

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

А.И. Жолобова, О.Т. Ергунова

Департамент менеджмента, Школа экономики и менеджмента, ВШЭ (СПб)
(Санкт-Петербург, Россия)

***Аннотация.** В быстроменяющемся мире важно оперативно реагировать на изменения и адаптироваться под них, чтобы сохранять конкурентное преимущество на рынке. С развитием Индустрии 4.0 применение информационных технологий является одним из главных способов повышения эффективности деятельности компании и увеличения объемов производства. Для многих стран одной из ведущих отраслей экономической деятельности является сельское хозяйство, однако данная отрасль подвержена ряду проблем, среди которых неэффективное использование исчерпаемых ресурсов, заражения и гибель растений и животных, непригодность и деградация почв, а также дефицит квалифицированных кадров. Данные проблемы могут быть решены путем активного внедрения информационных технологий, которые позволяют повысить эффективность компании, оптимизировать затраты и максимизировать производительность. Цифровые двойники активно применяются в различных отраслях, одна из которых – сельское хозяйство. В статье были подробно описаны принципы работы, а также функциональность и преимущества использования цифровых двойников в данной отрасли. На основе анализа литературных источников по данной теме, а также статистических данных и анализа практической деятельности компаний были приведены основные проблемы сельского хозяйства, представлены пути их решения, а также проанализировано применение технологии цифровых двойников на практике.*

***Ключевые слова:** цифровая трансформация, цифровой двойник, индустрия 4.0, сельское хозяйство 4.0, цифровизация, Интернет вещей, информационные технологии в сельском хозяйстве.*

THE USAGE OF DIGITAL TWINS IN AGRICULTURE

A.I. Zholobova, O.T. Ergunova

Department of Management, School of Economics and Management, HSE (St. Petersburg)
(Saint Petersburg, Russia)

***Abstract.** In our rapidly changing world it is of the utmost importance to react quickly to changes and adapt to the new environment in order to maintain a competitive advantage in the market. With the development of Industry 4.0 the implementation of digital technologies is one of the main ways to increase and maximize the efficiency of a company and increase the output. For many countries nowadays agriculture is still one of the leading economic sectors, however, agriculture faces a number of problems such as inefficient use of finite resources, some diseases and deaths of plants and animals, the lack of qualified workforce and soil deterioration. These problems may be solved by active implementation of information technologies which help to increase the efficiency of a company, optimize costs and maximize productivity. Digital twins are actively used in different spheres nowadays, one of them is agriculture. The article describes in detail the main principles and features of digital twins as well as their functionality and advantages*

for a company. Based on the analysis of literary sources on this topic, statistics and real examples of implementing digital twins by companies, this article focuses on the main problems of agriculture, suggests ways to solve them, and analyzes the usage of digital twins in practice.

Keywords: digital transformation, digital twin, Industry 4.0, agriculture 4.0, digitalization, Internet of things, information technology in agriculture.

В современном быстроменяющемся мире информационные технологии играют огромную роль в деятельности каждой отрасли. С развитием интернет-технологий многие компании используют Интернет вещей (Internet of things), большие данные (Big data), и все большую популярность набирает внедрение и использование цифровых двойников во многих отраслях. Мы живем в эпоху Индустрии 4.0 и цифровой трансформации. Цифровая трансформация – процесс внедрения информационных технологий во все сферы деятельности компании с целью автоматизации бизнес-процессов [8]. Производство становится автоматизированным и роботизированным, и благодаря внедрению инновационных технологий производительность и эффективность работы предприятий значительно повышается. Несмотря на высокую технологичность многих стран, сельское хозяйство по-прежнему остается одним из приоритетных направлений экономики для большого числа стран в мире, ведь именно благодаря сельскому хозяйству возможно обеспечение населения продуктами питания, а также достижение экономической стабильности.

Развитие сельского хозяйства за всю историю человечества происходило в несколько этапов. «Сельское хозяйство 1.0» было развито в традиционном обществе, производительность была на достаточно низком уровне, так как использовался только ручной труд. На смену ему пришло «Сельское хозяйство 2.0», с развитием механизации и индустриализации активно использовалась промышленная техника, а также искусственные удобрения и пестициды. «Сельское хозяйство 3.0» – современный этап развития, с использованием технологий для полива растений, доения животных, а также автоматического регулирования температур, поддержание необходимых условий в теплицах и отслеживание местонахождения животных с помощью чипов. На данном этапе появляется понятие точного земледелия. Точное земледелие – гибкое управление технологиями по выращиванию продукции для повышения урожайности, с использованием дронов, GPS-систем и датчиков комплексного сбора информации. При точечном земледелии поля делятся на условные участки, которым необходим полив, внесение удобрений или сбор урожая [15]. «Сельское хозяйство 4.0» - инновационная ступень развития отрасли с полностью автоматизированными процессами и возможностью доступа к любой информации благодаря технологиям IoT и использованию цифровых двойников. Благодаря активному использованию интернет-технологий в отрасли сокращается необходимость в большом количестве сотрудников, при этом человек занимает роль координатора и наблюдателя.

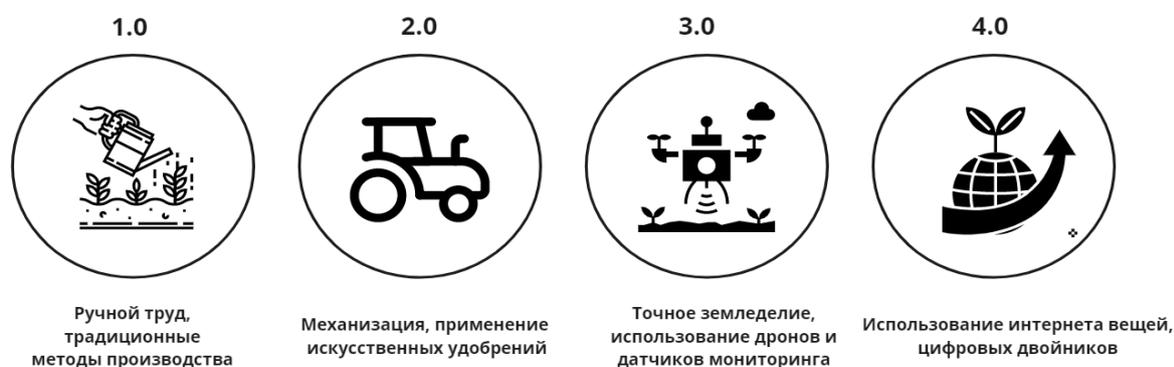


Рис. 1. Этапы развития сельского хозяйства

Как и любая другая отрасль, сельское хозяйство подвержено различным внешним и внутренним факторам, представляющим определенные риски и угрозы для бесперебойной деятельности и эффективного производства.

Среди основных проблем сельского хозяйства можно выделить следующие:

- Деградация земель и непригодность почв;
- Природные и погодные условия;
- Нехватка кадров и квалифицированного персонала;
- Дефицит водных ресурсов;
- Большие издержки и неэффективное управление фермами;
- Экономические и политические ограничения и условия неопределенности;
- Низкая технологичность отрасли и отсутствие инвестиций в технологическое развитие.

Ежедневно сельскохозяйственная отрасль во всем мире сталкивается с проблемой роста населения и растущих потребностей в условиях ограниченности ресурсов. По данным ООН, популяция населения будет стремительно расти и к 2030 году достигнет примерно 8,5 миллиардов человек, а к 2050 году численность населения оценивается в примерно 9,8 миллиардов. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации (ФАО), объем сельскохозяйственного производства должен увеличиться на 40% с 2012 по 2050 год для удовлетворения потребностей населения нашей планеты [14].

Сейчас от голода страдают примерно 690 миллионов человек, что составляет 8,9% населения. Несомненно, важно усовершенствовать методы по ведению сельского хозяйства, повысить производительность и эффективность для решения проблемы голодающего населения. Так, одной из 17 целей устойчивого развития является «Ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания и содействие устойчивому развитию сельского хозяйства». Одной из задач для достижения поставленной цели является создание устойчивых систем производства продуктов питания и повышение жизнестойкости и продуктивности методов ведения сельского хозяйства, чтобы увеличить объемы производства к 2030 году [7].

Несомненно, перед человечеством встает задача обеспечить продовольственную безопасность населения планеты и предоставлять качественные и доступные продукты питания. Повышение производительности возможно количественным путем, за счет увеличения и расширения зон посева, а также значительным увеличением численности животных. Однако данные количественные методы могут оказать пагубное влияние на окружающую среду, а также не привести к желаемым результатам. Для повышения производительности сельского хозяйства качественным, а не количественным путем необходима оптимизация сельскохозяйственной деятельности путем внедрения инновационных технологий с целью повышения эффективности и оптимизации затрат, а также сокращения ручного труда и ошибок, связанных с человеческим фактором. Одной из таких технологий является использование цифрового двойника.

Цифровой двойник – цифровая модель физического объекта или процесса, которая обеспечивает бесперебойную связь между физическим объектом в реальности и его виртуальной моделью [2]. Согласно прогнозам исследовательской компании MarketsandMarkets, темп роста всемирного рынка цифровых двойников составит 60.6% с 2022 по 2027 год. В 2022 оценка стоимости рынка составляет 6.9 миллиардов долларов, а к 2027 году ожидается повышение стоимости до 73.5 миллиардов долларов [14].

Основная задача использования цифрового двойника – анализ существующих процессов и предложение стратегии дальнейшего развития компании. К задачам использования цифровых двойников также относят: выявление узких мест деятельности компании, оптимизацию ресурсов, анализ чувствительности (what-if анализ), а также предложение универсальных решений по модификации деятельности компании. Цифровые

двойники строятся на основе многочисленных данных, получаемых от датчиков, что возможно только при условии использования Интернета вещей. Получая информацию с датчиков, установленных на полях, цифровые двойники могут своевременно обнаружить такие отклонения, как наличие вредителей и паразитов, ухудшение состояния растений и животных, что помогает избежать ущерба. Так, цифровые двойники осуществляют мониторинг состояния скота, отслеживают их перемещение и приемы пищи. Более того, цифровые двойники анализируют входящие данные об изменениях в среде (изменения климата и погодных условий, колебания спроса, урожайность, а также ограниченность ресурсов). При оценке множества факторов цифровые двойники предоставляют фермерам решения по оптимизации сельскохозяйственной деятельности и повышению урожайности [6].

Цифровые двойники моделируют различные состояния среды и предоставляют план действий в зависимости от меняющихся условий, также возможны построения прогнозов на основе уже имеющихся данных и моделирование гипотетических ситуаций. На рисунке 2 представлен принцип работы цифровых двойников.

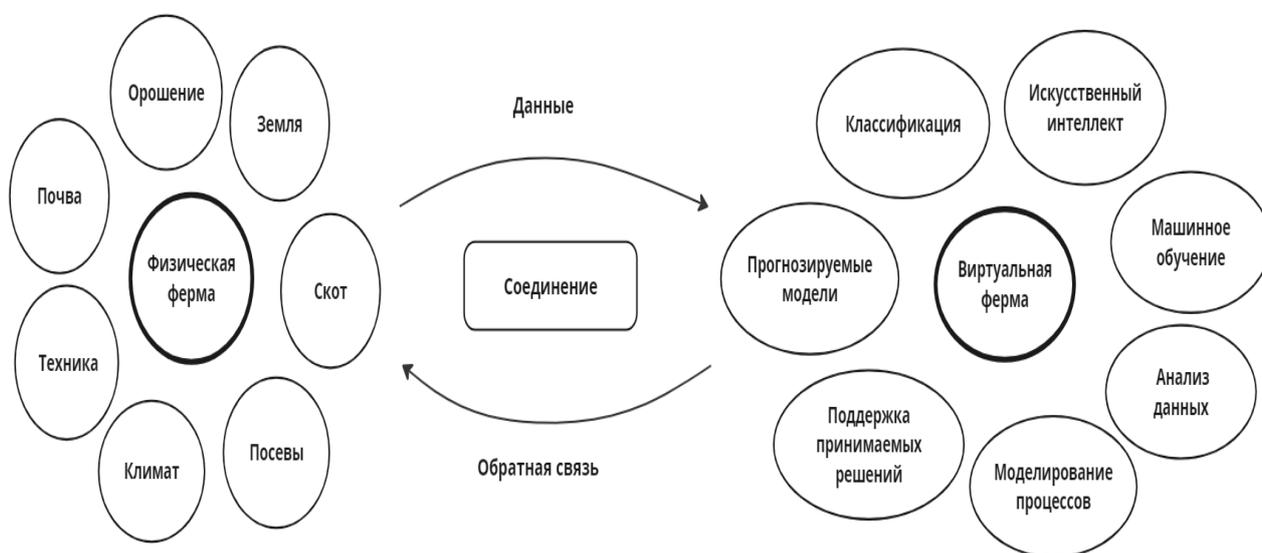


Рис. 2. Принцип работы цифрового двойника [17]

По опросу 2019 года, проведенному компанией Gartner, 13% организаций использующих технологии Интернета вещей также используют цифровые двойники, при этом 62% компаний планируют или уже начали процесс внедрения цифровых двойников.

Внедрение цифровых двойников помогает оптимизировать деятельность и повысить эффективность отрасли. Так, цифровые двойники позволяют смоделировать и проверить большое количество гипотез в безрисковой среде. Путем загрузки необходимых данных возможно моделирование различных ситуаций и прогнозирование деятельности с учетом различных параметров (изменение урожайности, спроса и сезонности) [4]. Основной задачей цифрового двойника является анализ текущих технологических процессов и операций и построение стратегии дальнейшего развития производственного процесса.

Использование цифровых двойников в сельском хозяйстве позволяет осуществлять мониторинг и контроль техники, используемой в сельском хозяйстве, состояние животных и растений, а также рассчитывать оптимальные периоды между поливами и посадками сельскохозяйственных культур, оптимизировать транспортную и складскую деятельность, учитывая такие параметры как сезонность, спрос, местоположение полей и их отдаленность от складов. Благодаря построению оптимальных маршрутов сокращается использование

топлива. Также, на основе данных, собранных в одном облачном хранилище, возможно прогнозирование урожайности, требуемых ресурсов и будущих продаж [13].

Таким образом, преимуществами внедрения и использования цифровых двойников в сельском хозяйстве являются:

- Оптимизация сельскохозяйственной деятельности;
- Автоматизация различных процессов и минимизация ручного труда;
- Мониторинг процессов в режиме реального времени и сбор статистики;
- Прогнозирование дальнейшей деятельности и расчеты требуемых ресурсов;
- Высокоточное моделирование и анализ процессов.

Цифровые двойники снимают ограничения, касающиеся места, времени и необходимости постоянного контроля со стороны человека. Вместо энерго- и времязатратного физического наблюдения за полями, цифровые двойники предоставляют полную информацию и все необходимые данные в режиме реального времени, что значительно упрощает работу человека, минимизирует ручной труд и решает проблему дефицита кадров в отрасли сельского хозяйства. Так, сельскохозяйственные процессы могут контролироваться удаленно. Более того, благодаря спутниковым данным человек получает полную картину состояния растений и скота, что не всегда возможно отследить физически [2]. Учитывая различные географические и химические особенности полей, цифровые двойники предоставляют информацию о необходимости полива или внесения удобрений на тот или иной участок поля, что упрощает и оптимизирует деятельность техники на полях, а также позволяет рационально использовать исчерпаемые ресурсы.

Цифровые двойники позволяют вести учет и мониторинг сельскохозяйственной техники, следить за состоянием почвы, посевов и скота, а также благодаря получению метеорологических данных прогнозировать влияние погодных условий на производительность полей. Так, при изменении определенных параметров в цифровой модели, двойник быстро реагирует на меняющиеся условия, анализирует ситуацию и несколько сценариев и предлагает оптимальные решения по модификации деятельности.

Также, важно упомянуть проблему дефицита водных ресурсов и возможность решения данной проблемы путем внедрения цифровых двойников. По статистике, предоставленной системой «AQUASTAT», за последние 100 лет объем воды, используемый для сельского хозяйства увеличился более, чем в 5 раз. При этом в среднем 60% используемой воды в разных странах мира также приходится на сельское хозяйство [10]. По данным ФАО, на сельское хозяйство в среднем приходится около 70% пресной воды. С учетом того, что к 2050 году по оценкам ООН численность населения планеты составит почти 10 миллиардов, такое потребление водных ресурсов приведет к огромному дефициту воды и представит угрозу продовольственной безопасности. Таким образом, одной из задач является оптимизация потребления водных ресурсов в сельском хозяйстве.

Цифровые технологии в сельском хозяйстве оптимизируют использование водных и земельных ресурсов, не причиняя вреда окружающей среде. Благодаря датчикам, установленным на полях, возможна оптимизация объема воды, затрачиваемого для сельского хозяйства. Так, процесс полива контролируется благодаря данным в системе, с предоставлением информации о необходимости полива растений, а также о периодичности. Благодаря цифровым двойникам потребление водных и энергетических ресурсов может быть снижено, так как фермеры получают точную и актуальную информацию о влажности почвы, необходимости удобрять почву, а также о состоянии скота.

Не стоит отрицать, что для внедрения и использования инновационных технологий требуются большие вложения в отрасль сельского хозяйства. Для некоторых государств одной из приоритетных статей бюджета является выделение средств на R&D (Research and Development) в сельском хозяйстве и смежных отраслях. На рисунке 3 представлены данные по затратам государств на R&D в отраслях сельского хозяйства, лесничества и рыболовства.

Данные представлены по средним затратам государств в период с 2018 по 2021 год. По данным ФАО, государство Бразилии вкладывает в развитие технологий 1357 миллиардов долларов и является мировым лидером, Россия также находится в топ-10 стран и занимает 5-е место. Важно отметить, что в период с 2015 по 2018 год затраты государства РФ на R&D в вышеперечисленных областях составляли 73 миллиарда долларов, и Россия была на 8-м месте. В период с 2018 по 2021 год данный показатель вырос на 62%, что говорит о большей заинтересованности государства в развитии инновационных технологий в сельском хозяйстве и смежных областях [14].

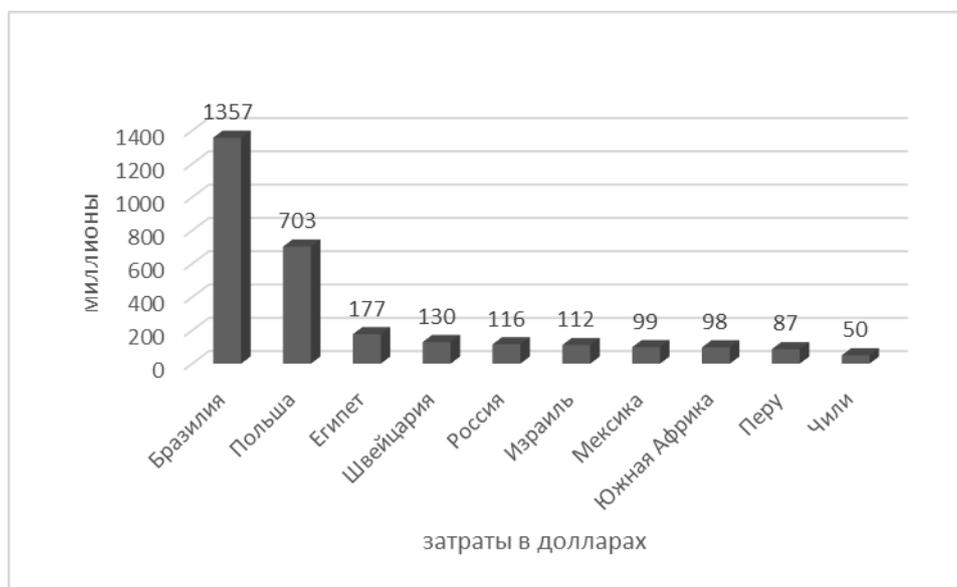


Рис. 3. Расходы государств на R&D в сельском хозяйстве

Несомненно, с помощью моделей, построенных с использованием больших данных сельскохозяйственные компании, использующие цифровые двойники повышают производительность, а также получают возможности для построения стратегии развития компании и прогнозирования их дальнейшей деятельности. По оценкам McKinsey & Company, в 2020 году фермеры повысили выручку на 3-5% благодаря внедрению цифровых двойников [9]. Далее будут приведены примеры практического использования цифровых двойников сельскохозяйственными компаниями.

Примером практического использования цифровых двойников является один из крупнейших агрохолдингов России – «Русагро». Компания активно использует цифровые двойники для автоматизации управления полями. Благодаря электронной модели поля «Русагро» получает точные и актуальные данные о границах посевных зон, состоянии почвы, а также о выращиваемых культурах на поле. Цифровые двойники помогают оптимизировать деятельность техники, а также контролировать сбор урожая и строить прогнозы на будущее.

На 2021-2026 годы в компании была утверждена стратегия цифровой трансформации, целью которой является повышение производительности и оптимизация затрат. В 2022 году особое внимание было уделено оптимизации выпуска масложировой продукции с внедрением цифрового двойника. Целью данной деятельности было повышение объема выпуска масложировой продукции и уменьшение затрат на производство. Более того, компанией «Русагро» были созданы цифровые двойники маслоэкстракционных заводов, а также смоделировано управление сырьем на платформе «Цифровой фермер». Целью внедрения цифровых двойников в данной деятельности были оптимизация сроков и стоимости транспортировки, а также оптимизация мест хранения и переработки подсолнечника.

Согласно финансовому отчету компании «Русагро», производство промышленной масложировой продукции снизилось на 6% по сравнению с 2021 годом, однако производство потребительской продукции выросло на 2%. При этом прибыль масложирового сегмента до выплаты налогов и амортизации выросла на 25% по сравнению с 2021 годом [3]. Важно отметить, что снижение производства отчасти было вызвано трудностями с поставками и временными запретами на импорт определенной продукции. Ввиду того, что компания разработала план цифровой трансформации до 2026 года, пока нельзя точно оценить эффективность внедрения цифровых двойников и других технологий в рамках Индустрии 4.0. Более того, ввиду различных санкций и запретов на экспорт и импорт продукции, могут наблюдаться значительные колебания спроса на продукцию компании «Русагро», что также отчасти может препятствовать объективному оцениванию внедрения конкретных инновационных технологий в компании.

Также, одним из примеров создания и предоставления цифровых двойников для повышения эффективности в сельском хозяйстве зарубежными компаниями является греческая компания «BeeZon». Компания разработала приложение, которое позволяет осуществлять мониторинг пчел в реальном времени и решать проблемы пчеловодства.

Пчеловодство подвержено различным факторам внешней среды, таким как изменение климата, смена сезонов и погодных условий. Зачастую ресурсов для эффективного ведения деятельности не хватает, а поток нектара нестабилен. Многие пчелы страдают от различных заболеваний и умирают из-за пестицидов, попадающих в их организм через нектар. Более того, сфера пчеловодства сталкивается с такой проблемой, как нехватка квалифицированного персонала. Компания «BeeZon» предоставляет возможности по удаленному мониторингу пчел и своевременному принятию управленческих решений. Так, компания предоставляет решение «Виртуальный пчелиный консультант», путем создания цифровых двойников пчелиного роя с помощью GPS-системы. Датчики предоставляют все необходимые данные о пасаках и пчелах, что позволяет пчеловодам своевременно выявлять наличие заболеваний у пчел, заражение от вредителей и уровень токсичности и воздействия пестицидов на пасеки, отслеживать местоположения роя и динамику колоний и запасы продовольствия.

Таким образом, цифровые двойники в сельском хозяйстве обладают огромным потенциалом. Предоставляя множество возможностей по оптимизации деятельности компаний и повышению их эффективности, цифровые двойники помогают решать многие проблемы сельского хозяйства, а также избегать потенциальных убытков путем моделирования потенциальных проблем и предлагая наилучшие решения по их предотвращению.

Список источников

1. Абрамов В. И. Перспективы развития управления регионом с использованием цифровых двойников / В. И. Абрамов, А. С. Кашироков // Управление социально-экономическим развитием регионов: проблемы и пути их решения : сборник статей 11-й Международной научно-практической конференции, Курск, 24–25 июня 2021 года. Том 1. – Курск: Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Курский филиал, 2021. – С. 11-19. – EDN CYYVOR.

2. Абрамов В. И. Цифровые двойники в сельском хозяйстве: возможности и перспективы / В. И. Абрамов, А. Д. Столяров // АПК России: образование, наука, производство: сборник статей II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Саратов, 28–29 сентября 2021 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. – С. 3-9. – EDN KDOWBX.

3. Годовой отчет 2022 // Русагро URL: https://www.rusagroup.ru/fileadmin/files/reports/ru/pdf/Rusagro-Annual-Report-2022-RUS_01.pdf (дата обращения: 22.05.2023).

4. Макаревич И. В. Внедрение современных технологий в агропромышленном комплексе: цифровые двойники / И. В. Макаревич // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета : тезисы

докладов, Волгоград, 26–30 апреля 2021 года. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2021. – С. 264-265. – EDN AQJKCP.

5. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. - 1-е изд. - М.: АльянсПринт, 2020. - 401 с. (Прохоров А., Лысачев М. Научный редактор профессор Боровков А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное. – М.: ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 стр., ил.).

6. Худякова Е.В., Кушнарева М.Н., Горбачев М.И. Эффективность внедрения цифровых технологий в соответствии с концепцией «Сельское хозяйство 4.0» / Е.В. Худякова, М.Н. Кушнарева, М.И. Горбачев // Международный научный журнал. – 2020. № 1. – С. 80-88.

7. Цели в области устойчивого развития // Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/241/ru/> (дата обращения: 22.05.2023).

8. Fedorov A.D., Kondratieva O.V., Slinko O.V. Process of digital transformation of agrarian economy // Proceedings of the International Conference on Policies and Economics Measures for Agricultural Development (AgroDevEco 2020). Advances in Economics, Business and Management Research. – 2020. – 30 July. – P. 164-169.

9. Agriculture supply-chain optimization and value creation // McKinsey & Company. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agriculture-supply-chain-optimization-and-value-creation> (дата обращения: 23.05.2023).

10. AQUASTAT — FAO's Global Information System on Water and Agriculture / Food and Agriculture Organization of the United Nations [Электронный ресурс]. URL: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use (дата обращения 22.05.2023).

11. Basso B., Antle J., 2020. Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. // Nat. Sustain. - 2020. - 3 (4), 254–256. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0510-0>. ISSN 2398-9629.

12. Christos Pylianidis, Sjoukje Osinga, Ioannis N. Athanasiadis Introducing digital twins to agriculture // Computers and Electronics in Agriculture. – 2021 - №184 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105942>.

13. Cor Verdouw, Bedir Tekinerdogan, Adrie Beulens, Sjaak Wolfert Digital twins in smart farming // Agricultural Systems. - 2021. - №189 <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.103046>.

14. Digital Twin Market // Marketsandmarkets [Электронный ресурс]. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html> (дата обращения: 21.05.2023).

15. FAO. 2022. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc2211en>

16. Government Expenditure // FAOSTAT [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/IG/visualize> (дата обращения: 24.05.2023).

17. Purcell W., Neubauer T. Digital Twins in Agriculture: A State-of-the-art review // Smart Agricultural Technology. - 2023. - №3 <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100094>.

18. Purcell W., Neubauer T., Mallinger K. Digital Twins in agriculture: challenges and opportunities for environmental sustainability // Current Opinion in Environmental Sustainability. - 2023. - №61 <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101252>.

References

1. Fedorov A.D., Kondratieva O.V., Slinko O.V. Process of digital transformation of agrarian economy // Proceedings of the International Conference on Policies and Economics Measures for Agricultural Development (AgroDevEco 2020). Advances in Economics, Business and Management Research. – 2020. – 30 July. – P. 164-169.

2. Abramov V. I. Digital twins in agriculture: opportunities and prospects / V. I. Abramov, A.D. Stolyarov // Agroindustrial Complex of Russia: Education, science, production : collection of articles of the II All-Russian (National) Scientific and Practical Conference, Saratov, September 28-

29, 2021. – Penza: Penza State Agrarian University, 2021. – pp. 3-9. – EDN KDOWBX. (In Russian).

3. Abramov V. I. Prospects for the development of regional management using digital twins / V. I. Abramov, A. S. Kashirokov // Management of socio-economic development of regions: problems and solutions : collection of articles of the 11th International Scientific and Practical Conference, Kursk, June 24-25, 2021. Volume 1. – Kursk: Financial University under the Government of the Russian Federation, Kursk Branch, 2021. – C. 11-19. – EDN CYYVOR. (In Russian).

4. Agriculture supply-chain optimization and value creation // McKinsey & Company. [Electronic resource]. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agriculture-supply-chain-optimization-and-value-creation> (date of application: 23.05.2023).

5. Annual report 2022 // Rusagro URL: https://www.rusagroup.ru/fileadmin/files/reports/ru/pdf/Rusagro-Annual-Report-2022-RUS_01.pdf (date of application: 22.05.2023). (In Russian).

6. AQUASTAT — FAO's Global Information System on Water and Agriculture / Food and Agriculture Organization of the United Nations [Electronic resource]. URL: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use (date of application: 22 May 2023).

7. Basso B., Antle J., 2020. Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. // Nat. Sustain. - 2020. - 3 (4), 254–256. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0510-0>. ISSN 2398-9629.

8. Christos Pylaniadis, Sjoukje Osinga, Ioannis N. Athanasiadis Introducing digital twins to agriculture // Computers and Electronics in Agriculture. – 2021 - №184 <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105942>.

9. Cor Verdouw, Bedir Tekinerdogan, Adrie Beulens, Sjaak Wolfert Digital twins in smart farming // Agricultural Systems. - 2021. - №189 <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.103046>.

10. Digital Twin Market // Marketsandmarkets [Electronic resource]. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html> (date of application: 21.05.2023).

11. FAO. 2022. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc2211en>.

12. Government Expenditure // FAOSTAT [Electronic resource] URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/IG/visualize> (date of application: 24.05.2023).

13. Khudyakova E.V., Kushnareva M.N., Gorbachev M.I. The effectiveness of the introduction of digital technologies in accordance with the concept of "Agriculture 4.0" / E.V. Khudyakova, M.N. Kushnareva, M.I. Gorbachev // International Scientific Journal. - 2020. No. 1. - pp. 80-88. (In Russian).

14. Makarevich, I. V. Introduction of modern technologies in the agro-industrial complex: digital twins / I. V. Makarevich // Competition of research works of students of Volgograd State Technical University : abstracts of reports, Volgograd, April 26-30, 2021. – Volgograd: Volgograd State Technical University, 2021. – pp. 264-265. – EDN AQJKCP. (In Russian).

15. Prokhorov A., Lysachev M. Digital double. Analysis, trends, world experience. - 1st ed. - Moscow: Alliance Print, 2020. - 401 p. (Prokhorov A., Lysachev M. Scientific editor Professor Borovkov A. Digital double. Analysis, trends, world experience. The first edition, corrected and supplemented. – Moscow: Alliansprint LLC, 2020. – 401 pages, ill.) (In Russian).

16. Sustainable Development Goals // Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Electronic resource]. URL: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/241/ru/> (date of application: 22.05.2023). (In Russian).

17. Purcell W., Neubauer T. Digital Twins in Agriculture: A State-of-the-art review // Smart Agricultural Technology. - 2023. - №3 <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100094>.

18. Purcell W., Neubauer T., Mallinger K. Digital Twins in agriculture: challenges and opportunities for environmental sustainability // Current Opinion in Environmental Sustainability. - 2023. - №61 <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101252>.