

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК ПОЛНОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА

О.М. ПИСАРЕВА, М.Н. БЕЛОУСОВА, Д.В. СТЕФАНОВСКИЙ

Государственный университет управления, Россия

Цель исследования: дать оценку ключевых тенденций в определении приоритетных направлений совершенствования разработки и внедрения цифровых платформ поддержки технологий производства и управления умным сельским хозяйством. **Методология исследования:** использованы методы контентного и логического анализа научных публикаций по тематике цифровой трансформации АПК в РФ и за рубежом, методы статистического анализа данных официальной отчетности Росстата и Всемирной продовольственной организации. Обоснование предложений и рекомендаций проведено с применением логического анализа вопросов и проблем автоматизации производства и управления агропредприятиями. **Результаты исследования:** получена актуальная характеристика реализации процесса цифровой трансформации в секторе сельскохозяйственного производства; определены критические проблемы и сформулированы ключевые задачи повышения эффективности разработки и применения отечественных цифровых платформ поддержки технологий производства и управления умным сельскохозяйственным предприятием; представлена концепция проектирования архитектуры и формирования функционала цифровой платформы в парадигме точного земледелия. **Оригинальность и значимость результатов:** приоритизация направлений совершенствования разработки и внедрения цифровых платформ в отечественном АПК выполнена с учетом реализации принципа технологической независимости страны в критических областях экономики. При проектировании и создании цифровых решений для умного сельскохозяйственного производства предложено учитывать аспекты реализации комплекса социально-экономических отношений предприятия АПК различного масштаба и характера на территории локации хозяйственной деятельности, а также использования технологий замкнутого цикла и специализации хозяйствующего субъекта подотрасли АПК при сопряжении его интеллектуальной информационной системы с цифровой платформой государственного регулирования сельского хозяйства.

Ключевые слова: сельское хозяйство, искусственный интеллект, цифровая платформа, цифровые стандарты, устойчивое развитие, экологические проблемы.

JEL: O32, O33, P41, Q12, Q15, Q16, Q52, R12

Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Соглашение № 075-15-2024-542.

Адрес организации: Государственный университет управления, Рязанский пр., 99, Москва, 109542, Россия.

© О.М. Писарева, М.Н. Белоусова, Д.В. Стефановский, 2024

<https://doi.org/10.21638/spbu18.2024.308>

ВВЕДЕНИЕ

В условиях трансформации мирового порядка для сохранения целостности и самобытности национальных государств актуальным становится их переход к модели суверенного развития. Среди аспектов обеспечения реальной государственной независимости при равноправном сотрудничестве с нейтральными и дружественными странами ключевое значение имеет решение проблем продовольственной безопасности как основы благополучия граждан.

Реализация политики самообеспечения государства основными продуктами питания требует особого внимания политического руководства и экспертного сообщества каждой страны к развитию агропромышленного комплекса (АПК) преимущественно на отечественной производственной и технологической базе. Необходимо отметить, что возможности общественного прогресса Российской Федерации существенно ограничены беспрецедентным санкционным давлением на национальную экономическую и политическую систему государства. Но жесткие ограничительные меры, спровоцированные событиями 2014 г., стимулировали ускоренное совершенствование сферы сельскохозяйственного производства в России. Однако дальнейшее эффективное развитие агропромышленного комплекса невозможно при исчерпании потенциала экстенсивных факторов роста, во многом связанных с освобождением рыночных ниш зарубежными компаниями и реализацией программ импортозамещения.

Преодоление неравномерности развития и сокращение уровня бедности в так называемых странах глобального Юга, где проживает большинство населения планеты, неразрывно связано с запуском механизма поддержки технологических и организационных инноваций, в том числе в сфере сельскохозяйственного производства. При ограниченном размере земельных угодий с благоприятными условиями ведения сельского хозяйства приоритетным направлением развития агропро-

мышленного комплекса логичным становится разработка комплексных решений повышения продуктивности сельскохозяйственного производства за счет селекции надежных агрокультур и создания эффективных агротехнологий. В секторе растениеводства все более востребованной является модель ведения точного земледелия, основанная на широком применении производительной сельскохозяйственной техники и адресном внедрении интеллектуальных методов и роботизированных систем в сельском хозяйстве с максимальным учетом реальных характеристик почв и мониторингом состояния посевов для получения гарантированного урожая.

Таким образом, создание и применение отечественных цифровых платформ поддержки технологий производства и управления в агропромышленном комплексе становится важным и актуальным направлением научных исследований и инженерных разработок.

Цель исследования — изучение основных тенденций развития агротехнологий в условиях цифровой трансформации для оценки проблем и определения приоритетных направлений совершенствования разработки и внедрения цифровых платформ поддержки технологий производства и управления умным сельским хозяйством.

Объект исследования — сельскохозяйственное предприятие в структуре агропромышленного комплекса. Предмет исследования — специфика интеграции технологий производства и управления агропредприятием в условиях цифровой трансформации.

Задачи исследования определены в направлении совершенствования проектирования и разработки отечественных цифровых платформенных решений для поддержки замкнутого жизненного цикла эффективного сельскохозяйственного производства, понимаемого и рассматриваемого как совокупность взаимосвязанных бизнес-процессов в архитектуре умного агропредприятия в сетевой предпринимательской среде.

Статья имеет следующую структуру. В первом разделе дана общая оценка места и роли сельскохозяйственного производства в отечественной и мировой экономике, приведена характеристика основных тенденций и проблем развития АПК в условиях цифровой трансформации. Во втором представлены концептуальные и методологические основы проведенного исследования вопросов создания эффективных цифровых решений для сельского хозяйства. В третьем проведен анализ ключевых проблем и направлений развития цифровых платформ в АПК. В четвертом сформулированы ключевые принципы построения мультидоменной и мультимодальной цифровой платформы интеграции сервисов для технологий производства и управления умного агропредприятия. В пятом разделе сформулированы основные выводы исследования, позволяющие дать оценку потенциальных эффектов и преимуществ реализации предложенного подхода к проектированию цифровых платформ. В заключении описаны элементы оригинальности и научной новизны результатов проведенного исследования, определены сферы эффективного применения представленного подхода.

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АПК

Сфера агропромышленного производства — основа базового уровня удовлетворения иерархии потребностей человека, определяющая условия его сохранения как биологического вида, а следовательно, и всей человеческой цивилизации. Прогресс в агротехнике и агротехнологиях относится к числу критически значимых и стратегически важных задач при обеспечении повышения уровня благополучия общества. Успешность их решения коррелирует

с обновленным составом национальных целей устойчивого и инновационного развития Российской Федерации, сформулированных Президентом Российской Федерации¹. Меры по поддержке и модернизации агропромышленного комплекса страны представлены в национальных проектах, ориентированных на сохранение населения, укрепление здоровья и повышение благополучия людей.

Проблематика цифровой трансформации в АПК связана с решением общих задач развития науки и подготовки кадров для создаваемой инфраструктуры цифровой экономики (в новом прочтении — экономики данных), способствующей повышению производительности труда и благосостояния населения России. В фокусе отечественных исследований и разработок по совершенствованию системы ведения сельского хозяйства создание цифровых решений для аграриев занимает особое место:

- с учетом наметившейся тенденции занятия российскими аграриями существенной доли мирового рынка продовольственных продуктов и сельскохозяйственного сырья важно обеспечить сохранение производственного потенциала АПК в условиях санкционного давления и технологического сдерживания;
- при всей обширности российской территории ограниченность сельскохозяйственных угодий с благоприятными природно-климатическими и почвенно-ландшафтными условиями для земледелия делает цифровые технологии незаменимым инструментом повышения продуктивности агрокультур и эффективности агрохозяйств;

¹ Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/63728> (дата обращения: 26.05.2024).

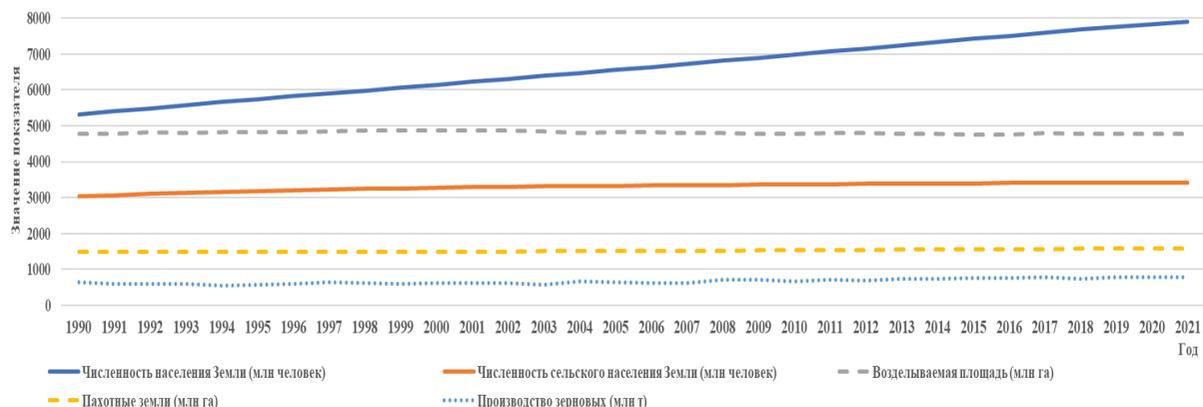


Рис. 1. Динамика роста численности населения Земли и основных показателей мирового сельскохозяйственного производства зерновых культур, 1990–2021 гг.

Составлено по: интернет-портал Федеральной службы государственной статистики (Росстат), раздел «Официальная статистика». URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/10705> (дата обращения: 26.05.2024); интернет-портал Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (FAO UN), раздел «Статистика». URL: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data> (дата обращения: 26.05.2024).

- в условиях обострившейся демографической проблемы в России внедрение цифровых платформ в АПК с интеллектуальными технологиями и роботизированными системами способствует изменению содержания труда работников аграрного сектора, делая его более привлекательным для молодежи и способствуя закреплению кадров и возрождению села.

Общая динамика развития сельхозпроизводства зерновых культур в мире на фоне ускоренного роста численности населения планеты проиллюстрирована на рис. 1.

Исходя из линейной аппроксимации тенденций оценка темпа роста жителей Земли (коэффициент детерминации $R^2 = 0,9998$) более чем в 11 раз превышает оценку темпа роста производства основных зерновых культур ($R^2 = 0,8238$). Следовательно, невозможно формирование достаточного по физиологическим нормам уровня потребления зерновых изделий в рациональном составе продуктовой корзины «усредненного» жителя без радикального повышения продуктивности агро-

сектора, в том числе на основе методов точного земледелия с применением современных информационных технологий.

Динамика основных показателей функционирования сельскохозяйственного сектора как ключевого звена АПК в российской экономике в 2012–2022 гг. представлена на рис. 2.

За этот период валовая добавленная стоимость (в фактических ценах) сельскохозяйственного сектора выросла с 2184,9 до 5930,30 млрд руб. (коэффициент CAGR² составил 10,42 %, что превысило показатель роста российской экономики CAGR равный 7,79 %, которая сократила свою долю в мировом ВВП с 2,69 до 2,11 %³).

² Коэффициент совокупного среднегодового темпа роста соответствующего показателя (Compound Annual Growth Rate — CAGR).

³ По оценке статистической службы Конференции по торговле и развитию Организации объединенных наций информационной платформы (см.: интернет-портал UNCTADstat. URL: <https://unctadstat.unctad.org/CountryProfile/GeneralProfile/en-GB/004/index.html> (дата обращения: 16.08.2024)).

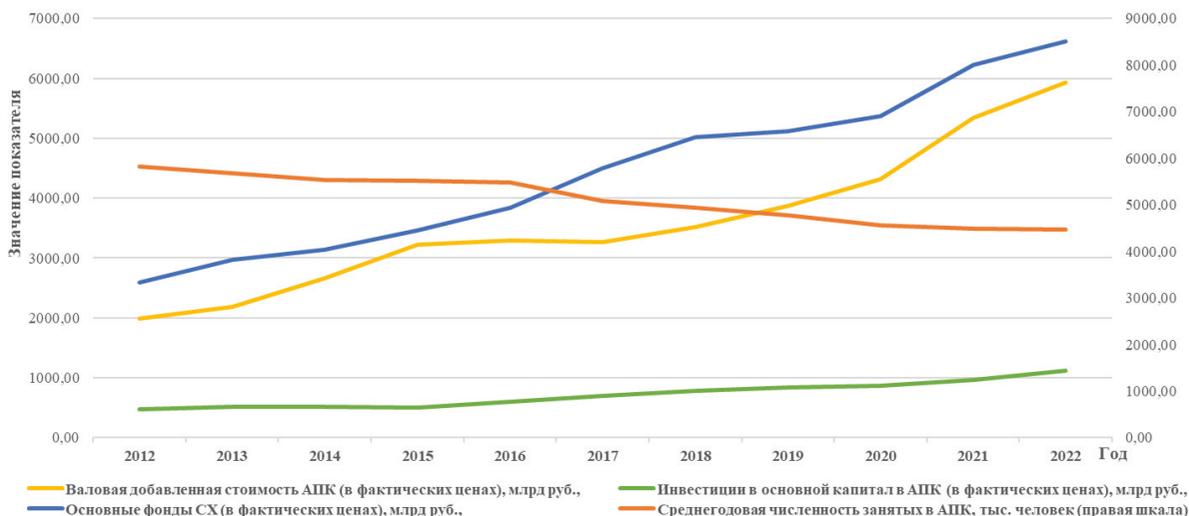


Рис. 2. Характеристика развития сельскохозяйственного сектора российской экономики, 2012–2022 гг.

Составлено по: интернет-портал Федеральной службы государственной статистики (Росстат), раздел «Официальная статистика». URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/10705> (дата обращения: 26.05.2024).

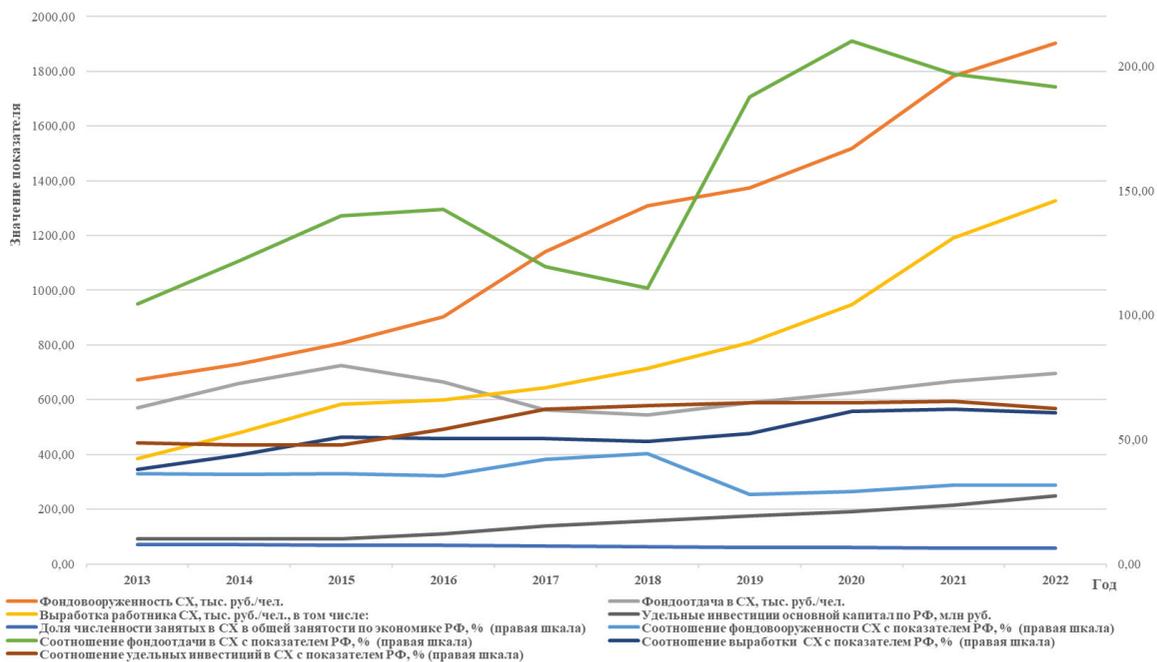


Рис. 3. Динамика относительных и структурных индикаторов развития сельскохозяйственного сектора российской экономики, 2013–2022 гг.

Составлено по: интернет-портал Федеральной службы государственной статистики (Росстат), раздел «Официальная статистика». URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/10705> (дата обращения: 26.05.2024).

При этом среднегодовая численность занятых сектора сократилась с 5681,10 до 4465,70 тыс. человек (CAGR = -2,39 %), а стоимость основных фондов по полной учетной стоимости на конец года увеличилась с 3823,27 до 8502,70 млрд руб. (CAGR = 8,88 %) при соответствующем увеличении инвестиций в основной капитал сельскохозяйственных предприятий и организаций с 516,59 до 1114,70 млрд руб. (CAGR = 8,03 %, что также превышает общероссийский рост инвестиций CAGR = 7,68 %).

Дополнительные аналитические технико-экономические показатели, характеризующие место и роль сельскохозяйственного сектора в российской экономике, представлены на рис. 3.

Можно выделить ряд позитивных моментов в развитии российского АПК: наметилась тенденция ускорения инвестиционных процессов при преобразовании отечественного сельского хозяйства (рост инвестиций в основной капитал предприятий с 2021 г. устойчиво превышает 10 % в год). Существенно выросло соотношение удельной выработки сельхозпродукции по сравнению со средним уровнем по национальной экономике с 38,03 до 60,88 % (CAGR = 4,83 %). Причем значение этого индикатора впервые в новейшей истории с 2020 г. стабильно выше 60 %, что частично объясняется постоянным повышением на рассматриваемом временном интервале фондовооруженности работника сельскохозяйственного сектора с 672,98 до 1904,00 тыс. руб. / чел. (CAGR = 11,55 %). Вместе с тем эта безусловно положительная тенденция не привела к выравниванию технического оснащения в секторе сельского хозяйства по сравнению с общероссийским уровнем: соотношение фондовооруженности сельскохозяйственного работника с аналогичным национальным показателем незначительными темпами, но ухудшалось: с 36,38 % в 2013 г. до 31,73 % в 2022 г. (CAGR = -0,65 %).

С одной стороны, общая динамика развития отрасли в условиях интенсивного

импортозамещения с 2014 г. свидетельствует о значительном вкладе российских аграриев в рост экономики страны. Однако, с другой стороны, пока не наблюдается устойчивого выхода на новый качественный технологический уровень производства в АПК, включая повышение плотности роботизации труда в его основных подотраслях — растениеводстве и животноводстве.

Кроме того, с 2014 г. обострилась проблема зависимости отечественной экономики от импортных технологий, в том числе и для цифровизации в сфере АПК. По оценкам специалистов Минсельхоза РФ, на 2014 г. около 95 % специализированных информационных технологий для сельхозназначения были представлены зарубежными компаниями-разработчиками⁴, что не могло не отразиться на эффективности и конкурентоспособности российских предприятий АПК. Последний факт провоцирует рост издержек производства, связанных с преодолением проблем минимизации рисков технологического отставания и деградации технической базы массового производства.

В этой связи с учетом обострения проблемы обеспечения продовольственной безопасности агропромышленное производство как стабильный источник продуктов питания и сельскохозяйственного сырья становится значимой и важной сферой использования современных цифровых платформ и цифровых технологий, которые могут стать заметным драйвером преодоления хронических и вновь возникающих проблем сельхозпроизводителей.

⁴ Минсельхоз РФ. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/dit/news/igor-kozubenko-apk-rossii-nuzhny-90-tysyach-it-spetsialistov/?ysclid=lwshfc4z2p667807425> (дата обращения: 26.05.2024); URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья_Цифровизация_в_агропромышленном_комплексе_России?ysclid=lwsewb33pu210380328 (дата обращения: 26.05.2024).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вопросам применения различных цифровых платформенных решений в сельском хозяйстве посвящено значительное количество публикаций. Можно выделить следующие тематические кластеры этой проблематики: роль и использование цифровых решений в сельском хозяйстве; прикладные аспекты их влияния на деятельность сельхозпредприятий; концепции проектирования архитектуры и функционала цифровых платформ; правовые аспекты и социально-экономические последствия внедрения цифровых решений в АПК.

Актуальность исследований в области применения цифровых платформ в сельском хозяйстве подчеркнута авторами работ [Дубовицкий, Стамова, 2020; Каманина, 2023; Монахов, Уколова, 2020]. Ими представлены новые перспективные направления, обоснована необходимость междисциплинарных подходов к реализации проектов внедрения современных интеллектуальных систем управления АПК на цифровой основе. Существующие подходы к классификации цифровых платформ в сельском хозяйстве приводятся в [Моторин, Стукалин, 2023; Сибиряев, 2023], где выделены такие признаки, как назначение платформы, инфраструктура сервисов, группы пользователей, тип агрегирования, а также представлено сравнение отечественных IoT-решений (Интернет вещей — IoT): AggreGate, kSense, «Агросигнал», «Агроаналитика-IoT» и т. д. Задачи совершенствования методологического и технологического инструментария использования цифровых двойников в различных секторах сельского хозяйства рассмотрены в [Semin et al., 2023]. Вопросы разработки и использования интеллектуальных агротехнологий на основе IoT-решений с пространственным анализом освещены в статье [Yusianto et al., 2020].

Эволюция проектирования информационных систем от появления персональных

компьютеров до формирования отраслевых платформенных решений в сельском хозяйстве отражена в [Кульба, Меденников, Микулец, 2020]. Интересна концепция проектирования цифровых платформ АПК, включающая структуру, задачи, последовательность этапов, обоснование экономического эффекта от их внедрения [Огневцев, 2018]. Подходы к проектированию децентрализованной цифровой платформы в АПК, позволяющей интегрировать информационные ресурсы и вычислительные мощности, рассмотрены в работе [Астахова, Колбанев, Шамин, 2018]. Компоненты региональных цифровых платформ сельского хозяйства, критерии их оценки и методы ранжирования содержатся в [Райков, Антипин, Фучеджи, 2020]. Концептуальные основы их проектирования также отражены в [Васильев и др., 2024; Жукова, Улезько, 2020]. Проблемы использования технологий охарактеризованы в обзоре [Wolfert et al., 2017]. Обоснованной представляется конвергентная методология создания цифровых платформ в сфере АПК с использованием методов решения обратных задач и анализа больших данных, а также когнитивных моделей [Райков, 2021].

Необходимость интеграции и перспективы технологий искусственного интеллекта на цифровых платформах сельского хозяйства проанализированы в [Зацаринный, Меденников, Райков, 2023]. Состояние роботизации в аграрном секторе России освещено в [Nabokov et al., 2020]. Вопросы и проблемы практической реализации и оценки эффективности их внедрения рассмотрены в [Меденников, 2020], где также сформулированы перспективы применения данных платформ для точного земледелия на базе геоинформационных систем.

Методология внедрения цифровых платформ в АПК с характеристикой этапов на основе оценки степени цифровой зрелости текущего состояния и потенциальных выгод описана в [Сибиряев, 2023]. Анализ последствий внедрения цифровых техноло-

гий посвящена работа [Меденников, 2022], в которой отмечается способность цифровых платформенных решений коренным образом изменить экономическую и социальную ситуацию в сельском хозяйстве. Правовые аспекты использования цифровых платформ АПК рассмотрены в [Соловяненко, 2020]. Вопросы организации процесса обеспечения юридически значимого документооборота в рамках цифровизации АПК освещены в [Ганиева, Бобров, 2019].

Проведенный анализ последних исследований и публикаций, посвященных проблематике применения цифровых платформенных решений в сельском хозяйстве, позволяет сделать вывод о наличии недо-

статочно изученных аспектов, что можно объяснить не только сложностью, но и динамичным характером ее развития.

Классификация решений в сфере цифрового сельского хозяйства не является универсальной, поскольку у разных хозяйствующих субъектов имеются уникальные потребности и приоритеты. Тем не менее все создаваемые цифровые решения можно разделить на следующие категории информационных систем: 1) управление агропроизводством; 2) сбор данных; 3) поддержка принятия решений; 4) диагностика и настройка оборудования. Обобщение коммерческих реализаций по каждой категории решений представлено в табл. 1.

Таблица 1

Примеры программных решений для ведения цифрового сельского хозяйства

Наименование системы	Описание	Программное решение
Управление агропроизводством	Программные системы управления и интеграции сельскохозяйственных операций, включая управление финансами, запасами и трудовыми ресурсами. Осуществляют предоставление централизованной платформы сбора, анализа и управления данными, позволяющей принимать обоснованные решения на основе информации о состоянии техники и выполнении работ в онлайн-режиме	AgriWebb, Granular, Conservis, SAP, Ariba, Xero, TSheets, Oracle SCM, Kronos, ADP, Infor SCM
Сбор данных	Системы сбора полевых данных, включая оценки урожайности, мониторинг почвы и т. д. Обеспечивают предоставление точных и своевременных данных для принятия решений	John Deere Harvest Monitor, iScan, CropX, DroneDeploy, Farmers Edge, Climate Corporation
Поддержка принятия решений	Поддержка анализа и принятия обоснованных специализированных решений, а также визуализация собранных данных на основе знаний в реальном времени	AgLeader SMS, Climate FieldView, Veris Technologies, AgWorld, Agro Club, FluroSat, Taranis
Настройка оборудования	Технологии настройки оборудования и входных данных в реальном времени, включая системы наведения, а также автоматическое управление приложениями	Trimble, John Deere, AGCO, CASE IH, Raven Industries, Topcon Africulture

Составлено по: [Examples of Artificial Intelligence Projects, 2023; Basso, Antle, 2020; Sonal, 2021; McFadden, Njuki, Griffin, 2023].

Системы управления агропроизводством служат основой цифрового сельского хозяйства, предлагая возможности: 1) централизованного управления, позволяющего иметь единое представление о сельхозпредприятии и принимать обоснованные решения о его функционировании и развитии; 2) интеграции для консолидирования данных из системы поддержки принятия решений (СППР), систем диагностики техники и оборудования, систем сбора данных устройств с автономными датчиками сети электронных коммуникаций, обеспечивая их бесперебойный контроль и анализ всей работы; 3) управления эффективностью, автоматизируя и оптимизируя различные задачи управления.

Системы сбора данных в цифровом сельском хозяйстве включают сбор данных, связанных с урожаем, почвой, погодными и другими полевыми условиями. В этих решениях используются такие инструменты и технологии, как мониторы урожайности, датчики почвы, дистанционное зондирование.

Системы поддержки принятия решений охватывают системы наведения, автоматическое регулирование норм внесения семян, удобрений, пестицидов и орошения и т. д. Их применение направлено на рост эффективности полевых операций, минимизацию отходов, оптимизацию графиков выполнения работ, увеличение общей производительности агропредприятия.

Системы настройки оборудования ориентированы на технологии точного земледелия в зонах рискованного ведения сельского хозяйства. Целесообразно внедрение систем точного земледелия, учитывая разнообразие климатических условий и неоднородность полей для минимизации рисков и оптимизации затрат. Агрохимический анализ почвы сенсорным оборудованием позволяет оценить плодородие почвы, получить данные об их пригодности к выращиванию конкретной культуры, оптимизировать систему питания и уменьшить расход удобрений.

Технологии параллельного ведения на основе использования регулирующих устройств, GPS-навигаторов и автопилотов дают возможность: оптимизировать возделывание земель; существенно уменьшить расходы на топливо, посевной материал и удобрения за счет их дифференцированного внесения; контролировать точность выполнения операций. На основе метеомониторинга устанавливаются оптимальные периоды начала посевной кампании, полива и внесения удобрений и средств защиты растений (СЗР), а также осуществляется регулирование их расхода. На этапе анализа собранной информации используются агроплатформы — комплексные онлайн-сервисы с модульным разделением для обработки больших баз данных и принятия управленческих решений на основе риск-менеджмента.

Решения IoT являются ключевой частью инициатив умного сельского хозяйства. Здесь используются встроенные и удаленные датчики генерации и передачи данных о конкретной культуре или животном, что позволяет механизировать и автоматизировать внутрихозяйственные процессы, приводя к более эффективному, высококачественному и устойчивому производству сельхозпродукции.

В рамках исследования были систематизированы распространенные зарубежные цифровые приложения, поддерживающие внедрение технологий ведения цифрового земледелия для крупных и мелких агропроизводителей, доступные для Android, iPad, iPhone и т. д. (табл. 2).

Важно подчеркнуть, что данные табл. 1 и 2 характеризуют преимущественно сведения, полученные на основе международного опыта потребителей цифровых инноваций для умного сельскохозяйственного производства. Для организации отечественных разработок оправданно обращение к обобщению позитивных и негативных оценок иностранных специалистов и экспертов, первыми приступивших к анализу коммерческого применения платформенных решений поддержки технологий производства и управления в АПК.

Таблица 2

**Направления внедрения технологий цифрового земледелия на агропредприятии:
используемые цифровые приложения**

Направление	Цифровое приложение	Функция цифрового приложения
Мониторинг состояния растений и условий роста культур	BeCrop, SIRRUS	Мониторинг полевых условий
	GeoPard Agriculture	— Карты внесения препаратов (удобрений и СЗР) с изменяющейся нормой — Зонирование полей по данным урожайности и т. д.
	EOS Crop Monitoring	— Всесторонний анализ погодных условий, стадий развития растений, оптимального количества и времени для посева или внесения удобрений — Зонирование полей в геоинформационной системе (ГИС)
Защита культур от болезней	Field Prophet, Valley Insights	Идентификация риска заболевания растений
	Farm Dog, Taranis Scout	Агроскаутинг и идентификация заболеваний культур
	Drift	Оценка приоритетности защиты
	CommoditAg	Заказ удобрений и химикатов
Питание растений	Crop Nutrient Advisor	Выявление дефицита питательных веществ благодаря снимкам культур
	eKonomics by Nutrien	Выявление дефицита доступных полезных соединений в почве
Мониторинг эксплуатации техники	John Deere Operations	Управление полевой техникой и качеством ее работы
	DropControl	Контроль работы оросительной системы
Взаимодействие производителей и потребителей продукции	Smartwyre Mobile	Сбор информации о продуктах, ценах и продавцах
	Market+ by Indigo	Оптимизация цепи поставки продукции
	Grower Portal	Поиск клиентов розничных продавцов
Управление хозяйством	Agworld	Сбор и обмен с работниками и партнерами данными о работе хозяйства
	Grower360	Решение вопросов учета хозяйства
	Phytech, FarmQA	Формирование рекомендации по повышению урожайности
	Semios	Оценка погодных рисков
	AgriSync	Экспертное онлайн-сопровождение

Составлено по: [Aggeek, 2024; Travelite Agro, 2024; Hussain et al., 2021; Ehlers, Huber, Finger, 2021; The Future of Job Report, 2020].

Решения для интеллектуального сельского хозяйства с использованием IoT-датчиков можно разделить на три группы.

1. Интеллектуальные решения управления посевами охватывают вопросы дистанционного управления водяными насосами, мониторинга почвы, мониторинга посевов, управления и автоматизации орошения, управления теплицами, автоматического внесения удобрений и пестицидов, управления холодильными складами и отслеживания логистики. Среди них:

- Inspira Farms (используется IoT для предоставления технологических решений предварительного охлаждения и холодной цепи для цепочек поставок свежих фруктов и овощей, цветов и животных белков);
- Nano Ganesh (система автоматизации орошения, позволяющая применять мобильные телефоны для дистанционного управления ирригационными насосами, расположенными в отдаленных или опасных местах);
- SunCulture (система сбора данных о почве и погоде с IoT-датчиков почвы, расположенных на земле, местных метеостанций и метеорологических спутников).

2. Применение интеллектуальных инструментов управления животноводством — IoT-устройств для помощи фермерам в сдерживании и предотвращении краж, выявлении хищнических угроз и т. д. Среди них:

- Aquarech (управление фермой IoT-датчиками для получения жизненно важных показателей производства, повышающих производительность мелких рыбоводческих хозяйств и связывающих производителей с продавцами);
- eFishery (интеллектуальное оборудование кормления рыбы и креветок с применением IoT-датчиков для оптимизации времени и количества корма);
- Stellaps (интегрированные с IoT-датчиками инструменты автоматизации и аналитики для систем слежения за перемещением животных с помощью

носимых электронных устройств, доения, транспортировки и хранения молока в цепях фермерских поставок).

3. Создание служб доступа к механизации, которые задействуют цифровые системы бронирования (обычно в виде мобильных приложений), обеспечивающие фермерам доступ к сельскохозяйственному оборудованию, такому как тракторы, дроны, молотилки, почвообрабатывающие машины и другое сельхозоборудование. Среди них:

- BeatDrone (воздушные сенсорные IoT-платформы, отображающие фермы для оценки урожая, анализа почвы, использования воды; дроны-опрыскиватели с точной доставкой удобрений и пестицидов);
- Hello Tractor (объединение владельцев тракторов с фермерами посредством цифрового решения с IoT-поддержкой, позволяющего запрашивать доступные в требуемый период времени услуги по аренде свободных/простаивающих тракторов и другой сельскохозяйственной техники с опцией отслеживания перемещения для оптимизации маршрутов и экономии топлива).

К развивающимся проектам цифровой трансформации агросектора России следует отнести: ФГИС «Зерно» [ФГИС «Зерно», 2024]; ФГИС «Семеноводство» [ФГИС «Семеноводство», 2024]; Сервис «История поля» [Сервис «История поля», 2024]; ГИС АПК МСХиП РТ [ГИС АПК МСХиП РТ, 2024]; ФГИС «Сатурн» [ФГИС «Сатурн», 2024]; ФГИС УСМТ [ФГИС УСМТ, 2024]; ГИС ЦПС «АгроУправление» [ГИС ЦПС «АгроУправление», 2024]. В числе предприятий замкнутого цикла производства в России можно выделить группу компаний «АгроПромкомплектация», специализацией которых являются растениеводство, кормопроизводство, свиноводство, молочное животноводство, мясопереработка, переработка молока, оптовая и розничная реализация готовой продукции компанией «Торговый дом» [АгроПромкомплектация, 2024].

В ближайшее время на платформе «Гостех» планируется запуск ряда сервисов, таких как «Цифровой профиль сельхозпроизводителя», «Сеть цифровых метеостанций и push-уведомления», «Точный учет земель сельхоззначения», «Господдержка сельхозпроизводителей» и т. д. Они будут разработаны с учетом подготовленных рекомендаций⁵ по оценке целесообразности создания и развития информационных систем на Единой цифровой платформе Российской Федерации «ГосТех» [Цифровизация в агропромышленном комплексе России, 2024; Гостех, 2024]. Среди российских компаний, занимающихся разработкой цифровых решений для АПК, необходимо отметить Avroga Robotics, Magrotech, ООО «АссистАгро», ООО «Кайпос», Cognitive Technologies и т. д. Подробные сведения об их успешной и динамичной деятельности в сфере цифровизации как агротехнологий, так и процессов управления ими содержатся в [Аврора Роботикс, 2024; Кайпос, 2024; АссистАгро, 2024; Итэлма, 2024; Небосвод, 2024].

В ходе настоящего исследования были выявлены девять ключевых областей изменений АПК, которые возможны благодаря цифровой трансформации.

1. Управление растениеводством: мониторинг состояния урожая, почвы и растений с помощью полевых датчиков или спутниковых изображений путем сбора и анализа данных о температуре, влажности и плодородии [Платформа по картированию урожайности, 2024; Система управления урожайностью, 2024].

⁵ Методические рекомендации по оценке целесообразности создания и развития государственных информационных систем на Единой цифровой платформе Российской Федерации «ГосТех», утвержденные протоколом Президиума Правительственной комиссии Федерального казенного учреждения «Государственные Технологии» (ФКУ «Гостех») от 04.05.2023 № 20. URL: <https://platform.gov.ru/wp-content/uploads/2024/03/metodicheskie-rekomendaczii-po-oczenke-czeleso-obraznosti.pdf> (дата обращения: 26.05.2024).

2. Создание автоматических ирригационных систем: автоматизация ирригационной деятельности на основе данных, собранных с датчиков управления растениеводством, интеллектуальных метеостанций, сводок погоды и других факторов окружающей среды [Kamienski, 2018].

3. Управление животноводством: использование цифровых технологий и искусственного интеллекта для мониторинга здоровья и местонахождения скота [Лазаревское, 2024].

4. Развитие внутреннего вертикального фермерства и создание умных теплиц: применение цифровых технологий в контролируемой среде, адаптированных к потребностям растительности в теплице или закрытых фермах (с помощью гидропоники или аэропоники) [Агросистема Клевер-Farmer, 2024].

5. Разработка дрона фермерства: задействование дронов для улучшения методов ведения сельского хозяйства, включая оценку состояния сельскохозяйственных культур, орошение, анализ полей, опрыскивание и посадку сельхозкультур [Аврора Роботикс, 2024; Итэлма, 2024; Кайпос, 2024; Небосвод, 2024].

6. Автоматизация фермы и применение роботов: принятие решений по автоматизации (не охваченных другими областями) для выполнения повторяющихся трудоемких задач, стоящих перед фермерами [РСМ Агротроник, 2024].

7. Управление фермой: создание платформ интеграции данных, собранных со всех устройств и источников, для максимизации производительности, планирования фермы и управления операциями [АгроСигнал, 2024; Агросистема Клевер-Farmer, 2024].

8. Мониторинг продукции: задействование цифровых технологий после сбора урожая, до операций по его переработке; основное внимание уделяется контролю качества и сортировке на фермах [АгроСигнал, 2024].

9. Мониторинг поставок: отслеживание входных ресурсов, таких как удобрения,

топливо/дизельное топливо, корма (в животноводстве) и вода [АгроПромкомплектация, 2024].

Важно отметить, что для текущего процесса обновления технологической базы производства и управления АПК в РФ характерна неоднородность уровня цифровизации, обусловленная прежде всего высокими инвестиционными издержками реализации проектов цифровой трансформации. В крупных агрохолдингах внедрение цифровых решений превышает 90 % спектра задач и процессов, потенциально реализуемых присутствующими на рынке современными информационными технологиями и системами.

Однако для малых и средних сельхозпредприятий (в том числе и фермерских хозяйств) имеющихся финансовых ресурсов, как отмечают аналитики Россельхозбанка⁶, недостаточно даже для фрагментарной цифровизации бизнеса. При наличии удачных примеров реализации проектов цифровой трансформации в АПК с использованием отечественных разработок сложившаяся ситуация с ценообразованием на цифровые продукты свидетельствует: 1) о не покрывающем все ниши ассортименте «коробочных» решений с адаптацией функционала к характеру деятельности и размеру бюджета агропредприятий; 2) недостаточном уровне конкуренции среди отечественных разработчиков тиражируемых цифровых решений, роботизированных комплексов и интеллектуальных технологий сельхозназначения.

Это сигнализирует о нарастании проблем с реализацией положений Указа Президента Российской Федерации от 21.07.2016 № 350 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского

хозяйства»⁷ и Распоряжения Правительства Российской Федерации от 29.12.2021 № 3971-р «О стратегическом направлении в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года»⁸ (предложенные меры поддержки цифровизации этих секторов отечественной экономики были актуализированы в соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 23.11.2023 № 3309-р⁹).

Обобщение и систематизация материалов исследования показывает, что ученые и эксперты связывают совершенствование систем ведения сельского хозяйства с широким внедрением технологических и организационных инноваций, обусловленных стремительным развитием цифровой трансформации экономики и управления. Дальнейший прогресс сельского хозяйства на различных уровнях и в разных сферах его построения в национальной экономике предопределяется внедрением многих технологических достижений в области дистанционного зондирования, искусственного интеллекта и роботизированных систем.

⁷ Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2016 № 350 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41139> (дата обращения: 26.05.2024).

⁸ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.12.2021 № 3971-р «О стратегическом направлении в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года». URL: <http://government.ru/docs/all/138637/> (дата обращения: 26.05.2024).

⁹ Распоряжение Правительства РФ от 23.11.2023 № 3309-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года». URL: <http://government.ru/docs/50302/> (дата обращения: 26.05.2024).

⁶ Интернет-портал медиахолдинга РосБизнесКонсалтинг. URL: <https://www.rbc.ru/industries/news/65a66ff09a79478212b6b443> (дата обращения: 26.05.2024).

Эти системы позволяют фермерам повышать урожайность и качество выращиваемой продукции, минимизируя воздействие на окружающую среду. Расширение спектра их применения связано с проведением адресной кастомизации с учетом специализированных требований к отдельным стадиям и задачам умного сельскохозяйственного производства.

Выполненный анализ существующих цифровых решений позволяет перейти к новой исследовательской задаче по совершенствованию проектирования и разработки отечественных цифровых платформенных решений для поддержки технологий производства и управления в рамках замкнутого жизненного цикла ведения эффективного сельского хозяйства.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМ В АПК

В контексте решения задач формирования достаточного и гарантированного уровня продовольственной безопасности и технологической независимости страны создание отечественных цифровых решений и платформ для сельскохозяйственного производства приобретает особое значение. Наряду с защитой объектов критической инфраструктуры переход к реализации политики и программ импортозамещения в сфере информационно-коммуникационного и аппаратно-программного обеспечения деятельности российских сельхозпроизводителей (от фермера до агрохолдинга) должен иметь высший приоритет в арсенале мер государственной поддержки соответствующих инициатив. Для их обоснования и осуществления важно четко обозначить возможности и ограничения эффективной цифровизации агропредприятий, что предполагает точную идентификацию существующих проблем и нормативную фиксацию перспективных ориентиров развития интегрированных цифровых решений поддержки технологий производства и управления в сельском хозяйстве.

Проблематика развития цифровых платформ в АПК

Существенные риски и ограничения для развития цифровых платформ в АПК связаны с условиями санкционного давления на Российскую Федерацию. Иницилируемые проекты обеспечения технологической независимости в сфере цифровизации связаны с созданием центров компетенций по импортозамещению в области информационных технологий и информационной безопасности. Однако ожидаемые результаты по составу и срокам формирования российских аналогов целого спектра значимых программных решений коммерческого уровня качества в области информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) были оценены излишне оптимистично. В сжатые сроки выйти на конвейерный ритм информационно-технологических разработок оказалось затруднительно: чрезвычайно длительным был период отказа от советского наследия в сфере технологий автоматизации производства и управления; слишком медленно адаптируются российский рынок и законодательство к стремительному прогрессу стандартов и инструментов разработки программно-аппаратных комплексов и информационных систем; драматично узким является сегмент рынка отечественных программных продуктов мирового уровня¹⁰ даже при масштабной государственной поддержке.

При этом ряд арбитражных судебных разбирательств¹¹ при создании ГИС АПК

¹⁰ В данной сфере преобладают уникальные нишевые решения, проследить чистоту национальной юрисдикции контроля, создания и развития которых затруднительно при активной трансграничной миграции специалистов и компаний.

¹¹ Интернет-портал С-News.ru. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2023-06-23_v_rossii_unich-tozhena_gis (дата обращения: 26.05.2024); TAdviser.ru. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Информационная_система_цифровых_сервисов_агропромышленного_комплекса?ysclid=lwshicf8am61719771 (дата обращения: 26.05.2024).

показал, что в основе проблем лежат не столько компетенции отечественных разработчиков, сколько недостатки при корректной постановке задач, когда многое зависит от квалифицированного представителя заказчика. Это напрямую связано с фундаментальными исследованиями и прикладными разработками в области трансформации экономических отношений и производственных сельскохозяйственных технологий во всех аспектах — требуется адекватная интеграция универсальных и специализированных информационно-технологических и информационно-коммуникационных решений по созданию цифровой модели описания элементов архитектуры и процессов сельхозпредприятий различного характера и масштаба.

В связи с этим важно построение комплексной онтологической модели умного сельскохозяйственного производства и управления, полнофункциональной динамической модели деятельности агропредприятия на основе системы технологий замкнутого цикла с отражением комплекса внешних связей с рыночным и регуляторным окружением в процессе цепочек создания ценности. Для обеспечения полноценной технологической независимости и конкурентоспособности в сфере широкого спектра цифровых решений, особенно с отраслевой спецификой деятельности современных компаний в период перехода к новому технологическому укладу, важно учитывать акцент на интеграцию информационно-технических новаций с социогуманитарными аспектами использования современных интеллектуальных технологий и систем. Здесь целесообразно отметить соотношение ряда выявленных недостатков и преимуществ действующего механизма поддержки цифровой трансформации российских предприятий АПК.

С одной стороны, стимулируется масштабная работа по созданию отечественных программных продуктов и цифровых платформ (включая предоставление налоговых и инвестиционных льгот российским информационно-технологическим

компаниям), с другой стороны, наблюдается низкая информированность и восприимчивость к инновациям бизнес-среды. Для реальной цифровизации необходимо избежать чисто технократического подхода к разработке и внедрению информационных технологий и информационных систем в целом и в области сельхозназначения в частности. Это определяет также и возможное направление совершенствования управления цифровой трансформацией на государственном уровне: перспективы коммерциализации проектов независимых разработчиков цифровых решений не сводятся лишь к реализации их собственной маркетинговой стратегии. Государство, предоставляя бюджетные средства для поддержки отечественного сектора информационно-коммуникационных технологий, должно и способно обеспечить также функционирование верифицированных каналов взаимодействия разработчиков и потенциальных пользователей цифровых платформ и продуктов, позволяющих не только проводить идентификацию и систематизацию потребностей в реальной информатизации, но и подготавливать сельхозпроизводителей к неизбежным сопряженным изменениям в системе ведения хозяйства (в том числе за счет освещения, адаптации и распространения опыта передовых агрохолдингов, лидирующих в сфере цифровизации на аутсорсинговой и инсорсинговой основе). Для того чтобы раскрыть весь потенциал нового поколения информационных технологий на базе высокопроизводительного вычислительного и коммуникационного оборудования¹² и эффективных аналитических и интеллектуальных методов обработки и анализа больших объемов гетерогенной информации в Обществе 5.0 и Индустрии 5.0 (а также в АПК), обязателен учет согласованных изменений в ор-

¹² Речь идет об оборудовании, построенном в том числе на основе новых физических принципов — фотонных и квантовых решениях для систем хранения и обработки данных.

ганизации сельскохозяйственного производства.

В цифровой модели производства и управления важно отражать характеристики перестроения хозяйственных связей в общей системе экономических отношений социального государства. Очевидно, что слепая вера во всемогущество модных электронных устройств и сервисов приводит к чувствительным неудачам и существенным издержкам в общественном масштабе. Поэтому необходима деликатная и тонкая настройка проектируемых и создаваемых цифровых платформ на конкретную сферу их применения.

Следовательно, требуется провести идентификацию и оценку характера и масштаба специфических индикаторов описания различных сегментов сельхозпроизводства, что позволит выполнить успешную реализацию в платформенных решениях принципов масштабируемого и модульного построения интегрированных интеллектуальных информационных систем и технологий. Экономические и социальные аспекты неизбежно влияют на перспективы коммерческого успеха отечественных цифровых решений для АПК при их экспансии: в вертикальном (охват сферы госрегулирования и контроля сельскохозяйственных субъектов по спектру аспектов их деятельности) и горизонтальном (охват полного цикла технологий производства и управления умным сельским хозяйством по ассортименту агропродукции) измерении интеграции.

Кроме того, весьма проблематичным является и состояние инфраструктуры электронных коммуникаций (плотность зоны и уровень качества покрытия широкополосной связью для доступа в Интернет по каналам мобильной и космической связи с учетом существенной территориальной рассредоточенности объектов производства и управления даже в рамках одного агропредприятия); также остается невысоким уровень унификации и стандартизации для создаваемых информационных систем и технологий в сфере умно-

го сельскохозяйственного производства на основе общих стандартов цифровизации в экономике, обществе и государстве с учетом цифровой модели агробизнеса.

Направления развития цифровых платформ в АПК

Интеграция традиционных и инновационных технологических решений определяет текущее положение и перспективные ориентиры экономического профиля специализации и конкурентоспособности страны в изменяющейся структуре международного разделения труда. В этом смысле информационные и цифровые технологии в большей степени являются частью обеспечивающей технологической инфраструктуры в различных видах экономической деятельности и формах социальной активности, осуществляемых в пределах полномочий и компетенций систем публичного и частного управления, а также в рамках институтов и механизмов общественной самоорганизации.

Цифровая трансформация позволяет на новом качественном уровне решать задачи механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства, расширяя спектр возможностей эффективного применения стационарных и мобильных роботизированных устройств, универсальных и специализированных интеллектуальных технологий. Современные организационно-технические решения на базе высокопроизводительных аппаратно-программных комплексов и высокоскоростного информационно-коммуникационного оборудования кардинально меняют модель и среду агробизнеса, повышая его инвестиционную привлекательность и улучшая условия профессиональной самореализации персонала.

Схема процесса создания ценности в сфере агропроизводства с поддержанием замкнутого технологического цикла и структуры сетевых отношений с бизнес-окружением в условиях цифровой трансформации приведена на рис. 4.

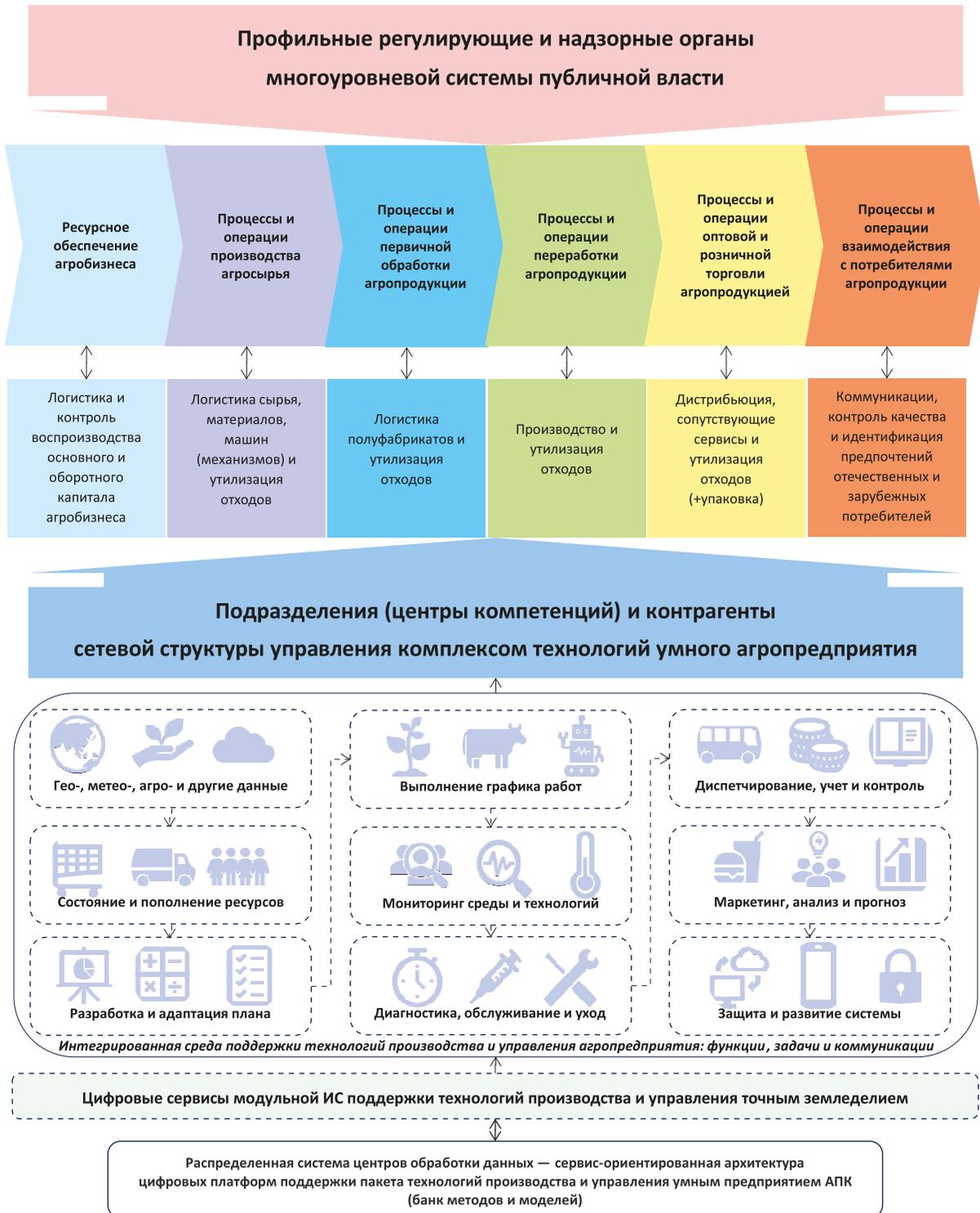


Рис. 4. Цифровая экосистема умного агропредприятия полного цикла в АПК: описание среды и процессов

Возможное функциональное наполнение цифровых сервисов наглядно показывает сложный и взаимосвязанный комплекс задач в цепочке создания стоимости в замкнутом цикле умного сельхозпроизводства. Это требует применения релевантного набора инструментария интеллектуальной информационной системы, ориентированной на характеристики современных средств автоматизации и информатизации агротехнологий.

Необходимо подчеркнуть, что архитектура создаваемой цифровой платформы предприятия АПК может быть ориентирована на схему как горизонтальной, так и вертикальной интеграции в зависимости от состава объединяемых и координируемых участников (в том числе в режиме инсорсинговой и аутсорсинговой поддержки инфраструктуры цифровой экосистемы различного масштаба и специализации). Кроме того, важно учесть специфику нового этапа механизации и автоматизации сельского хозяйства: информационные технологии и искусственный интеллект в эпоху больших данных создают предпосылки адресного учета локальных условий и характеристик ареалов деятельности агропредприятия для рационального комбинирования совокупности доступных агротехнологий и агрокультур с обеспечением роста продуктивности и эффективности деятельности агропредприятия на основе аккумуляции и использования цифровой информации и научных знаний в сфере АПК.

При совершенствовании методологии и инструментария разработки цифровой платформы поддержки сельхозпроизводства должно обеспечиваться комплексирование организационных и информационных технологий умного агропроизводства на основе внедрения алгоритмических и программных решений для создания и сопровождения цифрового двойника в различных подотраслях сельского хозяйства. Важнейшей задачей при комплексировании технологических, организационных и цифровых технологий является по-

строение моделей процессов, а также онтологических описаний, обеспечивающих прозрачность процессов и оптимальное планирование ресурсов сельскохозяйственного предприятия.

Сочетание моделирования, интерактивных аналитических панелей с графическим интерфейсом — дашбордов (от *англ.* dashboard), онтологических моделей и пространственного анализа становится уникальным инструментарием решения широкого спектра задач, связанных с анализом и прогнозированием событий и явлений окружающего мира, пониманием и выделением основных факторов и причин течения естественных и технологических процессов, а также предсказанием негативных рисков ситуаций и оценкой их возможных последствий для сельскохозяйственного предприятия. При этом разработка цифровой платформы должна исходить из реализации принципов модульности, адаптивности и масштабируемости, что предполагает возможность создания гибкой схемы конфигурирования аппаратно-программного и информационно-аналитического обеспечения цифровой платформы поддержки технологий производства и управления в АПК с учетом характеристик специализации и масштабов агропроизводства, в том числе при поддержке ряда функций в режиме облачных сервисов.

ОБЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМ В АПК

При проектировании и создании цифровых платформ для агропредприятия необходимо опираться на возможности сквозных технологий, рассматриваемых в модели цифровой экономики в качестве базовых элементов информационно-коммуникационного обеспечения для всех видов экономической деятельности, безусловно, с учетом особенностей их потенциального и целесообразного применения в АПК в

ближайшее время. Состав сквозных цифровых технологий первоначально был определен в Программе «Цифровая экономика Российской Федерации»¹³, которая в дальнейшем при совершенствовании системы управления государственными программами содержательно легла в основу одноименного национального проекта¹⁴. В перечень вошли решения в области больших данных, нейротехнологий и искусственного интеллекта, систем распределенного реестра, квантовых технологий, новых производственных технологий, промышленного Интернета, компонентов робототехники и сенсорики, технологий беспроводной связи, технологий виртуальной и дополненной реальности.

Целесообразно представить ряд таких решений, учитывая специфику цифровизации сферы АПК.

1. Большие данные (big data). Инфраструктура сельскохозяйственного предприятия включает в себя природные объекты, инженерные сети, здания и сооружения, станки, механизмы, оборудование и транспортные средства, а также логистическую и управленческую составляющие. Все это в динамике порождает большие объемы данных, обработка которых необходима для обеспечения всех аспектов деятельности сельхозпредприятия.

2. Системы распределенного реестра (blockchain technology). Для АПК блокчейн-технологии — это инструмент формирования доверия к информации, кото-

рая используется сельхозпредприятием, его партнерами и контрагентами. Понятие технологического пакета подразумевает использование замкнутого экономического цикла, поэтому выбор модели реализации технологии блокчейна должен быть сделан в пользу отечественных решений, поддерживаемых государством. В качестве пилотного подхода можно использовать сервис «Единое блокчейн-хранилище машиночитаемых доверенностей (МЧД) — распределенный реестр ФНС России».¹⁵

3. Промышленный Интернет IoT — передача различной телеметрической информации через Интернет непосредственно от технологических объектов (тракторов, дронов, насосов, переключателей, датчиков теплиц и т. д.) и между ними.

4. Компоненты робототехники и сенсорики. Существуют тракторы, комбайны и другие сельскохозяйственные машины и оборудование, способные самостоятельно выполнять ряд задач при частичном участии человека или без него (автоматически).

5. Технологии беспроводной связи (ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi) — альтернатива проводной передачи информации. Для АПК с его территориальной рассредоточенностью инфраструктурных и производственных объектов эти технологии особо важны.

6. Технологии виртуальной и дополненной реальности могут использоваться при обучении специалистов, что очень актуально для травмоопасных технологических процессов при моделировании вариантов действий в условиях опасных инцидентов.

Пул сквозных и других информационных технологий образуют целостную среду работы с мультимодальными данными. Поэтому при построении в ее рамках цифровых платформ АПК предпочтительно использовать федеративный принцип,

¹³ Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28.07.2017 № 1632-р. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201708030016?ysclid=lzpqzvyehs33134041> (дата обращения: 25.05.2024).

¹⁴ Паспорт национального проекта «Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации»», утверждена президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 04.06.2019 № 7. URL: <https://национальныепроекты.рф/projects/tsifrovaya-ekonomika> (дата обращения: 25.05.2024).

¹⁵ Единое блокчейн-хранилище машиночитаемых доверенностей (МЧД) — распределенный реестр ФНС России. URL: <https://m4d.nalog.gov.ru/emchd> (дата обращения: 25.05.2024).

подразумевающий, что данными и сервисами владеют агенты доменов, которые несут ответственность за предоставление данных сервисам, а также агентам других доменов. В рамках этого концепта допустимо объединение технологий для одной структурированной предметной области в сложный домен с возможностью согласования действий всех активных участников умного сельхозпроизводства. Это достигается на основе анализа онтологических описаний, глоссария показателей и профиля данных.

Информационные системы с архитектурой, спроектированной в рамках федеративной концепции построения, оперируют данными разных предметных областей и обладают большим потенциалом и информативностью поддержки технологических и управленческих процессов по сравнению с системами, работающими только с одной предметной областью. Обработка данных в подобной цифровой платформе предполагает использование следующих принципов организации работы с информацией в рамках поддержки общих сетевых электронных сервисов:

- субсидиарности источников данных — доменно-ориентированное децентрализованное владение данными;
- утилитарности содержания данных — производство цифровых данных как продукта;
- распределенности массивов данных — федеративная инфраструктура хранения данных;
- согласованности обработки данных — федеративный механизм управления вычислениями.

Доменно-ориентированное децентрализованное владение данными позволяет распределять ответственность за хранение, поддерживать онтологическую связность, непрерывные изменения и версию данных. При обработке данных в федеративной структуре возникает ряд трудностей, связанных с обнаружением, пониманием, формированием доверия к ее результатам. Результаты обработки данных также надо

рассматривать как полезный продукт, причем к их потребителям в рамках цифровой экосистемы необходимо относиться как к клиентам. Для этого продукт должен обладать рядом характерных свойств, таких как обнаруживаемость, безопасность, возможность исследования, понятность, надежность и ценность. Поэтому каждая часть федеративной структуры требует наличия разработчиков именно продуктов данных, отвечающих за создание, поддержку и обслуживание, а также соответствующую инфраструктуру.

Инфраструктура хранения данных должна предоставлять все необходимые функциональные и технические сервисы обеспечения хранения и использования продуктов, основанных на результатах обработки данных. Среди них: распределенное хранилище файлов, учетных записей хранения; системы управления контролем доступа; оркестровка запуска внутреннего кода продуктов данных; предоставление механизма распределенных запросов к онтологиям продуктов данных и т. д. Обработка данных, помимо хранения, нуждается в федеративных вычислительных ресурсах, которые можно децентрализованно идентифицировать, распределять и использовать согласно существующей доменной структуре.

Реализация вышеуказанных принципов и учет особенностей построения доменов, а также структуры их взаимодействия позволяет сформировать концептуальную схему описания архитектуры цифровой платформы. Для этого может быть использована нотация C4 (Context Container Component Code model), представляющая собой совокупность стандартов и форматов проектирования сложных программных продуктов и соответствующего компьютерного инструментария, который поддерживает проектирование структуры системы на четырех уровнях описания [Беллемар, 2022]: C1 — операционный уровень; C2 — системный уровень; C3 — логический уровень; C4 — уровень классов или физического устройства.

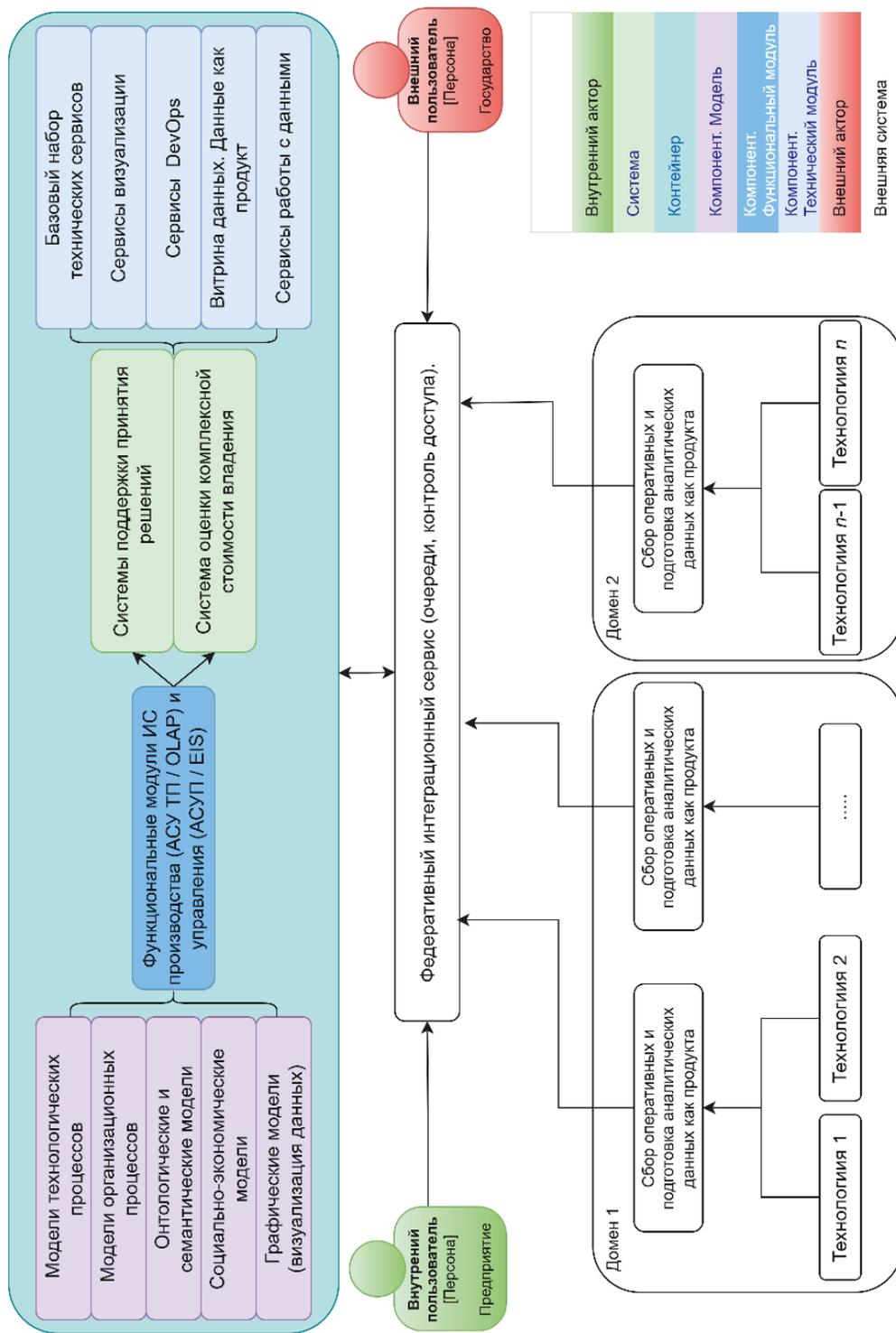


Рис. 5. Концептуальная схема архитектуры цифровой платформы: федеративный принцип интеграции сервисов и данных (на примере двух доменов)

Примечания: ИС — информационная система; АСУ ТП — автоматизированная система управления технологическими процессами; OLAP — On-Line Analytical Processing (технология обработки активного потока данных); АСУП — автоматизированная система управления производством; EIS — Enterprise Information System (корпоративная система управления); DevOps — Development and Operations (набор средств разработки программного обеспечения).

Вариант прототипа описания архитектуры цифровой платформы на уровне С2 для двух доменов представлен на рис. 5.

Все модели, обозначенные в концептуальной схеме описания архитектуры, находятся в едином федеративном пространстве данных. Это позволяет проводить их согласованную модификацию и строить новые модели, связывая факторы разной природы для комплексного анализа различных аспектов деятельности сельхозпредприятия, визуализировать его результаты. Процессы в автоматизированном сельском хозяйстве с интеллектуальными технологиями производства и управления порождают большие данные, которые трудно проанализировать вручную, поэтому специалистам необходимы системы поддержки принятия решений. Причем комплексность собираемых данных позволит использовать совокупные оценки стоимости владения технологиями и объектами цифровой платформы агропредприятия. Визуализация дает возможность оценивать текущее состояние и ведение хозяйства, оперативно принимать решения на основе актуальной и достоверной информации о производственных и организационных процессах, а также о результатах моделирования при обосновании вариантов регламентных и ситуативных управленческих решений.

Важно отметить, что использование концепции пакета технологий предполагает эволюционное преобразование информационно-технологической инфраструктуры агропредприятия. Поэтому платформа позволяет интегрировать как уже существующие, так и вновь разрабатываемые информационные системы и технологии сельского хозяйства за счет предлагаемой федеративной структуры построения интерфейсов и сопряжения форматов (протоколов) для сбора, обработки и агрегирования данных, настраивая на функции поддержки технологий управления и производства в АПК.

Помимо функциональных сервисов, необходим ряд базовых технических серви-

сов для поддержания и развития информационной системы. Базовые технические сервисы обеспечивают информационную безопасность, восстановление данных, поддержку сервисов работы с данными и разработки (DevOps). Сервисы работы с данными предназначены для формирования конвейеров преобразования данных для моделей и развития функционала системы поддержки принятия решений, а также содержат компоненты, которые можно использовать повторно.

Эти инструменты дополняют сервисы визуализации, предназначенные для формирования широкого спектра графических образов при разработке и использовании плановых и отчетных форм пользователей платформы, а также содержат компоненты для повторного использования построенных визуализаций.

Сервисы DevOps обеспечивают ускорение создания и ввода в эксплуатацию новых компонентов и продуктов. Собранные данные формируют дополнительную ценность и должны быть представлены в виде витрины продуктов с доступом к данным как к продукту согласно ролевой модели. Внешние пользователи могут применять такой сервис для формирования новых моделей. При описании вопросов совершенствования разработки цифровой платформы для производства и управления в сельском хозяйстве следует учитывать, что комплексирование пакета технологий и программных продуктов подразумевает прежде всего поддержку методов искусственного интеллекта (см. блок «Онтологические и семантические модели» в проекте предлагаемой архитектуры цифровых платформ на рис. 5).

Концептуальные предложения по построению цифровых платформ и основным характеристикам расширения спектра сервисов поддержки пакета технологий производства и управления для предприятия АПК позволят при дальнейшем проектировании и разработке создать дополнительные функциональные возможности развития комплексной информационной

системы модульного типа. Настраиваемая конструкция цифровых платформ автоматизированной поддержки решения потока операционных и организационных задач управления развитием умного сельхозпроизводства формируется с учетом спецификации и унификации описания требований замкнутого цикла агротехнологий, а также протоколов взаимодействия с облачными хранилищами и сервисами внешних государственных, партнерских и потребительских информационных систем. Важно обратить внимание на взаимосвязь реализации проекта разработки и внедрения цифровой платформы с задачей трансформацией бизнес-модели агропредприятия.

Ключевые направления организационно-технологических и финансово-экономических изменений затрагивают архитектуру бизнеса (компании отходят от иерархии внутрифирменных отношений, формируя матрицу активов и компетенций с гибкой структурой распределения задач) и ведение бизнеса (компании отходят от внешнехозяйственных отношений, создавая сетевую систему кооперационных связей с гибкой структурой распределения активностей). Конечно, реализация возможностей построения интегрированных бизнес-систем в АПК зависит от характеристик специализации и масштабы взаимодействующих хозяйств, а также и, возможно, в определяющей степени, от природно-климатических и пространственно-географических условий локализации территории ведения агробизнеса. Использование интегрированных цифровых сервисов требует согласованного реинжиниринга основных и обеспечивающих бизнес-процессов, которые охватывают различные стадии сельскохозяйственного производства, что оказывает непосредственное влияние на экономические характеристики и финансовые результаты деятельности агропредприятия (агрохолдинга) [Огневцев, 2019].

Необходимо отметить, что при разработке цифровых платформ целесообразно использовать апробированный инструмента-

рий, например методология и средства проектирования корпоративной информационной архитектурой C4, TOGAF (The Open Group Architecture Framework) или DoDAF (Department of Defense Architecture Framework). Однако следует учесть важное ограничение: возможно опосредованное применение архитектурных фреймворков для проектирования систем управления комплексным объектом природно-технического вида. В целях формирования полного архитектурного решения на базе предложенной авторами концептуальной архитектуры целесообразно использовать рекомендации¹⁶ по применению методического подхода к созданию целевой архитектуры цифровой платформы «ГОСТЕХ» [Методические рекомендации, 2022].

Ориентация на предложения по унификации и стандартизации форматов, классификаторов, функций, протоколов и других структурных и технических параметров создания цифровых платформ, используемых в проектах цифровизации сервисов в сфере публичного управления, позволяет обеспечить совместимость и масштабируемость коммерческих цифровых решений по поддержке управления в бизнес-системах, включая ведение умного сельского хозяйства с применением интеллектуальных и роботизированных технологий.

¹⁶ Методические рекомендации по проектированию и утверждению целевой архитектуры домена с использованием единой цифровой платформы «ГОСТЕХ», утвержденные протоколом Президиума Правительственной комиссии от 13.07.2022 № 26 Федерального казенного учреждения «Государственные Технологии» (ФКУ «Гостех»). URL: https://platform.gov.ru/wp-content/uploads/2022/12/Методика_проектирования_целевой_архитектуры_домена-1.pdf (дата обращения: 26.05.2024).

ВЫВОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение тенденций развития сельскохозяйственного производства в условиях качественного изменения миропорядка и цифровой трансформации общества показало перспективность разработки отечественных цифровых платформ для агропредприятий. Использование преимуществ интеллектуальных методов и роботизированных систем при модернизации материально-технической и организационно-технологической базы российского АПК должно способствовать решению задач обеспечения продовольственной безопасности и технологической независимости страны за счет реализации потенциала роста продуктивности и эффективности умного сельскохозяйственного производства.

Проведенный анализ отечественных и зарубежных инструментов цифрового сельского хозяйства показал, что отсутствие лидирующих универсальных программных продуктов компенсируется созданием специализированных цифровых решений, подходящих для определенных сельскохозяйственных операций и конкретных целей ведения агробизнеса, таких как повышение урожайности и устойчивости культур, углубление переработки сырья, увеличение добавленной стоимости агропродукции, снижение производственных и инвестиционных затрат, минимизация отходов и т. д. В практическом плане это ставит задачу комплексирования необходимых информационных технологий и систем для использования в рамках отдельного агропредприятия с учетом его территориальной локации, продуктовой специализации, бюджетных возможностей и производственных потребностей.

Кроме того, для эффективного использования интеллектуальных технологий и роботизированных систем при широкомасштабной цифровой трансформации сельского хозяйства необходимо решить ряд задач, связанных с проблемами и ограничениями в области совместимости сервисов, хранения распределенных дан-

ных, увеличения плотности коммуникаций, улучшения точности позиционирования, роста распределенных вычислительных мощностей и т. д. Поэтому разработка отечественных цифровых платформ для умного сельскохозяйственного предприятия представляется продуктивным направлением перехода к новому поколению агротехнологий полного (клиентоцентричного) и замкнутого (экологичного) цикла производства.

Внедрение децентрализованных цифровых платформ на различных уровнях организации сельскохозяйственной деятельности (от отдельного фермера до агрохолдинга, от местного агропромышленного кластера до регионального агропромышленного комплекса) позволяет потенциально получить существенные эффекты организационного и экономического характера. Среди них: оптимизация планирования сезонных работ за счет комплексного мониторинга и точной идентификации природно-климатических условий; сокращение текучести и дефицита кадров за счет создания высокотехнологичных рабочих мест и использования роботизированных систем; совершенствование механизма кооперационных связей посредством формирования доверительной среды электронной контрактации закупок/поставок; сокращение потребления ресурсов производства путем адресного и обоснованного планирования работ и операций; повышение производительности сельскохозяйственной техники и оборудования за счет снижения простоев и ремонтов; рост выручки от реализации сельскохозяйственной продукции и услуг (включая развитие дополнительных направлений деятельности в партнерской сети) при помощи мониторинга рыночной конъюнктуры с оптимизацией ассортимента продукции и объема производства; трансформация цепочки создания добавленной стоимости с повышением уровня рентабельности активов/продаж и т. д.

Решение ключевых задач повышения эффективности разработки интегрирован-

ных цифровых решений поддержки технологий производства и управления интеллектуальным агропредприятием связано с совершенствованием методологии и инструментария проектирования архитектуры цифровых платформ. Предложенные принципы и концепция проектирования на основе федеративного механизма интеграции сервисов и данных способствуют созданию мультимодальной и мультидоменной архитектуры цифровой платформы с потенциалом масштабирования и специализации, учитывая профиль агропредприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование национальной модели современного развития в современной геополитической и геоэкономической обстановке предполагает решение Россией целого ряда стратегических задач в области технологического и промышленного суверенитета. Среди аспектов укрепления государственной независимости особое значение имеет создание механизма обеспечения продовольственной безопасности, гарантирующей базовые условия существования и благополучия населения. Повышение продуктивности сельского хозяйства как ключевого звена агропромышленного комплекса при возникновении политически мотивированных барьеров и ограничений научно-технического и торгово-экономического сотрудничества требует стимулирования отечественных технологических разработок. Производительность и эффективность используемой российскими агропредприятиями техники и технологий сейчас во многом определяются рациональным применением роботизированных и интеллектуальных систем, что требует проведения соответствующих исследований и разработок в области создания отечественных цифровых продуктов для ведения сельского хозяйства.

Настоящее исследование позволило установить методические положения и

дать практические рекомендации по совершенствованию цифровой трансформации производства и управления в АПК России. В частности, при проектировании и создании цифровых решений для много сельхозпроизводства предложено учитывать такие ключевые аспекты, как: формирование механизма реализации комплекса социально-экономических отношений предприятий АПК различного масштаба и характера на территории локации хозяйственной деятельности (следование концепции национальной ориентации и социальной ответственности бизнеса); использование технологий замкнутого цикла (в рамках концепции устойчивого развития и экологической безопасности) и специализации хозяйствующего субъекта подотрасли АПК при сопряжении его интеллектуальной информационной системы с цифровыми платформами регулирования сельского хозяйства (согласно концепции построения мультидоменной и мультимодальной информационных систем модульного типа).

Разрабатываемая для хозяйствующих субъектов сельхозпроизводства информационная система должна обеспечивать поддержку функционального и информационного сопряжения процессов планирования и деятельности предприятий АПК различного профиля и масштаба с цифровыми платформами специализированных государственных информационных систем АПК. Кроме того, следует предоставить авторизованный абонентный доступ на возмездной и безвозмездной основе к наборам специализированных электронных данных и научных знаний в облачной среде цифровых сервисов (критическая потоковая и ситуативная информация в экономике данных для аграриев в сфере метеорологии и гидрологии, ветеринарного и фитосанитарного контроля, мелиорации и химизации, экологии и зондирования, а также мониторинга чрезвычайных ситуаций и т. д.).

Важнейшими направлениями дальнейших работ являются формирование общей

онтологической модели производства и управления в АПК и обоснование принципов построения системы спецификации задач и унификации операций в сфере умного сельхозпроизводства с учетом перспективных требований и возможностей современного инструментария программной инженерии при разработке масштабируемых и адаптируемых цифровых решений модульного типа. Комплексное проектирование, рациональная разработка и адресное внедрение цифровых платформ предприятиями АПК России должно способствовать росту эффективности отечественного сельского хозяйства при снижении его трудоем-

кости (внедрение фронтальной роботизации операций замкнутого цикла производства агропродукции), сокращении ресурсоемкости (обеспечение рационального расходования сырья, материалов, энергии, воды и других видов ресурсов для производства агропродукции), повышении продуктивности (точное соблюдение регламентов и рекомендаций производства агропродукции) и минимизации экологического ущерба, что полностью отвечает целям стратегического устойчивого развития и обеспечения продовольственной безопасности нашей страны.

ЛИТЕРАТУРА НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

- Аврора Роботикс. 2024. *Робототехника и автономное управление наземными транспортными средствами* [Электронный ресурс]. <https://avrora-robotics.com/> (дата обращения: 26.05.2024).
- АгроПромкомплектация. 2024. *Направления деятельности* [Электронный ресурс]. <https://www.apkholding.ru/napravleniya-deyatelnosti/> (дата обращения: 26.05.2024).
- АгроСигнал. 2024. *Автоматизация сельского хозяйства и управление агробизнесом* [Электронный ресурс]. <https://agrosignal.com/> (дата обращения: 26.05.2024).
- Агросистема КлеверFarmer. 2024. *Возможности платформы КлеверFarmer* [Электронный ресурс]. <https://cleverfarmer.ru/features/> (дата обращения: 26.05.2024).
- АссистАгро. 2024. *Рост урожайности, оптимизация норм гербицидов, контроль густоты посева* [Электронный ресурс]. <https://agroassist.ru/> (дата обращения: 26.05.2024).
- Астахова Т. Н., Колбанев М. О., Шамин А. А. 2018. Децентрализованная цифровая платформа сельского хозяйства. *Вестник НГИЭИ* 6 (85): 5–17.
- Беллемар А. 2022. *Создание событийно-управляемых микросервисов*: Пер. с англ. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург.
- Васильев Н. П., Протопопова Л. Д., Даянова Г. И., Крылова А. Н., Никитина Н. Н. 2024. Формирование единой цифровой платформы сельского хозяйства региона. *Международный сельскохозяйственный журнал* 67 (1): 53–56.
- Ганиева И. А., Бобров Н. Е. 2019. Цифровые платформы в сельском хозяйстве России: правовой аспект внедрения. *Достижения науки и техники АПК* 33 (9): 83–86.
- ГИС ЦПС «АгроУправление». 2024. *Центр программ систем*. [Электронный ресурс]. https://1cps.ru/products_line/cpsagrouppravlenie-geoinformacionnaya-sistema-gi (дата обращения: 26.05.2024).
- ГИС АПК МСХиП РТ. 2024. *Государственная информационная система агропромышленного комплекса Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан* [Электронный ресурс]. <https://agropoliya.ru> (дата обращения: 26.05.2024).
- Государственные технологии ФКУ («ГосТех»). 2024. *Методические рекомендации по оценке целесообразности создания и развития государственных информационных систем на Единой цифровой платформе Российской Федерации «ГосТех»*. [Электронный ресурс]. <https://platform.gov.ru>

- wp-content/uploads/2024/03/metodicheskie-rekomendaczii-po-oczenke-czelesoobraznosti.pdf (дата обращения: 26.05.2024).
- Дубовицкий А.А., Стамова Д.В. 2020. Роль цифровых платформ в развитии сельского хозяйства. В сб. XV Международной научно-практической конференции (в 2 кн.): *Аграрная наука — сельскому хозяйству*; 29–30.
- Жукова М.А., Улезько А.В. 2020. Концептуальный подход к формированию цифровой платформы агропродовольственного комплекса. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета* 4 (67): 238–250.
- Зацаринный А.А., Меденников В.И., Райков А.Н. 2023. Интеграция приложений искусственного интеллекта в единую цифровую платформу АПК. *Информационное общество* (1): 127–138.
- Итэлма. 2024. Итэлма: Автопилот для сельхозтехники. *TAdviser*. [Электронный ресурс]. <https://www.tadviser.ru/index.php/> Продукт: Итэлма: Автопилот для сельхозтехники (дата обращения: 26.05.2024).
- Кайпос. 2024. *Новейшие интеллектуальные системы мониторинга погодных условий*. [Электронный ресурс]. <https://kaipos.ltd/> (дата обращения: 26.05.2024).
- Каманина А.Н. 2023. Перспективы технологического развития сельского хозяйства: цифровые платформенные решения. *Инновации и инвестиции* (10): 463–467.
- Кульба В.В., Меденников В.В., Микулец Ю.И. 2020. Эволюция проектирования информационных систем: от синтеза на отдельных предприятиях к синтезу оптимальных отраслевых цифровых платформ. *Вестник Московского гуманитарно-экономического института* (1): 132–148.
- Лазаревское. 2024. *TAdviser*. [Электронный ресурс]. <https://www.tadviser.ru/index.php/> Компания: Лазаревское (дата обращения: 26.05.2024).
- Меденников В.И. 2020. От концепции к практической реализации единой цифровой платформы агропромышленного комплекса. *Международный сельскохозяйственный журнал* 63 (5): 77–81.
- Меденников В.И. 2022. Социально-экономические последствия внедрения единой цифровой платформы управления в сельское хозяйство России. *Социальные новации и социальные науки* 1 (6): 101–113.
- Монахов С.В., Уколова Н.В. 2022. Цифровая трансформация трансфера технологий в сельском хозяйстве: создание и использование цифровых платформ. *АПК: экономика, управление* (6): 25–32.
- Моторин О.А., Стукалин А.В. 2023. Вопросы классификации платформенных решений в контексте исследования цифровых платформ сельского хозяйства. В сб. материалов II Международной научно-практической конференции: *Технико-технологическое обеспечение инноваций в агропромышленном комплексе*; 292–296.
- Небосвод. 2024. *Цифровая платформа для дронов «Небосвод»*. [Электронный ресурс]. https://www.aeroscript.ru/nebosvod_utm (дата обращения: 26.05.2024).
- Огневцев С.Б. 2018. Концепция цифровой платформы агропромышленного комплекса. *Международный сельскохозяйственный журнал* (2): 16–22.
- Огневцев С.Б. 2019. Цифровизация экономики и экономика цифровизации АПК. *Международный сельскохозяйственный журнал* (2): 77–80.
- Платформа по картированию урожайности. 2024. *Green Growth*. [Электронный ресурс]. <https://greengrowth.tech/ru> (дата обращения: 26.05.2024).
- Райков А.Н., Антипин С.И., Фучеджи Н.П. 2020. Архитектурные аспекты создания региональной цифровой платформы сельского хозяйства. *Достижения науки и техники АПК* 34 (9): 85–90.
- Райков А.Н. 2021. Концепция цифровой платформы российского сельского хозяйства, обеспечивающая сходимости к целям. *Информатизация и связь* (1): 64–73.
- РСМ Агротроник. 2024. *Мониторинг и контроль сельскохозяйственной техники — РСМ Агротроник*. [Электронный ресурс]. <https://rostselmash.com/agrotronic/> (дата обращения: 26.05.2024).
- Сервис «История поля». 2024. *История поля. Эффективное цифровое сельское хозяйство*.

- ство [Электронный ресурс]. <https://info.agrohistory.com/> (дата обращения: 26.05.2024).
- Сибиряев А. С. 2023. Методика обоснования внедрения цифровых платформ в отрасли сельского хозяйства. *Вестник НГИЭИ* 12 (151): 125–135.
- Сибиряев А. С., Зазимко В. Л., Додов Р. Х. 2020. Цифровая трансформация и цифровые платформы в сельском хозяйстве. *Вестник НГИЭИ* 12 (115): 96–108.
- Система управления урожайностью. 2024. *Magrotech* [Электронный ресурс]. <https://asi.ru/vitrina/195656/> (дата обращения: 26.05.2024).
- Соловяненко Н. И. 2020. Вопросы правового регулирования применения цифровых технологий в сельскохозяйственном бизнесе. *Сельское хозяйство* (3): 46–53.
- ФГИС «Зерно». 2024. *Инструкции пользователя по работе с системой* [Электронный ресурс]. <https://specagro.ru/fgis> (дата обращения: 26.05.2024).
- ФГИС «Семеноводство». 2024. *Федеральная государственная информационная система в области семеноводства сельскохозяйственных растений*. [Электронный ресурс]. <https://semena.mcx.ru> (дата обращения: 26.05.2024).
- ФГИС «Сатурн». 2024. *Руководство пользователя* [Электронный ресурс]. <https://fgis-saturn.ru> (дата обращения: 26.05.2024).
- ФГИС УСМТ. 2024. Федеральная государственная информационная система учета и регистрации тракторов, самоходных машин и прицепов к ним [Электронный ресурс]. [http://usmt.mcx.ru/\(X\(1\)\)/](http://usmt.mcx.ru/(X(1))/) (дата обращения: 26.05.2024).
- Цифровизация в агропромышленном комплексе России. 2024. *Tadviser.ru* [Электронный ресурс] https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Цифровизация_в_агропромышленном_комплексе_России?ysclid=1zql3зууaj364880280 (дата обращения: 26.05.2024).

REFERENCES IN LATIN ALPHABET

- Aggeek. 2024. *Aggeek*. [Electronic resource]. <https://aggeek.net/ru-blog/> (accessed: 26.05.2024).
- Basso B., Antle J. 2020. Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. *Nature Sustainability* (3): 254–256. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0510-0>
- Ehlers M.-H., Huber R., Finger R. 2021. Agricultural policy in the era of digitalization. *Food Policy* 100. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.102019>
- Examples of Artificial Intelligence Projects. 2023. *6 Examples of Artificial Intelligence Projects for Climate Justice in Kenya* [Electronic resource]. <https://www.ictworks.org/artificial-intelligence-climate-justice-kenya/> (accessed: 26.05.2024).
- Hussain S.M., Hussain K., Farwah S., Lone S., Rashid M. 2021. Precision agriculture-Smart Farming: The future of agriculture. *Recent Advances in Agriculture, Engineering and Biotechnology for Food Security*: 167–171.
- Kamienski C., Soininen J.P., Taumberger M., Fernandes S., Toscano A., Salmon T., Filev R., Torre A. 2018. *SWAMP: An IoT-based Smart Water Management Platform for Precision Irrigation in Agriculture*. Proceedings of the IEEE Global IoT Summit. 2018. (GIoTS'18), Bilbao, Spain, 4–7 June 2018. [Electronic resource]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30641960> (accessed: 26.05.2024).
- McFadden J., Njuki E., Griffin T. 2023. *Precision Agriculture in the Digital Era: Recent Adoption on U. S. Farms*. Economic Information Bulletin No 248. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. [Electronic resource]. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.333550> (accessed: 26.05.2024).
- Nabokov V.I., Skvortsov E.A., Semin A.N. et al. 2020. The density of robotization of agriculture in Russia and its regions. *WSEAS Transactions on Systems and Control* 15: 549–555. [Electronic resource] <https://wseas.org/wseas/cms.action?id=23195> (accessed: 23.05.2024).
- Semin A., Mironov D., Kislitskiy M., Zasyppin A., Ivanov V. 2023. Improving the theoretical and methodological framework for

- implementing digital twin technology in various sectors of agriculture. *Emerging Science Journal* **7** (4): 1100–1115. <http://dx.doi.org/10.28991/ESJ-2023-07-04-05>
- Sonal D. 2021. IoT in agriculture: Smart Farming. *Recent Advances in Engineering, Science and Construction Edited Iksad Publications*: 137–149. [Electronic resource]. <https://www.researchgate.net/publication/358233758> (accessed: 26.05.2024).
- The Future of Job Report. 2020. *World Economic Forum*. [Electronic resource]. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2020.pdf (accessed: 26.05.2024).
- Travelite Agro. 2024. *Travelite Agro* [Electronic resource]. <https://travelite.com.ua/t> (accessed: 26.05.2024).
- Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. 2017. *Big Data in Smart Farming — A review*. *Agricultural Systems* **153**: 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
- Yusianto R., Marimin M., Suprihatin S., Hardjomidjojo H. 2020. IoT based smart agro-industrial technology with spatial analysis. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* **30** (3): 319–328. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2020.30.3.319>

TRANSLATION OF REFERENCES IN RUSSIAN INTO ENGLISH

- Avrora Robotiks. 2024. *Robotics and autonomous management of surface vehicles*. [Electronic resource]. <https://avrora-robotics.com/> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- AgroPromkomplektacija. 2024. *Activities*. [Electronic resource]. <https://www.apkholding.ru/napravleniya-deyatelnosti/> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- AgroSignal. 2024. *Automation of agriculture and agribusiness management*. [Electronic resource]. <https://agrosignal.com/> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- Agrosistema KleverFarmer. 2024. *Capabilities of the CloverFarmer platform*. [Electronic resource]. <https://cleverfarmer.ru/features/> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- AssistAgro. 2024. *To increase yield, to optimize herbicide use, to control crop density*. [Electronic resource]. <https://agroassist.ru/> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- Astakhova T.N., Kolbanev M.O., Shamin A.A. 2018. Decentralized digital platform for agriculture. *Bulletin of NGIEI* **6** (85): 5–17. (In Russian)
- Bellemare A. 2022. *Creation of event-driven microservices*: Translated from English. BHV-Petersburg Publ.: St. Petersburg. (In Russian)
- Vasiliev N.P., Protopopova L.D., Dayanova G.I., Krylova A.N., Nikitina N.N. 2024. Formation of a unified digital platform for the region's agriculture. *International Agricultural Journal* **67** (1): 53–56. (In Russian)
- Ganieva I.A., Bobrov N.E. 2019. Digital platforms in Russian agriculture: The legal aspect of implementation. *Achievements of science and technology of agro-industrial complex* **33** (9): 83–86.
- SIS CPS «AgroUpravlenie». 2024. *Systems Program Center*. [Electronic resource]. https://1cps.ru/products_line/cpsagroupravlenie-geoinformacionnaya-sistema-gi (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- SIS AIK MSAiR RT. 2024. *SIS of the agro-industrial complex of the Ministry of Agriculture and Industry of the Republic of Tajikistan* [Electronic resource]. <https://agropoliya.ru> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- State technologies FKU (Gostekh). 2024. Methodological recommendations for assessing the feasibility of creating and developing state information systems on the Unified Digital platform of the Russian Federation “GOSTECH”. [Electronic resource]. <https://platform.gov.ru/wp-content/uploads/2024/03/metodicheskie-rekomendaczii-po-ocenke-zelesoobraznosti.pdf> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- Dubovickij A.A., Stamova D.V. 2020. He role of digital platforms in agricultural development. In collection of materials of the XV In-

- ternational Scientific and Practical Conference (in 2 books): *Agrarian science — agriculture*; 29–30. (In Russian)
- Zhukova M.A., Ulez'ko A. V. 2020. Conceptual approach to creating a digital platform for the agro-food complex. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University* 4 (67): 238–250. (In Russian)
- Zatsarinny A.A., Medennikov V.I., Raikov A.N. 2023. Integration of agricultural artificial intelligence applications into a single digital platform. *Information Society* (1): 127–138. (In Russian)
- Itelma. 2024. Itelma: Autopilot for agricultural machinery. *TAdviser*. [Electronic resource]. https://www.tadviser.ru/index.php/Produkt:Itjelma:_Avtopilot_dlja_sel'hoztehnik (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- Kaipos. 2024. The latest intelligent systems for monitoring weather conditions. [Electronic resource]. <https://kaipos.ltd/> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- Kamanina A.N. 2023. Prospects for technological development of agriculture: digital platform solutions. *Innovation and Investment* (10): 463–467. (In Russian)
- Kulba V.V., Medennikov V.V., Mikulets Yu. I. 2020. Evolution of designing information systems: From synthesis at separate enterprises to synthesis of optimal industrial digital platform. *Bulletin of the Moscow Humanitarian Economic University* (1): 132–148. (In Russian)
- Lazarevskoe. 2024. *TAdviser*. [Electronic resource]. <https://www.tadviser.ru/index.php/Kompanija:Lazarevskoe> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- Medennikov V.I. 2020. From concept to practical implementation of a single digital platform of agricultural industry. *International Journal of Agriculture* 63 (5): 77–81. (In Russian)
- Medennikov V.I. 2022. Socio-economic consequences of the implementation of a unified digital management platform in Russian agriculture. *Social Innovation and Social Sciences* 1 (6): 101–113. (In Russian)
- Monakhov S.V., Ukolova N.V. 2022. Digital transformation of technology transfer in agriculture: Creation and use of digital platforms. *AIC: economics, management* (6): 25–32. (In Russian)
- Motorin O.A., Stukalin A.V. 2023. Issues of classification of platform solutions in the context of research into digital platforms of agriculture. In proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference: *Technical and technological support for innovation in the agro-industrial complex*; 292–296. Melitopol. (In Russian)
- Nebosvod. 2024. *Digital platform for drones “Nebosvod”*. [Electronic resource]. https://www.aeroscript.ru/nebosvod_utm (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- Ognivtsev S.B. 2018. The conception of the digital platform of the agricultural complex. *International Agricultural Journal* (2): 16–22. (In Russian)
- Ognivtsev S.B. 2019. Digitalization of the economy and the economy of digitalization of the nuclear submarine. *International Agricultural Journal* (2): 77–80. (In Russian)
- Yield mapping platform. 2024. Green Growth [Electronic resource]. <https://greengrowth.tech/ru> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- Raikov A.N., Antipin S.I., Fuchedzhi N.P. 2020. Architectural aspects of creating a regional digital agriculture platform. *Achievements of Science and Technology of Agro-Industrial Complex* 34 (9): 85–90. (In Russian)
- Rajkov A.N. 2021. Concept of the digital platform for Russian agriculture providing convergence to goals. *Informatization and communication* (1): 64–73. (In Russian)
- RSM Agrotronic. 2024. *Monitoring and control of agricultural machinery — RSM Agrotronic*. [Electronic resource]. <https://rostselmash.com/agrotronic/> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- Service “Field History”. 2024. History of the field. Effective digital agriculture [Electronic resource]. <https://info.agrohistory.com/> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- Sibiryaev A.S. 2023. Methodology for justification of implementation of digital platforms in the agricultural industry. *Bulletin NGIEI* 12 (151): 125–135. (In Russian)
- Sibiryayev A.S., Zazimko V.L., Dodov R. Kh. 2020. Digital transformation and digital

- platforms in agriculture. *Bulletin of NGIEI* 12 (115): 96–108. (In Russian)
- Yield management system. 2024. *Magrotech* [Electronic resource]. <https://asi.ru/vitri-na/195656/> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- Solovyanenko N.I. 2020. Issues of legal regulation of the use of digital technologies in agricultural business. *Agriculture* (3): 46–53. (In Russian)
- FSIS “Grain”. 2024. *User instructions for working with the system*. [Electronic resource]. <https://specagro.ru/fgis> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- FSIS “Seed production”. 2024. *Federal state information system in the field of seed production of agricultural plants*. [Electronic resource]. <https://semena.mcx.ru> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- FSIS “Saturn”. 2024. *User’s Guide*. [Electronic resource]. <https://fgis-saturn.ru> (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- FSIS USMT. 2024. *Federal state information system for accounting and registration of tractors, self-propelled vehicles and trailers for them*. [Electronic resource]. [http://usmt.mcx.ru/\(X\(1\)\)/](http://usmt.mcx.ru/(X(1))/) (accessed: 26.05.2024). (In Russian)
- Digitalization in the agro-industrial complex of Russia. 2024. *Tadviser.ru* [Electronic resource] https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Цифровизация_в_агропромышленном_комплексе_России?ysclid=Izql3ууаj364880280 (accessed: 26.05.2024). (In Russian)

Статья поступила в редакцию

30 мая 2024 г.

Принята к публикации

2 июля 2024 г.

Modern trends in digital transformation of Russian full-cycle agricultural enterprises

O.M. Pisareva, M.N. Belousova, D.V. Stefanovsky

State University of Management, Russia

Purpose: to assess key trends and prioritize the areas for further development and implementation of digital platforms to support production and management technologies in smart agriculture. **Methodology:** the study used the methods of content and logical analysis of scientific publications on the topic of digital transformation of the agro-industrial complex in Russia and abroad, methods of statistical analysis of data from official reports of Rosstat and the World Food Organization. **Findings:** the study provides an up-to-date description of the implementation of the digital transformation process in the agriculture sector. Critical problems have been identified and the key objectives have been formulated to increase the effectiveness of the development and application of domestic digital platforms supporting production technologies and management of smart agricultural enterprises. The paper presents the concept of designing the architecture and forming the functionality of a digital platform in the precision farming paradigm. **Originality and contribution:** the prioritization of the areas for improving the development and implementation of digital platforms in the domestic agro-industrial complex was carried out with regard to the principle of national technological independence in the critical areas of the econ-

The article was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Agreement no. 075-15-2024-542.

omy. When designing and creating digital solutions for smart agricultural production, it is recommended to account for the following aspects: the implementation of a complex of socio-economic relations of different in scale agribusiness enterprises and specificity of the territory of their economic activity, the use of closed-cycle technologies and the specialization of an economic entity in the agro-industrial complex sub-sector when pairing its intelligent information system with a state digital platform for regulating agriculture.

Keywords: agriculture, artificial Intelligence, digital platform, digital standards, sustainable development, environmental issues.

For citation: Pisareva O. M., Belousova M. N., Stefanovsky D. V. 2024. Modern trends in digital transformation of Russian full-cycle agricultural enterprises. *Russian Management Journal* **22** (3): 541–572. <https://doi.org/10.21638/spbu18.2024.308> (In Russian)

Для цитирования: Писарева О. М., Белоусова М. Н., Стефановский Д. В. 2024. Современные тенденции цифровой трансформации российских предприятий АПК полного цикла производства. *Российский журнал менеджмента* **22** (3): 541–572. <https://doi.org/10.21638/spbu18.2024.308>

Initial Submission: May 30, 2024
Final Version Accepted: July 2, 2024