интеллектуальной системы управления органическим производством в растениеводстве // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2018. N4(97). С. 28-41.
4. Измайлов А.Ю., Годжаев З.А., Гришин А.П., Гришин А.А., Дорохов А.С. Цифровое сельское хозяйство (обзор цифровых технологий сельхозназначения) // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N2(31). С. 41-52.
5. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Интенсивные машинные технологии, роботизи-
6. рованная техника и цифровые системы для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села*. 2018. N7. С. 2-7.
7. Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Ильченко Е.Н., Гончаров Н.Т., Лужнова Е.С., Афонина И.И. Управление производственными процессами полеводческих предприятий с использованием информационных и цифровых технологий // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N1(30). С. 180-190.
8. Rakhimova S., Kunanbayeva K., Goncharenko L., Pigurin A. Balanced system of indicators for the assessment of innovative construction projects efficiency. International Science Conference SPbWOSCE-2018 «Business Technologies for Sustainable Urban Development». 2019. Vol. 110. 02154.
9. Hyun S., Yang S.M., Kim J., Kim K.S., Shin J.H., Min Lee S.M., Lee B.-W., Beresford R.M., Fleisher D.H. Development of a mobile computing framework to aid decision-making on organic fertilizer management using a crop growth model. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 181. 105936.2-9.



9. Краусп В.Р., Королев В.А. Направление развития систем автоматизированного управления электrorоботизированными агрегатами полеводства // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. N6(21). С. 122-130.

10. Hofmeijer M.A.J., Melander B., Salonen J., Lundkvist A., Zarina L., Gerowitt B. Crop diversification affects weed communities and densities in organic spring cereal fields in northern Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021. Vol. 308. 107251.

11. Pacifico D., Paris R. Effect of Organic Potato Farming on Human and Environmental Health and Benefits from New Plant Breeding Techniques. Is It Only a Matter of Public Acceptance? *Sustainability*. 2016. Vol. 8. 1054.

12. Raymundo R., Asseng S., Cammarano D., Quiroz R. Potato, sweet potato, and yam models for climate change: A review. *Field Crops Research*. 2014. Vol. 166. 173-185.

13. Goeser N.J., Mitchell P.D., Esker P.D., Curwen D., Weis G., Bussan A.J. Modeling Long-Term Trends in Russet Burbank Potato Growth and Development in Wisconsin. *Agronomy*. 2012. N2. 14-27.

14. Minin V.B., Popov V.D., Maksimov D.A., Ustroev A.A., Papushin E., Melnikov S.P. Developing of Modern Cultivation Technology of Organic Potatoes. *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18. Special Iss. 2. 1359-1367.

15. Titova J.A., Novikova I.I., Boykova I.V., Pavlyushin V.A., Krasnobaeva I.L. Novel solid-phase multibiorecycled biologics based on *Bacillus subtilis* and *Trichoderma asperellum* as effective

potato protectants against *Phytophthora* disease. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. 2019. Vol. 54(5). 1002-1013.

16. Briukhanov A., Subbotin I., Uvarov R., Vasilev E. Method of designing of manure utilization technology. *Agronomy research*. 2017. Vol. 15(3). 658-663.

17. Гостев А.В., Пыхтин А.И., Любичкий Н.И. Программное обеспечение рационального выбора адаптивных технологий возделывания зерновых культур как элемент цифровизации земледелия. Программное обеспечение рационального выбора // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2019. N23(6). С. 189-209.

18. Seifu F., Betewulign E. Evaluation of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Varieties for Yield Attributes. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 2017. Vol. 7. N21. 15-22.

19. El-Zehery T.M. Organic Fertilizers Effect on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tuber Production in Sandy Loam Soil. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 10. N12. 857-865.

20. Ahmed F., Mondal M., Akter B. Organic Fertilizers Effect on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tuber Production in Sandy Loam Soil. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2019. Vol. 29. N3. 1-11.

21. Hagman J.E., Martensson A., Grandin U. Cultivation Practices and Potato Cultivars Suitable for Organic Potato Production. *Potato Research*. 2009. Vol. 52. 319-330.

REFERENCES

1. Ponisio L.C., M'Gonigle L.K., Mace K.C., Palomino J., de Valpine P., Kremen C. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015. 1396. (In English).

2. Scialabba N., Müller-Lindenlauf M. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2010. Vol. 25. Special Iss. 2. 158-169 (In English).

3. Popov V.D., Minin V.B., Maksimov D.A., Papushin E.A. Obosnovanie intellektual'noy sistemy upravleniya organicheskimi proizvodstvom v rastenievodstve [Substantiation of intellectual management system of organic crop production]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018. N4(97). 28-41 (In Russian).

4. Izmaylov A.Yu., Godzhaev Z.A., Grishin A.P., Grishin A.A., Dorokhov A.S. Tsifrovoye sel'skoe khozyaystvo (obzor tsifrovoykh tekhnologiy sel'khoznaznacheniya [Digital agriculture (review of agricultural digital technologies)]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N2(31). 41-52 (In Russian).

5. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogonov Yu.H. Intensivnye mashinnye tekhnologii, robotizirovannaya tekhnika i tsifrovye sistemy dlya proizvodstva osnovnykh grupp sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Intensive machine technologies, robotized equipment and digital systems for production of main groups of agricultural products]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2018. N7. 2-7 (In Russian).

6. Izmaylov A.Yu., Smirnov I.G., Il'chenko E.N., Goncharov N.T., Luzhnova E.S., Afonina I.I. Upravlenie proizvodstvennymi protsessami polevodcheskikh predpriyatiy s ispol'zovaniem informatsionnykh i tsifrovoykh tekhnologiy [Management of manufacturing processes of fielding enterprises with the use of information and digital technologies]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N1(30). 180-190 (In Russian).

7. Rakhimova S., Kunanbayeva K., Goncharenko L., Pigurin A. Balanced system of indicators for the assessment of innovative construction projects efficiency. International Science Conference SPbWOSCE-2018 «Business Technologies for Sustainable Urban Development». 2019. Vol. 110. 02154 (In English).

8. Hyun S., Yang S.M., Kim J., Kim K.S., Shin J.H., Min Lee S.M., Lee B.-W., Beresford R.M., Fleisher D.H. Development of a mobile computing framework to aid decision-making on organic fertilizer management using a crop growth model. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 181. 105936. 2-9 (In English).

9. Krausp V.R., Korolev V.A. Napravlenie razvitiya sistem avtomatizirovannogo upravleniya elektrorobotizirovannymi agregatami poleводства [The direction of developing automated control systems for electro-robotic field cultivation units]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2016. N6(21). 122-130 (In Russian).

10. Hofmeijer M.A.J., Melander B., Salonen J., Lundkvist A., Zarina L., Gerowitt B. Crop diversification affects weed communities and densities in organic spring cereal fields in north-

ern Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021. Vol. 308. 107251 (In English).

11. Pacifico D., Paris R. Effect of Organic Potato Farming on Human and Environmental Health and Benefits from New Plant Breeding Techniques. Is It Only a Matter of Public Acceptance? *Sustainability*. 2016. Vol. 8. 1054 (In English).

12. Raymundo R., Asseng S., Cammarano D., Quiroz R. Potato, sweet potato, and yam models for climate change: A review. *Field Crops Research*. 2014. Vol. 166. 173-185 (In English).

13. Goeser N.J., Mitchell P.D., Esker P.D., Curwen D., Weis G., Bussan A.J. Modeling Long-Term Trends in Russet Burbank Potato Growth and Development in Wisconsin. *Agronomy*. 2012. N2. 14-27 (In English).

14. Minin V.B., Popov V.D., Maksimov D.A., Ustroeв A.A., Papushin E., Melnikov S.P. Developing of Modern Cultivation Technology of Organic Potatoes. *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18. Special Iss. 2. 1359-1367 (In English).

15. Titova J.A., Novikova I.I., Boykova I.V., Pavlyushin V.A., Krasnobaeva I.L. Novel solid-phase multibiorecycled biologics based on *Bacillus subtilis* and *Trichoderma asperellum* as effective potato protectants against *Phytophthora* disease. *Sel'skhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. 2019. Vol. 54(5). 1002-1013 (In English).

16. Briukhanov A., Subbotin I., Uvarov R., Vasilev E. Method of designing of manure utilization technology. *Agronomy research*. 2017. Vol. 15(3). 658-663 (In English).

17. Gostev A.V., Pykhtin A.I., Lyubitskiy N.I. Programmnoe obespechenie ratsional'nogo vybora adaptivnykh tekhnologiy vozdeleyvaniya zernovykh kul'tur kak element tsifrovizatsii zemledeliya [Software of rational choice of adaptive technologies for the cultivation of grain crops as an element of agriculture digitalization]. Programmnoe obespechenie ratsional'nogo vybora. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2019. N23(6). 189-209 (In Russian).

18. Seifu F., Betewulign E. Evaluation of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Varieties for Yield Attributes. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 2017. Vol. 7. N21. 15-22 (In English).

19. El-Zehery T.M. Organic Fertilizers Effect on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tuber Production in Sandy Loam Soil. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 10. N12. 857-865 (In English).

20. Ahmed F., Mondal M., Akter B. Organic Fertilizers Effect on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tuber Production in Sandy Loam Soil. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2019. Vol. 29. N3. 1-11 (In English).

21. Hagman J.E., Martensson A., Grandin U. Cultivation Practices and Potato Cultivars Suitable for Organic Potato Production. *Potato Research*. 2009. Vol. 52. 319-330. (In English).

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов

Минин В.Б. – разработка концепции, методологии, полевые и лабораторные исследования, обработка данных, формальный анализ, написание обзора и статьи, редактирование.

Захаров А.М. – разработка концепции, методология, организация полевых исследований и участие в них, формальный анализ, визуализация, написание обзора и статьи, редактирование.

Contribution of the authors:

Minin V.B. – concept development, methodology, field and laboratory research, data processing, formal analysis, review and article writing, editing.

Zakharov A.M. – concept development, methodology, organization of field research and participation in them, formal analysis, visualization, review and article writing, editing.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All authors have read and approved the final manuscript

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

12.08.2021
02.11.2021

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Журнал «Сельскохозяйственные машины и технологии» входит в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук.

Журнал включен в систему Российского индекса цитирования и в Международную информационную систему по сельскому хозяйству *AGRIS*. Электронные версии журнала размещаются на сайте Российской универсальной научной электронной библиотеки.

Статьи, направляемые в журнал для публикации, должны соответствовать основной тематике журнала.

Статьи, поступившие в редакцию, проходят двойное слепое рецензирование. Отрицательная рецензия является основанием для отказа в публикации.

Редакция принимает рукописи и электронные версии статей, набранные в Word шрифтом 14 пт. через 1,5 интервала, объемом 15-20 страниц.

Приведенные в статье формулы должны иметь пояснения и расшифровку всех входящих в них величин с указанием единиц измерения в СИ. Графические материалы должны быть приложены в виде отдельных файлов: фотографии – *jpg* или *tif* с разрешением 300 dpi, графики, диаграммы – в *eps* или *ai*. Все графические материалы, рисунки и фотографии должны быть пронумерованы, подписаны и иметь ссылку в тексте.

Простые внутристрочные и однострочные формулы должны быть набраны символами в редакторе формул *Microsoft Word* без использования специальных редакторов. Не допускается набор: часть формулы символами, а часть в редакторе формул. Если формулы заимствованы из других источников, то не следует приводить в них подробных выводов: авторы формул это уже сделали, повторять их не следует. Ссылки на обозначения формул обязательны. Статья должна содержать не более 10 формул, 3-4 иллюстрации, 3-4 таблицы, размер таблиц не более 1/2 страницы.

В каждой статье должны быть указаны следующие данные:

- название статьи;
- фамилия, имя и отчество автора(ов) полностью;
- e-mail автора(ов), контактный телефон;
- место работы автора(ов) (аббревиатуры не допускаются), почтовый адрес;
- ученая степень, ученое звание автора(ов);

- реферат (объем 200-250 слов);

- ключевые слова;

- библиографический список.

Статью следует структурировать, обязательно указав следующие разделы:

- Введение (актуальность);

- Цель исследования;

- Материалы и методы;

- Результаты и обсуждение;

- Выводы.

Библиографический список (не менее 20 источников из них 3-4 иностранных, входящих в базу данных *Web of Science*, за последние 5 лет) следует оформлять по ГОСТ Р 7.05-2008.

Реферат

Реферат – это самостоятельный законченный материал. Вводная часть минимальна. Нужно коротко и емко отразить актуальность и цель исследований, условия и схемы экспериментов, привести полученные результаты (с обязательным аргументированием на основании цифрового материала), сформулировать выводы.

Объем реферата – 200-250 слов.

Нельзя использовать в реферате аббревиатуры и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы).

На английский язык следует перевести:

- название статьи;

- фамилию, имя, отчество (полностью);

- ученая степень, ученое звание, место работы автора (ов);

- реферат и ключевые слова;

- библиографический список.

Машинный перевод недопустим!

В конце рукописи необходимо указать фактический вклад каждого соавтора в выполненную работу. Приводится на русском и английском языках.

Рукопись статьи должна быть подписана лично авторами. Автор несет юридическую и иную ответственность за содержание статьи.

Несоответствие статьи хотя бы одному из перечисленных условий может служить основанием для отказа в публикации.

Подписку на журнал
можно оформить в агентстве «Урал-Пресс»
на сайте: www.ural-press.ru,
а также в редакции журнала.

Индекс издания **35825**

КОНТАКТЫ:

Тел.: 8 (499) 174-88-11, 8 (499) 174-89-01
www.vimsmit.com e-mail: smit@vim.ru