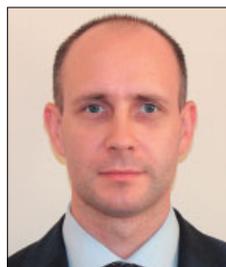


Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства



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).

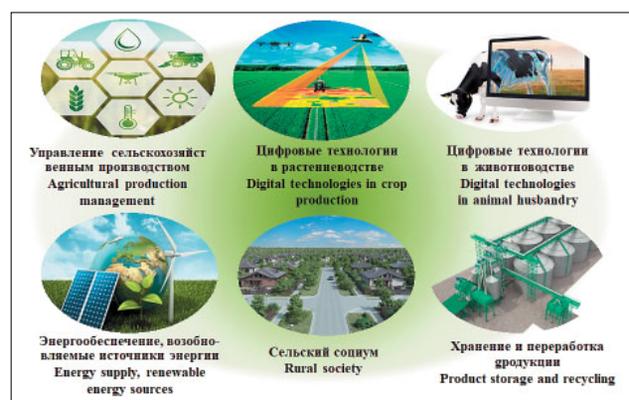


Рис. 1. Сферы применения цифровых технологий в сельском хозяйстве

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 вариативности 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

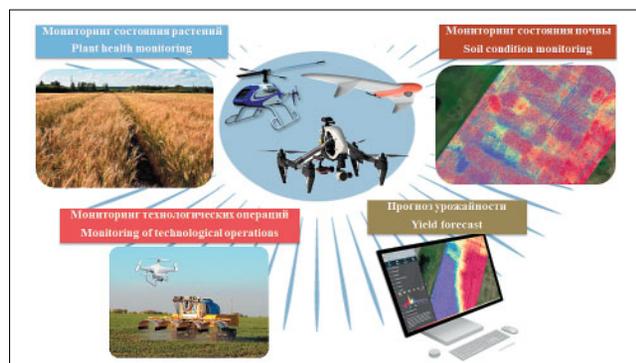


Рис. 3. Воздушный мониторинг

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 питатель-

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., Vladi-

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. 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 (In English).

5. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Tsifrovyye tekhnologii v pochvoobrabotke [Digital technologies in soil cultivation]. *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 tekhnologiy 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.

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.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

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.

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