

EDN: TWDGJU

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-61-67

Научная статья
УДК 631.6:631.347

Роботизированный оросительный комплекс для выращивания сельскохозяйственных культур на орошаемом участке

Михаил Геннадьевич Загоруйко¹,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: zagorujko.misha2013@yandex.ru;
Дмитрий Александрович Соловьев²,
доктор технических наук, доцент,
e-mail: solovevda@bk.ru;

Николай Федорович Рыжко³,
доктор технических наук, заведующий отделом,
e-mail: ryzhkonf@bk.ru;
Сергей Николаевич Рыжко³,
кандидат технических наук,
научный сотрудник,
e-mail: Twglides@gmail.com

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

²Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Российская Федерация;

³Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации, Саратовская область, Российская Федерация

Реферат. Интеллектуальные технологии, применяемые в цифровом сельском хозяйстве, включая дистанционное зондирование, служат необходимым инструментом по сбору данных о биообъектах. Установили, что данные, собранные с помощью дистанционного зондирования и Интернета вещей (*IoT*), в том числе изображения, представляющие полную картину сельскохозяйственных биообъектов, и их анализ помогут решить многие проблемы при производстве агропродукции. (*Цель исследования*) Обосновать и разработать роботизированный оросительный комплекс для выращивания сельскохозяйственных культур, оптимизации процесса полива с учетом влажности почвы, температуры воздуха, скорости ветра и других факторов. (*Материалы и методы*) Оценили важность разработки, которая может оптимизировать работу при возделывании сельскохозяйственных культур. Привели описание приложений и баз данных, входящих в центральный вычислительный пункт. Контроль за текущим состоянием участка орошения, расчет и выработка управленческих решений обеспечиваются с центрального вычислительного пункта, который по мобильной связи может получать, обрабатывать и передавать команды на пульт управления дождевальными машинами, насосной станции и диспетчеру машинно-тракторной бригады. (*Результаты и обсуждение*) Обосновали схему и основные блоки роботизированного оросительного комплекса для выращивания сельскохозяйственных культур. Разработали алгоритм взаимосвязи и операций сбора данных, расчета, контроля и управления. Установили, что такой комплекс позволит оптимизировать процесс полива, затраты и расход ресурсов на орошаемом участке, снизить загрязнение окружающей среды. (*Выводы*) Внедрение роботизированного оросительного комплекса позволит уменьшить расход воды, сократить издержки. Поддержание влажности почвы в оптимальных пределах создаст возможность для получения высокого и стабильного урожая качественной продукции при различных погодных условиях.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, система полива, закрытая оросительная сеть, низконапорная дождевальная машина «Каскад», автоматизация, роботизированный комплекс.

■ **Для цитирования:** Загоруйко М.Г., Соловьев Д.А., Рыжко Н.Ф., Рыжко С.Н. Роботизированный оросительный комплекс для выращивания сельскохозяйственных культур на орошаемом участке // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. №2. С. 61-67. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-61-67. EDN: TWDGJU.

Scientific article

Robotic Irrigation Complex for Crop Cultivation in Irrigated Areas

Mikhail G. Zagoruiko¹,
Ph.D.(Eng.), associate professor, leading researcher,
e-mail: zagorujko.misha2013@yandex.ru;
Dmitry A. Soloviev²,
Dr.Sc.(Eng.), associate professor,
e-mail: solovevda@bk.ru;

Nikolay F. Ryzhko³,
Dr.Sc.(Eng.), department head,
e-mail: ryzhkonf@bk.ru;
Sergey N. Ryzhko³,
Ph.D.(Eng.), researcher,
e-mail: Twglides@gmail.com

¹Federal Scientific Agroengineering Centre VIM, Moscow, Russian Federation;

²Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russian Federation;

³Volga Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Saratov Region, Russian Federation

Abstract. Intelligent technologies used in digital agriculture, such as remote sensing, serve as a necessary tool for collecting bio-object data. It has been established that data collected through remote sensing and the Internet of Things (*IoT*), including comprehensive imaging of agricultural bio-objects, and their subsequent analysis will help solve numerous challenges in agricultural production. (*Research purpose*) The research aims to develop and validate a robotic irrigation complex for crop cultivation. This system will optimize irrigation processes by considering various environmental factors such as soil moisture, air temperature, wind speed, and other relevant conditions. (*Materials and methods*) The paper evaluates the significance of developing a design that can optimize the process of crop cultivation and details the applications and databases integrated within the central computing center. The central computing hub monitors the current state of the irrigation area, performs calculations and develops management decisions. Utilizing mobile communications, this hub receives, processes, and transmits commands to the control panels of sprinklers, the pumping station, and the dispatcher for the machine-tractor team. (*Results and discussion*) The research has validated the design and main components of a robotic irrigation system for crop cultivation. Furthermore, an algorithm has been established to orchestrate the processes of data collection, calculation, and the control and management of operations. It was found that such a complex would optimize the irrigation process, reduce costs and resource consumption in the irrigated area, and decrease environmental pollution. (*Conclusions*) The implementation of a robotic irrigation complex will reduce water consumption, as well as material and energy costs associated with irrigation. By maintaining soil moisture within optimal ranges, this complex will enable the consistent production of high-quality crops under various weather conditions.

Keywords: remote sensing, irrigation system, closed irrigation network, low-pressure sprinkler «Cascade», automation, robotic complex.

For citation: Zagoruiko M.G., Soloviev D.A., Ryzhko N.F., Ryzhko S.N. Robotic irrigation complex for crop cultivation in irrigated areas. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N2. 61-67 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-61-67. EDN: TWDGJU.

Применение многоопорных дождевальных машин служит наиболее распространенным в нашей стране способом орошаемого земледелия при возделывании сельскохозяйственных культур. При этом преобладает групповая эксплуатация дождевальных машин (от 10 до 40 ед.), которые работают от стационарной насосной станции и закрытой оросительной сети [1, 2].

В последнее десятилетие в аграрном секторе произошли технологические преобразования, в результате которых производственные процессы стали более индустриализованными и эффективными [3]. Интеллектуальные технологии, применяемые в цифровом сельском хозяйстве, включают дистанционное зондирование, Интернет вещей (*IoT*), облачные вычисления и анализ больших данных (*BigData*) [4].

Дистанционное зондирование с помощью спутников, самолетов и беспилотных воздушных судов (БВС) становится необходимым инструментом для сбора данных о биообъектах [5, 6]. Эти данные позволяют получать актуальную информацию с больших территорий, включая зоны, недоступные для исследования человеком [7, 8].

Интернет вещей обеспечивает цифровую трансформацию сельскохозяйственной отрасли. Совре-

менные датчики, устройства с поддержкой *IoT*, программные приложения и облачные хранилища позволяют собирать, хранить, манипулировать огромными объемами и типами данных [9]. В частности, прогнозировать погоду, проводить мониторинг динамических параметров, таких как влажность и качество почвы, состояние растений, сбор урожая (рис. 1).

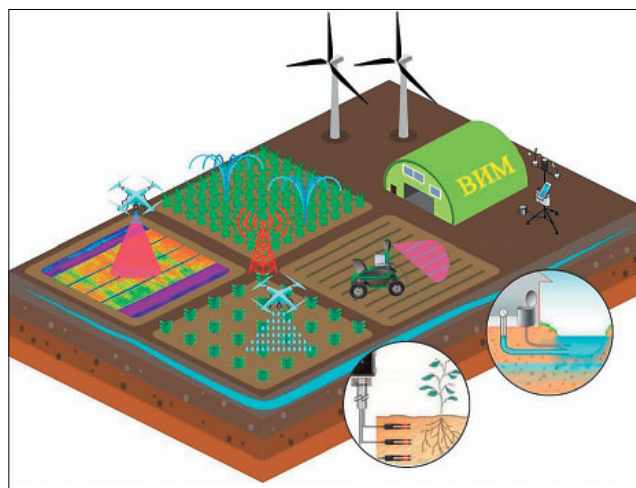


Рис. 1. *IoT* в сельском хозяйстве

Fig. 1. *IoT* in agriculture

Облачные сервисы используются для сбора, хранения, предварительной обработки и моделирования огромных объемов данных из различных источников. На основе массива данных в облачных хранилищах можно осуществить высокоточное прогнозирование [10, 11]. Технологии дистанционного зондирования, интернет вещей, облачных вычислений и обработки *BigData* поднимают на новый уровень цифровые услуги [12], создают возможности для повышения эффективности технологических процессов и снижения рисков потерь продукции.

Массив данных, собранных с помощью дистанционного зондирования и *IoT*, включает в себя изображения, предоставляющие полную картину сельскохозяйственных биообъектов. Анализ изображений позволяет более эффективно принимать решения на всех этапах производства [13]. Таким образом, распознавание огромного массива изображений является важной областью исследований в сельском хозяйстве, а в последние годы свёрточные нейронные сети глубокого обучения успешно применяются для обработки изображений высокого разрешения.

С помощью средств воздушного мониторинга на базе различных типов БВС собираются мультиспектральные и *RGB* данные [14]. На их основе производители агропродукции способны формировать цифровые карты, оценивать состояние сельскохозяйственных культур, выполнять контроль операций, вносить средства защиты растений, прогнозировать урожайность [15]. С увеличением количества данных требуется больше времени на анализ цифровых карт. Свёрточные нейронные сети глубокого обучения могут это сделать за секунды [16].

Цифровые технологии в сельском хозяйстве нашей страны еще недостаточно развиты, отличаются ограниченными возможностями и отсутствием комплексных решений.

Цель исследования – обосновать и разработать роботизированный оросительный комплекс, который позволит оптимизировать процесс полива сельскохозяйственных культур, учитывая влажность почвы, температуру воздуха, скорость ветра, другие параметры выращивания.

Материалы и методы. Роботизированный оросительный комплекс предназначен для эффективного использования дождевальных машин (ДМ) и насосной станции при обеспечении агроэкологических требований к поливу, сохранению плодородия почв, рациональному использованию водных, земельных, энергетических и трудовых ресурсов [17, 18].

В роботизированный комплекс входят центральный вычислительный пункт контроля и управления работой группы дождевальных машин. В общем виде алгоритм управления представлен на [рисунке 2](#).

Контроль за текущим состоянием участка оро-

шения, расчет и выработка управленческих решений обеспечиваются с центрального вычислительного пункта, который по мобильной связи может получать, обрабатывать и передавать команды на пульт управления дождевальных машин, насосной станции и диспетчеру машинно-тракторной бригады.

Центральный вычислительный пункт имеет ряд приложений и баз данных.

1. База данных участка орошения: данные и схема орошаемого массива с расположением дождевальных машин (ДМ), насосной станции и закрытой оросительной сети (канала) с указанием размеров наружных и подземных труб, запорной и регулирующей арматуры; данные по насосной станции: число насосных агрегатов, расход (Q) и напор (H) воды, марка и мощность (N) электродвигателя, удельный расход электроэнергии на подачу 1000 м^3 воды, оптимальное число одновременно работающих дождевальных машин. На насосной станции устанавливается датчик давления в коллекторе и датчик уровня воды в канале. Данные по каждой дождевальной машине: длина и площадь полива, расход воды и напор на входе в машину, таблица нормы полива, скорость движения последней тележки, время полива участка орошения, а также данные сим-карты для связи с пультом управления машины.

2. База данных выращиваемых под каждой дождевальной машиной сельскохозяйственных культур: вид, сроки посева, усредненные данные по фазам роста, требования к влажности почвы в каждый период развития, плановая урожайность, потребность в удобрениях, вид и способ их внесения, глубина корневой системы, общая кратность полива за сезон, поливные и оросительные нормы за период вегетации и др.

3. База данных климатических параметров участка: температура и относительная влажность воздуха, скорость ветра и слой осадков подекадно в течение вегетационного периода, средняя дата начала вегетации и др.

4. База данных почв на участке: тип и механический состав, объемная масса, среднее содержание азота, фосфора, калия и гумуса, влажность, влагоемкость, засоление почвы и др. Фактические данные заносятся после периодического отбора и химического анализа проб.

5. База данных рельефа участка: высотные значения гидрантов и крайней тележки машин, величина уклонов по секторам поля, величина уровня грунтовых вод и др.

6. База данных по организации поливов и уходу на участке орошения: расчет укомплектованного графика поливов с указанием их числа, нормы поливов, даты и времени каждого. Определяется оптимальное количество одновременно действующих



Рис. 2. Схема роботизированного оросительного комплекса для выращивания сельскохозяйственных культур на орошаемом участке

Fig. 2. Diagram of the robotic irrigation complex for crop cultivation on the irrigated area

машин при оптимальном режиме работы насосных агрегатов с минимальными затратами электроэнергии на полив, а также общая потребность в электроэнергии за поливной сезон.

Результаты и обсуждение. Время орошения участка определяется по формуле (Штепа Б.Г., Носенко В.Ф., Винникова Н.В. Механизация полива: Справочник. М.: Агропромиздат, 1990. 336 с.; Рыжко Н.Ф. Обоснование ресурсосберегающего дождевания и совершенствование дождевальной машины «Фрегат» в условиях Саратовского Заволжья; автореф. ...д-ра техн. наук. Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова. Саратов: 2012. 40 с.):

$$T_{\text{п}} = \frac{S \cdot m}{3,6 \cdot Q_{\text{д}} K_{\text{см}} (1 - E_{\text{ис}} / 100)}, \quad (1)$$

где S – площадь полива дождевальной машиной, га; m – норма полива, $\text{м}^3/\text{га}$; $Q_{\text{д}}$ – расход воды л/с; $K_{\text{см}}$ – коэффициент использования времени смены; $E_{\text{ис}}$ – величина потерь воды на испарение и снос, %.

Оптимальный режим работы и расход воды насосной станции

$$Q_{\text{НС}} = \sum Q_{\text{д}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{д}}$ – количество одновременно работающих дождевальных машин, л/с.

Расход воды насосной станции должен быть равен сумме оптимальных расходов насосных агрегатов ($Q_{\text{НА}}$, л/с) и обеспечить минимальные затраты электроэнергии на полив для данного типа насоса [19]:

$$Q_{\text{НС}} = \sum Q_{\text{НА}}. \quad (3)$$

Число одновременно работающих машин на отдельной линии закрытого трубопровода должно определяться допустимой скоростью потока в нем воды и потерями напора по длине (Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлических расчетов водопроводящих труб. М.: Стройиздат, 1984. 120 с.).

Дождевальные машины должны комплектоваться блоками управления, включающими пульты ручного и автоматического управления (открыть и закрыть задвижку, пуск и остановка машины, уста-

новка скорости движения и нормы полива, пуск и отключение концевого аппарата и др.), датчиками контроля давления на входе и в конце машины, движения и др. К блоку управления подключен метеопункт, фиксирующий температуру и относительную влажность воздуха, скорость ветра и слой осадков, а также влажность почвы на отдельных секторах поля.

Данные состояния машины, климата и почвы передаются на центральный пункт для контроля, анализа и выработки управленческого решения. Для контроля текущего состояния влажности почвы после выпавших осадков используется беспилотный летательный аппарат (БЛА) с видеокамерами или съемки со спутника с обследованием состояния растений [20, 21].

С началом проведения поливов с учетом выпавших или отсутствия осадков и при наступлении засушливого периода корректируются нормы и сроки орошения. С наступлением жары, суховея и при отсутствии осадков норма полива увеличивается, дата начала устанавливается более ранняя. Наоборот, при похолодании или после обильных осадков норма полива уменьшается, а начало полива переносится на более поздний срок. Корректировка проводится с учетом возможного числа одновременно работающих машин в оптимальном режиме насосной станции, а также пропускной способности отдельных участков закрытой оросительной сети при минимальных затратах электроэнергии на полив.

Выводы. Обоснованы схема и основные блоки роботизированного оросительного комплекса для выращивания сельскохозяйственных культур, разработан алгоритм взаимосвязи, а также выполнения операций по сбору данных, расчету, контролю и управлению.

В рамках исследования планируется разработать автоматизированный оросительный комплекс с использованием современных технологий, включая системы искусственного интеллекта и дистанционного мониторинга. Такой комплекс позволит оптимизировать процесс полива и снизить затраты на его проведение. Кроме этого, использование автоматизированных систем полива может повысить эффективность использования водных ресурсов и снизить загрязнение окружающей среды.

Новизна разработки заключается в том, что центральный вычислительный пункт обеспечивает управление группой дождевальных машин (до 40 ед.) и группой насосных агрегатов с учетом особенностей закрытой оросительной сети. При этом не требуется установка компьютеров на каждой дождевальной машине.

Внедрение роботизированного комплекса на орошаемом участке позволит снизить затраты водных и энергетических ресурсов на полив, поддерживать влажность почвы в оптимальных пределах, что будет способствовать получению стабильно высоких урожаев независимо от объема выпадающих осадков и климатических условий.

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. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-2-8.
2. Дубенок Н.Н., Майер А.В. Разработка систем комбинированного орошения для полива сельскохозяйственных культур // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2018. N1 (49). С. 9-19. DOI: 10.32786/2071-9485-2018-01-9-19.
3. Блохина С.Ю., Блохин Ю.И. Интеллектуальное земледелие на основе Интернета вещей // *Земледелие*. 2020. N7. С. 7-13. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10702.
4. Соловьев Д.А., Камышова Г.Н., Терехова Н.Н. и др. Цифровые технологии в управлении орошением // *Аграрный научный журнал*. 2019. N4. С. 93-97. DOI: 10.28983/asj.y2019i4pp93-97.
5. Соловьев Д.А., Камышова Г.Н., Терехова Н.Н., Бакиров С.М. Моделирование нейроуправления скоростью дождевальных машин // *Аграрный научный журнал*. 2020. N7. С. 78-84. DOI: 10.28983/asj.y2020i7pp78-84.
6. Смирнов И.Г., Курбанов Р.К., Марченко Л.А., Горшков Д.М. Дифференцированная обработка сельхозугодий с помощью БПЛА // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N4(37). С. 30-35. EDN: LFOUDJ.
7. Ценч Ю.С., Захарова Н.И. Тенденции развития технических средств аэрофотосъемки сельскохозяйственных земель // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N3. С. 16-26. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-16-26.
8. Романенкова М.С., Балабанов В.И. Применение цифровых технологий в растениеводстве // *Наука в Центральной России*. 2020. N2(44). С. 74-82. DOI: 10.35887/2305-2538-2020-2-74-82.
9. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Бахтиев Р.Н. Цифровые технологии в сельском хозяйстве // *Аграрный научный журнал*. 2019. N11. С. 95-98. DOI: 10.28983/asj.y2019i11pp95-98.
10. Камышова Г.Н. Применение искусственных нейронных сетей для управления орошением // *Аграрный научный журнал*. 2021. N4. С. 84-86. DOI: 10.28983/asj.y2021i4pp84-88.
11. Waga D., Rabah K. Environmental conditions' bigdata management and cloud computing analytics for sustainable agriculture. *World Journal of Computer Application and*

- Technology*. 2014. Vol. 2. N3. 73-81. DOI: 10.13189/wjcat.2014.020303.
12. Kamilaris A., Kartakoullis A., Prenafeta-Boldú F.X. A review on the practice of Big Data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017. Vol. 143. 23-37. DOI: 0.1016/j.compag.2017.09.037.
 13. Liaghat S., Balasundram S.K.A. The role of remote sensing in precision agriculture. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 2010. Vol. 5. N1. 50-55. DOI: 10.3844/ajabssp.2010.50.55.
 14. Ozdogan M., Rodell M., Beaudoin H.K., Toll D.L. Simulating the effects of irrigation over the United States in a land surface model based on satellite-derived agricultural Data. *Journal of Hydrometeorology*. 2010. Vol. 11. N1. 171-184. DOI: 10.1175/2009JHM1116.1.
 15. Загоруйко М.Г., Бельшклина М.Е., Курбанов Р.К., Захарова Н.И. Мониторинг показателей фотосинтетической деятельности и его использование для прогнозирования потенциальной урожайности сои // *Аграрный научный журнал*. 2021. N12. С. 9-12. DOI: 10.28983/asj.y2021i12pp9-12.
 16. Хаитов Б.У. Цифровое моделирование рельефа местности для задач предварительного анализа территорий // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Приборо-*
 - строение*. 2019. N3 (126). С. 64-76. DOI: 10.18698/0236-3933-2019-3-64-76.
 17. Кожанов А.Л., Воеводин О.В. Осушительно-увлажнительные системы на равнинных территориях с применением фронтальных и фронтально-круговых дождевальных машин // *Мелиорация и гидротехника*. 2021. N3. С. 95-108. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-95-108.
 18. Мирзаев М.А., Смирнов И.Г. Система позиционирования рабочих органов при дифференцированном опрыскивании растений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N1. С. 96-100. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-96-100.
 19. Бакиров С.М. Анализ энергозатрат на дождевальную машину // *Аграрный научный журнал*. 2019. N10. С. 95-98. DOI: 10.28983/asj.y2019i10pp95-98.
 20. Хорт Д.О., Личман Г.И., Филиппов Р.А., Беленков А.И. Применение беспилотных летательных аппаратов (дронов) в точном земледелии // *Фермер. Поволжье*. 2016. N10. С. 34-37. EDN: ZCPNPT.
 21. Зубарев Ю.Н., Фомин Д.С., Чашин А.Н., Заболотнова М.В. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // *Вестник Пермского федерального исследовательского центра*. 2019. N2. С. 47-51. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5.

REFERENCES

1. Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Lobachevsky Y.P., Shogenov Yu.H. Development of intensive machine technologies, robotic technology, efficient energy supply and digital systems in the agribusiness. *Technics and equipment for rural areas*. 2019. N6 (264). 2-9 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-2-8.
2. Dubenok N.N., Mayer A.V. Development of systems of combined irrigation for watering crops. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agro-university complex*. 2018. N1 (49). 9-19 (In Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2018-01-9-19.
3. Blokhina S.Yu., Blokhin Yu. I. A smart farming concept based on the Internet of things. *Zemledelie*. 2020. N7. 7-13 (In Russian). DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10702.
4. Soloviev D.A., Kamyshova G.N., Terekhova N.N. et al. Digital technologies in irrigation management. *Agrarian Scientific Journal*. 2019. N4. 93-97 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2019i4pp93-97.
5. Solovyev D.A., Kamyshova G.N., Terekhova N.N., Bakirov S.M. Simulation of speed neural control for irrigation machines. *Agrarian Scientific Journal*. 2020. N7. 78-84 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2020i7pp78-84.
6. Smirnov I.G., Kurbanov R.K., Marchenko L.A., Gorshkov D.M. Differential spraying of farmland via unmanned aerial vehicles. *Electrotechnologies and electrical equipment in agroindustrial complex*. 2019. N4(37). С. 30-35. (In Russian). EDN: LFOUDJ.
7. Tsench Yu.S., Zakharova N.I. Trends in development of agricultural aerial photography technology. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N3. 16-26. (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-3-16-26.
8. Romanenkova M., Balabanov V. Application of digital technologies in plant crops. *Science in Central Russia*. 2020. N2(44). С. 74-82. (In Russian). DOI: 10.35887/2305-2538-2020-2-74-82.
9. Soloviev D.A., Zhuravleva L.A., Bakhtiev R.N. Digital technology in agriculture. *Agrarian Scientific Journal*. 2019. N11. 95-98 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2019i11pp95-98.
10. Kamyshova G.N. Application of artificial neural networks for irrigation control. *Agrarian Scientific Journal*. 2021. N4. 84-86 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2021i4pp84-88.
11. Waga D., Rabah K. Environmental conditions' bigdata management and cloud computing analytics for sustainable agriculture. *World Journal of Computer Application and Technology*. 2014. Vol. 2. N3. 73-81 (In English). DOI: 10.13189/wjcat.2014.020303.
12. Kamilaris A., Kartakoullis A., Prenafeta-Boldú F.X. A review on the practice of Big Data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017. Vol. 143. 23-37 (In English). DOI: 0.1016/j.compag.2017.09.037.
13. Liaghat S., Balasundram S.K.A. The role of remote sensing in precision agriculture. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 2010. Vol. 5. N1. 50-55 (In English). DOI: 10.3844/ajabssp.2010.50.55.
14. Ozdogan M., Rodell M., Beaudoin H.K., Toll D.L. Simulating the effects of irrigation over the United States in a

- land surface model based on satellite-derived agricultural Data. *Journal of Hydrometeorology*. 2010. Vol. 11. N1. 171-184 (In English). DOI: 10.1175/2009JHM1116.1.
15. Zagoruyko M.G., Belyshkina M.E., Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Monitoring of photosynthetic activity indicators and its use to control the moisture supply of soybean crops. *Agrarian Scientific Journal*. 2021. N12. 9-12 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2021i12pp9-12.
 16. Khaitov B.U. Digital terrain simulation for preliminary territory analysis. Bulletin of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman. *Series Instrumentation*. 2019. N3 (126). C. 64-76 (In Russian). DOI: 10.18698/0236-3933-2019-3-64-76.
 17. Kozhanov A.L., Voyevodin O.V. Drainage and watering systems on even lands with the use of frontal and frontal-circular sprinklers. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2021. Vol. 11. N3. 95-108. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-95-108.
 18. Mirzaev M.A., Smirnov I.G. Positioning system of working bodies in differential spraying of plants. *Agricultural Machines and Technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 96-100 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-96-100.
 19. Bakirov S.M. Analysis of energy costs for sprinkler. *Agrarian Scientific Journal*. 2019. N10. 95-98 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2019i10pp95-98.
 20. Hort D.O., Lichman G.I., Filippov R.A., Belenkov A.I. Application of unmanned aerial vehicles (drones) in precision agriculture. *Farmer. Volga region*. 2016. N10. 34-37 (In Russian). EDN: ZCPNPT.
 21. Zubarev Yu.N., Fomin D.S., Chashchin A.N., Zabolotnova M.V. Use of uncleaned aircraft in agriculture. *Bulletin of the Perm Federal Research Center*. 2019. N2. 47-51 (In Russian). DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Загоруйко М.Г. – научное руководство, постановка задачи, обработка результатов исследований;
 Соловьев Д.А. – научное руководство, формулирование общих выводов;
 Рыжко Н.Ф. – научное руководство, разработка теоретических предпосылок;
 Рыжко С.Н. – подготовка начального варианта статьи, литературный анализ.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Zagoruyko M.G. – scientific guidance, problem statement, processing of research results;
 Soloviev D.A. – scientific guidance, formulation of general conclusions;
 Ryzhko N.F. – scientific guidance, development of theoretical assumptions;
 Ryzhko S.N. – preparation of the initial version of the manuscript, literature review.
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

03.04.2024
 24.05.2024