

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ОРОШЕНИЕМ

СОЛОВЬЕВ Дмитрий Александрович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

КАМЫШОВА Галина Николаевна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ТЕРЕХОВА Надежда Николаевна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ГОРЮНОВ Дмитрий Геннадьевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ВАРДУМЯН Арман, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

Представлены результаты анализа существующих цифровых технологий, применяемых для управления орошением. Как показывает практика, применение возможностей цифровых технологий и современного цифрового инструментария в управлении орошением способствует дальнейшему повышению эффективности производства сельскохозяйственной продукции и развитию потенциала отечественного сельского хозяйства.

Введение. Сельское хозяйство играет значительную роль в глобальной экономике. Население планеты растет значительными темпами. Согласно прогнозам ООН, к 2050 г. оно достигнет 9,8 млрд человек. Как следствие, потребность в продовольствии может возрасти более чем в 1,7 раза. В этих условиях возрастает роль стран, традиционно считающихся аграрными державами. Так, по площади пашни Россия занимает третье место в мире после США и Индии и первое место по экспорту пшеницы – 36,4 млн т (март 2018 г.). На долю АПК приходится до 6 % объема ВВП и 9,5 % численности занятых [4].

Россия обладает значительным потенциалом для развития сельского хозяйства, поскольку площадь сельскохозяйственных угодий составляет более 222 млн га [4]. Кроме того, страна обладает значительными водными ресурсами, однако их распределение по территории государства не является оптимальным для развития сельского хозяйства. Помимо вышперечисленных проблем, серьезным вопросом остается деградация сельскохозяйственных угодий. В России деградированы до 0,5 млн га орошаемых земель (более 11 % их общей площади) и до 1,8 млн га осушенных земель (более 37 %) [11].

Традиционные ресурсы роста эффективности сельского хозяйства (механизация, освоение новых земель) практически иссякли. Достичь качественно нового уровня развития АПК можно только с использованием современных цифровых технологий. По данным анализа Министерства сельского хозяйства России, свыше 50 % затрат сельхозпредприятий могут быть оптимизированы с помощью цифровых технологий. Главным катализатором развития агропромышленного комплекса в настоящее время является сочетание технологий в области анализа данных, в разработке сенсоров и самоуправляемой (беспилотной) техники, а также подключенных сетевых решений, систем управления, платформ и приложений, которые выводят технологии выращивания растений и животных, а также управление на новый уровень [14].

В 2017 г. Правительство Российской Федерации утвердило программу «Цифровая экономика Российской Федерации» [16], в рамках которой Министерство сельского хозяйства России разработало Ведомственную программу «Цифровое сельское хозяйство». Решение глобальных задач, поставленных перед отраслью, возможно только при наличии анализа существующих решений и их дальнейшего развития.

Целью исследования являлся обзор и сравнение аналитических, информационных, технологических и иных цифровых решений, применяемых для оптимизации управления орошением.

Методика исследований. Исследование носит обзорный характер. Теоретической и методологической базой исследования явились труды российских и зарубежных ученых, посвященные применению цифровых технологий в управлении орошением. Помимо этого в работе использовались обзоры органов государственного управления, международных организаций и инновационных компаний о цифровых решениях для управления орошением.

Результаты исследований. Как отмечалось ранее, распределение водных ресурсов в России неравномерно, и более 70 % площадей сельхозпроизводства расположено в зонах, требующих дополнительного орошения [11]. Объем орошаемых земель значительно сократился с 481,4 тыс. га в 1987 г. до 257,3 тыс. га в 2016 г., о чем свидетельствуют, например, сравнительные данные по Саратовской области [12].

Конкуренция за воду неизменно растет, так как в большинстве стран 90 % воды используется для орошения. Вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что только применение инновационных цифровых технологий позволит осуществлять «экономное орошение», значительно повысить эффективность сельскохозяйственного производства и снизить издержки.

В последние годы внедрение цифровых технологий в сельское хозяйство росло быстрыми тем-



пами, особенно в области орошения. Спутниковые данные, сенсорные сети, аналитика данных и беспилотные летательные аппараты повышают эффективность орошения, что приводит к повышению урожайности. За последние несколько лет технологические компании всё более активно сотрудничают с предприятиями сельскохозяйственного сектора, предлагая технологии и услуги передачи данных, чтобы помочь фермерам максимизировать прибыль.

Можно выделить следующие ключевые элементы цифровизации орошения:

цифровая база: картирование, оцифровка, спутниковые данные;

цифровой инструментарий: геоинформационные порталы, сенсоры, мобильные приложения;

автоматизация производства: роботизация техники и внедрение элементов искусственного интеллекта, телеметрические системы;

системы поддержки принятия решений: аналитика и большие данные.

Цифровой базой для орошения являются данные дистанционного зондирования Земли, например [2], оперативное получение спутниковых снимков с Formosat-2 (NSPO, Тайвань), RapidEye (RapidEye AG, Германия) и аэрофотоснимков (рис. 1).

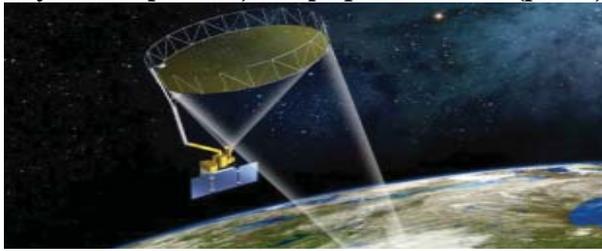


Рис. 1. Дистанционное зондирование

В рамках совместного проекта между Лабораторией реактивного движения НАСА и Лабораторией гидрологии и дистанционного зондирования США USA ARS был запущен спутник SMAP. Спутник собирает данные о влажности почвы со всего мира без использования наземных датчиков или других полевых измерений. Правительства и сельскохозяйственные производители могли бы использовать эти данные для лучшего информирования о том, когда, где и сколько применяемых оросительных вод может быть полезным.

К элементам специализированного анализа [3] (например, компания GPScom) можно отнести гидрологический анализ, анализ рельефа, построение карт уклонов и бессточных областей на основе дистанционного зондирования. Он позволяет получать данные о рельефе местности с точностью от 5 см на пиксель изображения, что дает возможность на основе цифровой модели рельефа проводить различные виды гидрологического анализа: строить карты водотоков, определять бессточные области, получать карты уклонов или профили заданного участка поля (рис. 2).

К другим элементам можно отнести системы картирования урожайности, которые устанавливаются на комбайны и позволяют определять и фиксировать количество собранной сельскохо-

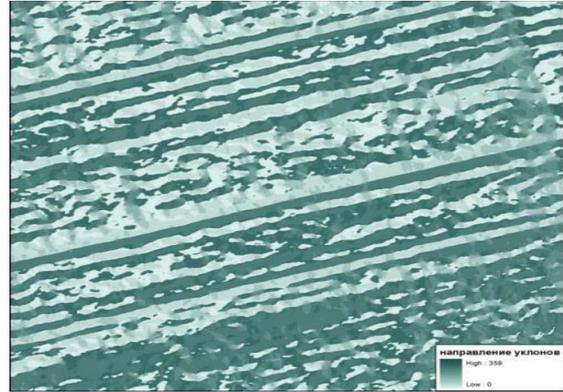
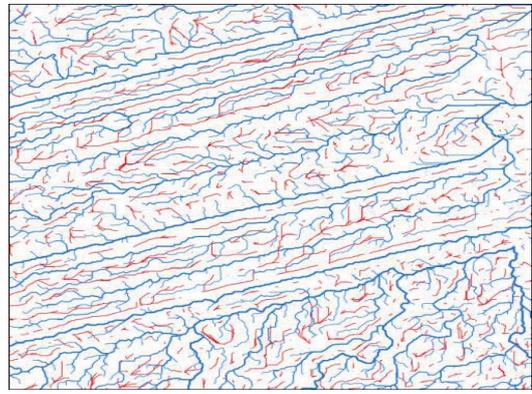


Рис. 2. Данные гидрологического анализа местности: карта водоразделов и водотоков (сверху), карта направлений уклонов (снизу)

зяйственной продукции. В эти системы зачастую интегрируют специальные компоненты, позволяющие, например, отслеживать изменения уровней влажности и урожайности на полях, как в системе картирования урожайности GreenStar Harvest Doc. Фирмой CLAAS (Германия) используется устройство Quantimeter, входящее в бортовую электронную систему Cebis, которое совместно с датчиком влажности определяет урожайность и количество сухой массы на каждом участке поля.

К цифровому инструментарию можно отнести датчики, сенсоры, метеорологические станции [10] (рис. 3) и геоинформационные системы. Глобальный мониторинг в реальном времени, мониторинг влажности почвы и урожайность максимизируют урожайность, экономят воду и энергию. Сенсорные сети могут использоваться для контроля водного баланса растений, эвапотранспирации растений или объемного содержания воды в почве. Анализ данных относится к использованию данных в реальном времени об энерго-



Рис. 3. Метеорологическая станция в реальном времени



потреблении, условиях окружающей среды. Затем эту информацию можно использовать для автоматизации ирригационной системы, которая регулирует количество и частоту подачи воды на основе собранного фактического материала, что позволяет принимать оптимальные решения.

Информация из региональных метеорологических сетей и стационарных метеостанций может использоваться для отслеживания транспирации. Объединив эту информацию с данными об осадках и влажности почвы, можно установить точный график орошения.

Геоинформационные системы (ГИС) [8] – это автоматизированные системы, основными функциями которых являются сбор, хранение, интеграция, анализ и графическая визуализация в виде карт или схем пространственно-временных данных, а также связанной с ними атрибутивной информации о представленных в ГИС объектах. Сегмент ГИС уверенно растет благодаря использованию данной технологии для сбора, хранения и анализа данных для сельского хозяйства в общем и для орошения в частности [1].

Геоинформационные системы позволяют анализировать различные факторы. Например, средства гидрологического моделирования – определять направления и интенсивность поверхностного стока. Средства геостатистического анализа позволяют выявлять пространственно-временные зависимости урожайности от множества факторов, таких как влажность, кислотность, состав и другие характеристики почв, время и объем внесения удобрений и ядохимикатов, и многих других. В общем, аналитические средства ГИС [17] позволяют решать огромное количество задач повышения устойчивости сельскохозяйственного производства и снижения затрат.

К наиболее известным зарубежным ГИС относятся: ArcGIS, AutoCAD (Autodesk, Inc., США) и др. Зарубежные разработки ГИС на российском рынке представлены давно, но из-за их высокой стоимости, а также отсутствия достаточного количества специалистов, умеющих с ними работать, при их использовании возникают определенные трудности. К известным отечественным ГИС разработкам относятся: ГИС «Панорама АГРО», ИАС «ГЕО-Агро» (ЗАО «ИЦ Геомир»).

Автоматизация процессов в целом позволяет повысить эффективность сельскохозяйственных агрегатов, снизить материальные и временные затраты на организацию контроля за работой, сбор,

обработку и анализ данных о ходе выполнения технологических процессов [6]. К таким инструментам в сфере орошения можно отнести дистанционное управление орошением. В качестве примера можно рассмотреть Trimble® Irrigate-IQ™ компании Trimble [19]. Благодаря Trimble® Irrigate-IQ™ можно управлять оросительной системой и выполнять контроль ее работы с любого компьютера, смартфона или планшетного компьютера. Irrigate-IQ можно установить на множестве моделей дождевальных машин любых производителей, что позволяет производить управление и контроль всех систем орошения из единого центра. Управление и контроль в этой системе включают в себя отображение и контроль скорости движения дождевальных машин, состояния (вкл/выкл), заряда аккумуляторов, давления и др.; дистанционное управление дождевальной машиной (вкл/выкл), расходом воды и направлением движения; проверку состояния системы, возможность смены режима орошения или получение текстовых сообщений о работе дождевальной машины и т.п.

К функциям можно отнести: дистанционное управление и контроль системы орошения с любого устройства; использование системы на дождевальных машинах различных производителей и моделей, просмотр информации о состоянии в едином месте; внесение точной нормы орошения на полях с участками, засаженными различными культурами; снижение количества перемещений по полю; получение текстовых оповещений о состоянии системы для подтверждения ее нормальной работы.

Беспилотные летательные аппараты [13] (рис. 4) могут использоваться для аэрофотосъемки и сбора данных; информация затем может быть объединена с программным обеспечением, чтобы помочь определить тенденции, чтобы показать, как можно настроить ирригацию.

Беспилотные летательные аппараты, оснащенные камерами и сенсорами, способны за несколько часов работы обследовать сельскохозяйственные участки внушительных размеров. Эти данные позволяют фермеру создавать электронные карты полей в формате 3D, рассчитывать нормализованный вегетационный индекс NDVI, инвентаризировать проводимые работы, охранять угодья. Дроны, оснащенные гипер-, мультиспектральными или тепловыми датчиками, способны определять области, требующие изменений в орошении. Microdrones '+ t kit от mdSolutions [18], например, использует признанный датчик для захвата изоб-



Рис. 4. Беспилотный летательный аппарат с блоком управления





ражений на пяти спектральных диапазонах, что позволяет фермерам быстрее и точнее оценивать состояние посевов и орошения.

Внедрение систем поддержки принятия решений на основе аналитики больших данных рассмотрим на примере цифровых решений корпорации Lindsay [5, 7]. Система управления орошением BOSS помогает обеспечивать точность и повторяемость позиционирования с целью прецизионного управления орошением, внесением химикатов и работой вспомогательных приспособлений. К основным преимуществам системы можно отнести:

подачу воды можно приспособить к потребностям сельскохозяйственной культуры;

интенсивность работы системы настраивается под водоудерживающую способность почвы, снижая возможность чрезмерного внесения;

четыре варианта вспомогательного оборудования позволяют улучшить управление распылительными насадками, наладить процесс обработки химикатами и удобрениями;

за счет возможностей планирования облегчается настройка программ орошения для нескольких сельскохозяйственных культур, частичного прохождения круга, различных свойств почвы и неровных участков.

Система поддержки принятия решений (рис. 5) FieldNET [15] обеспечивает быстрое и удобное решение для подачи воды, внесения удобрений и химикатов с дистанционным управлением круговыми и фронтальными системами, водяными пушками, инжекторами и насосами, а также возможностью отслеживания и записи всех данных – от использования воды и энергии до температуры и количества атмосферных осадков. Всё это способствует сокращению времени, проводимого в поле, расхода ресурсов и усилению контроля за выполняемыми работами.

FieldNET Advisor – это четыре мощных инструмента (орошение, растения, погода, точное орошение), встроенных в одно решение, которое не только дает ценные рекомендации по орошению, но также легко интегрируется в мощную удаленную систему мониторинга и управления FieldNET, позволяя производителям немедленно внедрять решения о поливе и следить за их прогрессом. Приведем описание функционала.

Блок орошение: рекомендует следующую дату и количество орошения; информацию по ежеднев-

ной и сезонной нехватке почвенной воды по всему полю; прогнозируемую нехватку воды в почве и потребность в ирригации в оставшейся части сезона; предупреждение об истощении почвенной воды; индивидуальные параметры управления ирригацией и предупреждения о рекомендациях; автоматический мастер установки начального поля позволяет использовать несколько культур, гибридов и даты посадки; автоматизированный импорт данных о почве; автоматизированные данные о применении орошения (глубина, местоположение, дата); при необходимости загрузите существующие поля или почвенные карты.

Блок растения: информирует о текущей стадии роста урожая и глубине корня, позволяющего ручную регулировку; рекомендует ежедневное использование водных ресурсов; производит автоматическую корректировку рекомендаций по орошению, основанную на воздействии урожая.

Блок погода: информирует о текущих погодных условиях; погодные метеорологические прогнозы по конкретным полям на 15 дней; ежедневные прогнозы погоды по конкретным районам на 15 дней; настраиваемые полевые предупреждения о погоде, изменяемые дневные количества осадков; данные с дополнительной полевой метеорологической станции в полевых условиях.

Блок точное орошение: автоматически генерируемые, постоянно обновляемые планы переменного орошения каждого сектора; автоматически генерируемые, постоянно обновляемые полные планы орошения (для этого требуется оборудование GPRS GradeMaster Precision с индивидуальным управлением спринклером); планы переменного орошения каждого сектора динамически оптимизируются с учетом изменения стадии развития сельскохозяйственных культур, роста корней, погоды, применения ирригации, а также изменчивости почвы на всей территории.

Заключение. Проведенные исследования показывают, что применение современных цифровых технологий в управлении орошением: создание цифровой базы (картирование, оцифровка, спутниковые данные), разработка цифрового инструментария (геоинформационные порталы, сенсоры, мобильные приложения), автоматизация производства (роботизация орошения, внедрение элементов искусственного интеллекта и телеметрических систем), а также внедрение систем поддержки при-



Рис. 5. Система поддержки принятия решений

нения решений – позволяют значительно оптимизировать затраты сельхозпредприятий.

Достижение качественно нового уровня развития АПК возможно только с использованием современных цифровых технологий [9]. Утвержденная Правительством Российской Федерации программа «Цифровая экономика Российской Федерации» и Ведомственная программа «Цифровое сельское хозяйство» ставят перед нашими учеными амбициозную задачу разработки отечественных инновационных цифровых технических, технологических и программных решений для управления орошением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Географическая информационная система и дистанционное зондирование. – Режим доступа: <http://gis-lab.info>.

2. Дворкин Б.А. Группировка спутников ДЗЗ RapidEye: уникальные возможности для решения задач мониторинга // Геоматика. – 2009. – № 3 (4). – С. 14–21.

3. Железова С.В., Вьюнов М.В., Березовский Е.В. Применение беспилотной аэрофотосъемки для оценки состояния почвы и посевов на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева // Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве: материалы Всерос. науч. конф. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2015. – С. 76–80.

4. Информационный портал Федеральной службы государственной статистики. – Режим доступа: <http://www.gks.ru>.

5. Каталог ирригационной продукции Zimatic by Lindsay. – Режим доступа: www.lindsay.com.

6. Каталог продукции Valley. – Режим доступа: www.valmont.com/irrigation.

7. Каталог Lindsay. Повышение урожайности пшеницы за счет применения эффективных решений в области орошения. – Режим доступа: www.lindsay.com.

8. Ковин Р.В., Марков Н.Г. Геоинформационные системы: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 175 с.

9. Козубенко И.С. Оценка на дистанции: инновационное решение для сельскохозяйственного бизнеса // Поле деятельности. – 12.2013–01.2014. – № 12/№ 1. – С. 26–27.

10. Контроллеры Trimble серии Juno: Juno 3В и Juno 3D: руководство пользователя // Trimble Navigation Limited, 2012. – 108 с.

11. Концепция федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на 2014–2020 годы». – М., 2010. – 60 с.

12. Саратовская область в цифрах–2016: краткий стат. сборник / Территориальный орган Федеральной

службы государственной статистики по Саратовской области. – Саратов, 2017. – 256 с.

13. Савин И.Ю., Вернюк Ю.И., Фараслис И. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для оперативного мониторинга продуктивности почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2015. – № 80. – С. 95–105.

14. Труфляк Е.В., Курченко Н.Ю., Дайбова Л.А. Мониторинг и прогнозирование научно-технологического развития АПК в области точного сельского хозяйства, автоматизации и роботизации. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 199 с.

15. Труфляк Е.В., Трубилин Е.И. Интеллектуальные технические средства АПК: учеб. пособие. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 266 с.

16. Федеральная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» – М., 2017. – 88 с.

17. AgGPS 170 Field Computer. User Guide, 2001. – 332 с.

18. mdSolutions:WORKSMARTER. – Режим доступа: https://www.microdrones.com/fileadmin/web/_downloads/brochures/Brochure_mdSOLUTIONS_EN.pdf.

19. Trimble для сельского хозяйства. – Режим доступа: http://buelinginc.com/wp-content/uploads/files/Trimble%20Portfolio_2015_RUS.pdf.

Соловьев Дмитрий Александрович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Россия.

Камышова Галина Николаевна, канд. физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой «Математика и математическое моделирование», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Россия.

Терехова Надежда Николаевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Математика и математическое моделирование», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Россия.

Горюнов Дмитрий Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Россия.

Вардумян Арман, аспирант кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Россия.

410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.
Тел.: (8452) 26-27-83.

Ключевые слова: цифровые технологии; орошение; цифровой инструментарий; системы поддержки принятия решений.

DIGITAL TECHNOLOGIES IN IRRIGATION MANAGEMENT

Solovyev Dmitry Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the chair “Technosphere Safety and Transport Technology Machines”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Russia.

Kamyshova Galina Nickolaevna, Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the chair “Mathematics and Mathematical Models”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Russia.

Terekhova Nadezhda Nickolaevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair “Mathematics and Mathematical Models”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Russia.

Gorunov Dmitrii Gennadievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair “Technosphere Safety and

Transport Technology Machines”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Russia.

Vardumian Arman, Post-graduate Student of the chair “Technosphere Safety and Transport Technology Machines”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Russia.

Keywords: digital technologies; irrigation; digital tools; decision support systems.

The article presents the results of the analysis of existing digital technologies used for irrigation management. As practice shows, the use of digital technologies and modern digital tools in irrigation management contributes to further improving the efficiency of agricultural production and developing the potential of domestic agriculture.

