

DOI: 10.17323/2587-814X.2026.1.86.105

Цифровая модель умного агропредприятия: институциональные и концептуальные основы платформенной интеграции цифровых сервисов системы поддержки принятия управленческих решений

Ольга Михайловна Писарева ^a 

E-mail: om_pisareva@guu.ru

Вячеслав Аркадьевич Алексеев ^{a, b}

E-mail: va_alekseev@guu.ru

Дмитрий Владимирович Стефановский ^a

E-mail: dv_stefanovskiy@guu.ru

^a Государственный университет управления, Москва, Россия

^b ООО «Рабус», Москва, Россия

Аннотация

Достижение стратегических целей обеспечения экономической независимости и технологического лидерства России связано с разработкой и внедрением отечественных информационных и когнитивных технологий. В решении базовых задач поддержки государственного суверенитета особую роль играет агропромышленный комплекс (АПК), переживающий сложный процесс цифровой трансформации при расширении применения роботизированной техники и интеллектуальных систем. Разработка платформенных решений в секторе сельхозпроизводства имеет серьезные сдерживающие и ограничивающие факторы эффективного применения концепции «цифрового двойника», обусловленные нерешенностью вопросов

концептуального и институционального обоснования их построения для организационных систем. Цель исследования – обоснование предложений по определению понятия цифровой модели агропредприятия и формированию возможного варианта описания экономической системы и базовых бизнес-процессов ведения умного сельского хозяйства полного цикла. Применение методов контентного и логического анализа, обращение к технологии реинжиниринга позволили дать адекватное определение референсной цифровой модели предприятия в сфере АПК, представить возможную конструкцию цифровой модели экономической системы умного агропредприятия. Предложены определения понятий «цифровая модель» и «цифровой двойник» для организационных систем, уточняющие существующие дефиниции в части отражения вариативности описания бизнес-модели организации при отображении сущностей «бизнес-архитектура» и «бизнес-процессы» как отдельных структурных элементов и контура субъективного восприятия информации при принятии решений. Обоснована структура цифровой модели экономической системы агропредприятия в сетевой среде ведения точного земледелия с учетом изменений состава и роли факторов производства в экономике данных. Показана необходимость отражения в этой модели элементов и связей, учитывающих требования обеспечения экологической нейтральности и социальной ответственности сельхозпроизводства полного цикла. При построении цифровой платформы поддержки управленческих решений рекомендовано использовать информационный образ цифрового двойника агропредприятия для проектирования структуры и наполнения данными модели экономической системы на основе регламентированных форм плановых и отчетных документов. Схема описаний онтологии цифрового двойника расширяет представление о теоретических основах методологии и инструментария проектирования и разработки информационных моделей объектов и процессов для бизнес-систем.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цифровая платформа, цифровые стандарты, цифровая модель, агропромышленный комплекс (АПК), умное агропредприятие, факторы производства, искусственный интеллект, роботизированная техника

Цитирование: Писарева О. М., Алексеев В. А., Стефановский Д. В. Цифровая модель умного агропредприятия: институциональные и концептуальные основы платформенной интеграции цифровых сервисов системы поддержки принятия управленческих решений // Бизнес-информатика. 2026. Т. 20. № 1. С. 86–105. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2026.1.86.105>

Введение

В научном и обыденном сознании текущий исторический этап устойчиво ассоциируется с активно разворачивающимся процессом трансформации мироустройства. Для России расширение спектра угроз национальной безопасности в условиях обострения демографического неблагополучия остро ставит вопрос обеспечения технологической независимости и технологического лидерства.

В решении базовых задач укрепления экономического суверенитета страны с учетом приоритета народосбережения особую роль играет ее агропромышленный комплекс (АПК), ориентированный на полное удовлетворение спроса населения на продовольственные товары традиционного ассортимента в требуемом объеме и качестве. При этом, как отмечено в работе [1], с 2014 года обострилась проблема зависимости отечественной экономики от импортных технологий, в т. ч. и для цифровизации АПК: по оценкам Минсельхоза России на 2014 г. около 95%

специализированных информационных технологий (ИТ) сельхозназначения были представлены зарубежными компаниями-разработчиками¹. В сфере импортозамещения программного обеспечения (ПО) в ключевых секторах экономики и сферах деятельности наблюдается противоречивая картина: в выступлении Председателя Правительства Российской Федерации М. В. Мишустина 3 июня 2025 года на пленарной сессии X конференции «Цифровая индустрия промышленной России» отмечено, что, с одной стороны, в предшествующие 5 лет среднегодовые темпы роста ИТ-отрасли в 4 раза опережают темпы роста ВВП, с другой – при росте расходов компаний на цифровизацию в 1,5 раза и повышении закупок лицензий российского ПО в 3,5 раза доля российских цифровых решений для систем проектирования и моделирования едва превышает 50% (при этом выявлено 412 типов зарубежного ПО, не имеющих в настоящее время отечественных аналогов, что указывает на необходимость повышения потенциала национальных центров компетенций в области программной инженерии и цифровой трансформации)².

Цифровая трансформация (ЦТ) в АПК, уже – в сельском хозяйстве, предполагает не только применение роботизированной техники (РТ), искусственного интеллекта (ИИ) и информационных систем (ИС), но и совершенствование механизма управления экологически нейтральным и социально ответственным сельхозпроизводством полного цикла. Модернизация модели агробизнеса в экономике данных требует адекватной новому технологическому укладу системы управления. Цифровизация технологических и управленческих процессов для экономических, социальных и регуляторных акторов в рассматриваемой производственной системе осуществляется на основе концепции «цифрового двойника», позволяющей с использованием информационной модели (ИМ) проецировать в виртуальный мир постановки регламентных и ситуативных задач при обосновании и принятии управленческих решений по организации и ведению хозяйственной деятельности. Фактически подход к разработке цифровых двойников известен с конца прошлого века [2], успев продемонстрировать серьезные достижения и завоевать достойные

позиции в исследовательской и инженерной деятельности [3]. Вместе с тем имеются серьезные сдерживающие факторы его широкого применения для развития национальных платформенных решений в цифровой экономике. Во-первых, существуют проблемы институционального и концептуального обоснования построения цифровых двойников организационных систем (ОС); во-вторых, наблюдается отставание в разработке отечественного ПО бизнес-моделирования, в тематику которого погружена данная задача. Отмеченные разрывы препятствуют решению научно-практических задач развития методологии и инструментария разработки и применения цифровых двойников предприятий, отвечающим требованиям экономики данных, а также созданию отечественных цифровых платформ (ЦП) организационного управления, в т.ч. умного агропредприятия (УАП). Это делает актуальным обращение к проблематике совершенствования методологии и инструментария бизнес-моделирования, определяя целью проводимого исследования обоснование предложений по идентификации понятия цифровой модели агропредприятия и формированию возможного варианта ее описания на основе построения схем организации и реализации бизнес-процессов ведения умного сельского хозяйства.

1. Теоретические и практические аспекты процесса цифровизации общества на базе ИТ

Вопросы совершенствования нормативной и теоретической базы разработки методов и инструментов информационного моделирования достаточно широко представлены в публикациях отечественных и зарубежных ученых и специалистов, опирающихся на эволюцию подходов в научных дисциплинах информатики и следствия практики правового регулирования деятельности в ИТ-области. В работах [4, 5] обоснована важность исследований в сфере разработки платформенных решений в цифровом сельском хозяйстве, предполагающих использование междисциплинарного подхода при реализации проектов создания и внедрения интеллектуальных ИС в производственной и управленческой деятельности агропредпри-

¹ Подробнее см.:

<https://mcx.gov.ru/ministry/departments/dit/news/igor-kozubenko-apk-rossii-nuzhny-90-tysyach-it-spetsialistov/?ysclid=lwsfhc4z2p667807425> (дата обращения: 11.06.2025).

² Подробнее см.: <http://government.ru/news/55236/> (дата обращения: 11.06.2025).

ятий. Варианты построения типологии цифровых продуктов для технологий производства и управления в АПК приведены в публикациях [6, 7]. Характеристика генезиса концептуальных основ и программных средств проектирования ИС и отраслевых платформенных решений представлена в статьях [8, 9]. Вопросы имплементации методов и технологий ИИ, когнитивного моделирования и управления знаниями освещены в работах [10, 11]. Возникновение, эволюция и перспективы концепции цифровых двойников характеризуются в публикациях [12, 13], а вопросы совершенствования методологии и инструментария их построения освещены в работах [14, 15]. Методические аспекты создания цифровых двойников в сфере экономической деятельности представлены в статьях [16, 17]. Зарубежный опыт характеристики применения цифровых двойников в умном сельском хозяйстве представлен в работах [18, 19]; сравнительному обзору эффективности внедрения цифровых двойников в агробизнесе посвящена статья [20]; характеристика построения системы управления точным земледелием для закрытого грунта на основе цифровых двойников с поддержкой модели прогнозного контроля приведена в публикации [21].

В работе [22] отмечено, что принцип минимизации затрат труда на обеспечение жизнедеятельности социально-экономических систем различного типа является одним из ключевых принципов развития нашей цивилизации, составляя базовое условие качества общественного прогресса, что естественно относится и к сфере управленческой деятельности. В этом контексте можно выделить три революционных периода развития теории и практики управления [23]: первый этап – организационная революция конца XIX – начала XX века, связанная с развитием разделения и специализации управленческой деятельности (накопление данных); второй – компьютерная революция середины XX века, связанная с развитием автоматизации управленческой деятельности (накопление информации); третий – когнитивная революция, проявившаяся в конце XX века и активно разворачивающаяся в настоящее время, связанная с развитием интеллектуальных технологий управления (накопление и использование знаний). Любая система управления использует информационный образ, порожаемый интегрированным набором характеристик объекта управления (ОУ): качественных и количественных, структурированных и неструктурированных; детерминированных и неопределенных. В условиях применения ком-

пьютерной техники, основанной на дискретной архитектуре вычислений, сбора, передачи и хранения информации, информационный образ управляемой и управляющей подсистем, а также их окружения, становится цифровой моделью (ЦМ) совокупности реальных сущностей и явлений.

Как часто бывает в области теоретических исследований, оригинальная идея для идентификации и объяснения того или иного феномена появляется существенно раньше закрепления соответствующего термина в научной литературе. Это характерно и для понятия «цифровой двойник». В содержательном смысле концепция цифрового двойника связана с именем М. Гривза, представившего в 2002 году свой подход создания виртуального пространства в публикации [24], вышедшей под влиянием идеи Д. Гелернтера 1991 года об описании реального объекта в «зеркальном мире» информационных образов, формируемых и обрабатываемых на компьютере [25]. В начале 90-х годов это методологическое предложение, перспективное с точки зрения теории информатики, получило признание специалистов, но не было реализовано из-за отсутствия подходящих ИТ и ПО. С прогрессом вычислительной и коммуникационной техники сформулированные ранее предложения получили импульс для продуктивной имплементации в распределенной среде интегрированных ИС и универсальных цифровых сервисов (ЦС).

2. Эволюция инструментов и стандартов проектирования и моделирования информационных систем

История автоматизации стартует примерно с середины прошлого века, когда сначала в оборонной и затем в хозяйственной и административной сферах начали активно применяться информационные управляющие системы. Тогда же предпринимались попытки унифицированного описания отдельных сущностей и явлений, включая сферу проектной, технологической, производственной и управленческой деятельности (CAD/САПР, САМ/АСУТП, MES/АСУП, ERP/АСУ). Естественно, что первые варианты нормативного регулирования задач информационного проектирования и моделирования появились в передовых странах конкурирующих социально-экономических формаций – СССР и США: ГОСТ 24.104-85 «Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Авто-

матризованные системы управления. Общие требования» (введен в действие в 1987 году, обновив поколение стандартов с 1976 года); NIST Special Publication 500-167, “Information Management Directions: The Integration Challenge” (введен в действие в 1988 году). В первом архитектура ОУ определялась составом функций информационного обеспечения процесса управления [26]. Во втором использовалась пятиуровневая модель ОУ, предназначенная для организации, планирования и создания интегрированного набора взаимосвязанных и упорядоченных архитектур селективного информационного описания слоев управления [27]. В итоге оба подхода сводились к оперированию понятиями, позднее определяемыми как область бизнес-архитектуры предприятия.

Текущий этап автоматизации производства и управления в социоэкономических системах связан с началом создания на рубеже веков распределенной цифровой инфраструктуры центров хранения и обработки информации с большими объемами накопления данных и возрастающим трафиком в глобальной интернет-среде электронных коммуникаций множества подключенных и автономных интеллектуальных устройств (ИУ), в т. ч. мобильных. Первые международные стандарты ISO в области информационного моделирования объектов с позиций управления их жизненным циклом приняты позднее: для инженерно-конструкторского проектирования в 2002 году (ISO/IEC 15288 “System engineering – System life cycle processes”) [28]; для архитектурно-строительного проектирования в 2012 году (ISO/TS 12911 “Framework for building information modelling (BIM) guidance” [29]); для проектирования ИС промышленных предприятий в 2017 году (IEC PAS 63088:2017 “Smart manufacturing – Reference architecture model industry 4.0 (RAMI4.0)” [30]). Квалификационным признаком цифровой модели, отличающей ее от классической информационной модели, допускающей традиционное документационное оформление реестров информационного описания элементов и связей, а также регламентов процедур для организации различного вида, является поддержка дискретных форматов хранения и обработки данных для компьютерной реализации функций описания элементов и связей для той или иной сущности, а также представлений о ней.

В области разработки и применения цифровых моделей на основе обобщения концептуальных подходов, инструментальных возможностей и практи-

ческого опыта уже имеются институализированные требования, относящиеся к цифровым описаниям трех классов объектов – проектируемых/производимых продуктов (изделий), проектируемых/строющихся зданий (сооружений) и функционирующих/создаваемых производственных предприятий:

- ◆ ГОСТ Р 57700.37-2021: «Цифровая модель изделия – система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла» [31] (исходная база – ISO 23247-1:2021 [32]);
- ◆ ГОСТ Р 58439.1-2019: ИМ – «совокупность структурированных и неструктурированных информационных контейнеров, представляющая собой единый достоверный источник информации по проекту (активу) на всех или отдельных стадиях его жизненного цикла» [33], т. е. ИМ проекта стадии его строительства и ИМ актива стадии его эксплуатации (исходная база – ISO 19650-1:2018 [34]);
- ◆ ГОСТ Р 59799-2021: эталонная или референсная модель – ИМ промышленного объекта физического мира, определяющая описание его эталонной архитектуры, «представленную в виде многоуровневого (многослойного) куба и отображающую технические объекты (активы) в виде уровней с возможностью описания и прослеживания в течение их жизненного цикла, с учетом принадлежности их к технической и/или организационной иерархии» [35] (исходная база – IEC PAS 63088:2017 [30]).

Однако, как отмечается исследователями и разработчиками, полной системы фактически устоявшихся и нормативно закрепленных терминов в области информационного моделирования объектов (сущностей) и процессов (явлений) реального мира к настоящему моменту не сформировалось [36]. Обзор состава и применения стандартов цифровизации на основе концепции цифровых двойников и технологий IoT представлен в аналитическом отчете “Standardization strategy on IoT and Digital Twin – ISO/IEC JTC 1/SC 41” [37].

Обратимся к содержанию понятий, вводимых в стандарте ISO 23247: «Цифровой двойник изделия – система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными ча-

стями» [32]. Отметим, что указанный стандарт содержит дополнительные положения, раскрывающие содержательные аспекты вводимого термина, которые приводят к следующей трактовке определения цифрового двойника, который рассматривается как цифровая модель «конкретного физического элемента или процесса с подключениями к данным, которая обеспечивает конвергенцию между физическим и виртуальным состояниями с соответствующей скоростью синхронизации» [32].

Учитывая общие характеристики рассмотренных выше понятий и ключевые особенности построения целенаправленной деятельности активных субъектов социальных отношений, применительно к организационным системам хозяйственного типа с учетом нотаций и практики формализации управления коммерческими предприятиями [38] и информационными ресурсами [39], можно дать уточненную формулировку терминов «цифровая модель» и «цифровой двойник»:

- ♦ цифровая модель организации (digital model of organization) есть система математических и компьютерных моделей, аналитических и эвристических алгоритмов, а также электронных шаблонов и документов, представляющая в среде компьютерного хранения и обработки данных общую схему построения и деятельности организации на основе описания её бизнес-архитектуры (активы и ресурсы), бизнес-процессов (регламенты и процедуры) и ИТ-инфраструктуры (программы и данные);
- ♦ цифровой двойник организации (digital twin of organization) есть система, состоящая из цифровой модели организации и поддерживающего работу с ней ПО с набором функциональных компонент, которые позволяют аккумулировать, обрабатывать, визуализировать, анализировать, контролировать и прогнозировать на требуемый и допустимый период упреждения совокупность необходимой информации для формирования достаточного набора показателей при характеристике деятельности организации и обосновании управленческих решений на основе извлечения накопленных в цифровой среде организации данных и знаний.

Отличительной характеристикой введенного определения понятия «цифровая модель организации» в сравнении, например, с используемой трактовкой [39] является выделение отдельных структурных эле-

ментов описания сущностей «бизнес-архитектура» и «бизнес-процессы». Это представляется важным, поскольку в прикладной области цифрового моделирования присутствует естественная вариативность для отображения связей типа «m:n» между сущностями в конструкции цифровой модели при различных схемах построения бизнеса в организационной системе хозяйственного вида. Предложенное уточнение определения понятия «цифровой двойник» в сравнении, например, с приведенной в работе [12] обобщенной дефиницией связано со смещением акцента с моделирования автоматического взаимодействия в физической и виртуальной среде функционирования хозяйственного объекта с автоматическим обменом данными на описание контура субъективного восприятия информации в управляющей подсистеме организации при обосновании и принятии необходимых решений по регулированию ее деятельности и развития в разрезе целевых и контрольных показателей оценки эффективности.

Концепты «цифровая модель» и «цифровой двойник» организации, исходя из электронной формы их существования в целях управления конкретной бизнес-системой, должны быть инвариантны архитектуре действующего комплекса вычислительного, коммуникационного, накопительного, энергетического и иного обеспечивающего бесперебойное функционирование ИС оборудования, а также соответствовать номенклатуре поддерживаемых информационных ресурсов и программных продуктов. Отметим также важный аспект оценки проектов ЦТ на основе подхода описания эталонной референсной модели предприятия RAMI 4.0 [30]. Прогресс технологий непрерывен и динамичен, поэтому сформированные для концепции «Индустрии 4.0» нормативные положения стандарт IEC PAS 63088:2017, положенного в основу разработки российского аналога ГОСТ Р 59799-2021, к сожалению, уже можно считать устаревшими. Здесь принципиальное значение имеет следующее обстоятельство: перешедшие в практическую плоскость проекты цифровизации на основе концепций «Общество 4.0» и «Индустрия 4.0» в соответствии с общей логикой непрерывных инноваций осуществляются уже в условиях перехода от концепции «Общество 5.0» (гуманизация автоматизации) к концепции «Общество 6.0» (интеллектуализация автоматизации). Вовлечение через модели/методы ИИ больших объемов цифровой информации и знаний в концепциях Индустрий 5.0 и 6.0 приводит к необходимости дополнить миры ЦМ. При отражении физического мира (physical

world) в информационный мир (information world) наряду с миром состояний (status world), миром моделей (models world) и архивным миром (archive world) должен появиться прогнозный мир (predictive world) или мир будущего (future world), как интеграция представлений о будущем, отражающих проекцию накопленных данных и знаний на предполагаемое (предсказанное методами, погруженными в мир моделей) состояние бизнес-системы.

Потенциально ожидаемые и фактически оцениваемые эффекты цифровизации в национальной экономике, включая сферу АПК, связаны с характеристиками процесса интенсификации замещения труда капиталом, направляемым на приобретение основных средств в виде РТ и ИУ, а также нематериальных активов: баз данных и знаний, цифровых решений. В совокупности ЦТ в АПК позволят оперативно и адресно учитывать изменение условий выполнения технологических операций полного цикла производства, нивелируя различия режимов ведения работ на открытом и закрытом грунте при учете дифференциации характеристик рассредоточенных сельскохозяйственных угодий и сельскохозяйственных строений в ведущих подотраслях (растениеводстве, животноводстве и др.) [40].

3. Условия и направления формирования цифрового сельского хозяйства

Совершенствование системы ведения сельского хозяйства осуществляется при приоритетной ЦТ агробизнеса на основе широкого внедрения технических средств и программных решений для

роботизации и интеллектуализации технологий производства и управления в АПК. Полное раскрытие возможностей и реализация потенциала цифровых инноваций, связаны с соответствующей синхронизацией структурного и функционального преобразования системы и механизма взаимодействия экономических агентов различного типа (правовой формы организационной схемы и поведенческой модели хозяйствующего субъекта в бизнес-пространстве).

В *таблице 1* представлена характеристика адаптации моделей бизнес-системы, производства и менеджмента в сфере АПК под влиянием внедрения цифровых технологий и ИИ для систем ведения сельского хозяйства (открытые и закрытые производственные объекты: угодья/поля и строения/сооружения агропредприятия).

Технологические аспекты преобразования экономической системы (ЭС) ведения сельскохозяйственного производства полного цикла в современных условиях определяются ролью базовых трендов инновационного развития сферы АПК, осуществляемом на интегрированной основе и под влиянием прогресса ИТ:

- 1) производственных (умное производство);
- 2) организационных (умное управление);
- 3) отраслевых:
 - а) биоинженерных – умная генетика;
 - б) аграрных – умное земледелие;
 - в) экологических – органическое и зеленое земледелие.

Таблица 1.

Направления реализации проекта ЦТ предприятия АПК и их характеристики

Сферы и направления цифровизации АПК	Ключевые субстантивные задачи
Трансформация модели агробизнеса (бизнес-система)	Инновационная ориентированность (рыночное позиционирование) Социальная ответственность (политическая мотивация) Экологическая нейтральность (поколенческая преемственность)
Трансформация модели агропроизводства	Специализированная рациональность (локализация ассортимента) Технологическая достаточность (полнота операций) Техническая автономность (оптимизация парка)
Трансформация модели агроменеджмента	Динамическая проактивность (оценка конъюнктуры рынков) Оперативная адаптивность (мониторинг условий) Комплексная эффективность (оценка влияний)

Ключевым моментом описания производственных систем в стандартах информационного моделирования является рассмотрение совокупности активов реального хозяйственного объекта, вовлеченных в процесс создания добавленной стоимости. На *рисунке 1* приведена возможная схема описания сетевой среды функционирования умного агропредприятия. Здесь принципиальное значение имеет рассмотрение сельхозпроизводства в АПК как открытой системы с комплексом внешних связей (в т. ч. регулирующего характера со стороны органов публичной власти соответствующего уровня), а также отражение полного цикла ведения сельского хозяйства с операциями замыкающих и утилизирующих технологий для выполнения требований экологической нейтральности и гармонизации отноше-

ний со стейкхолдерами при реализации требований социальной ответственности в ареале локации агробизнеса при обеспечении комплексного развития территорий и создания высокотехнологичных и высокооплачиваемых рабочих мест (в т. ч. для удержания молодых кадров в сфере АПК).

ЦТ позволяет на новом качественном уровне решить задачи механизации и автоматизации сельхозпроизводства, расширяя спектр возможностей эффективного применения автономных роботизированных машин и механизмов (в стационарном и мобильном исполнении) и доверенного ИИ (при формировании ИС и ИТ), что наиболее рациональным образом осуществляется в рамках платформенной интеграции [1]. Современные организационно-технические решения кардиналь-

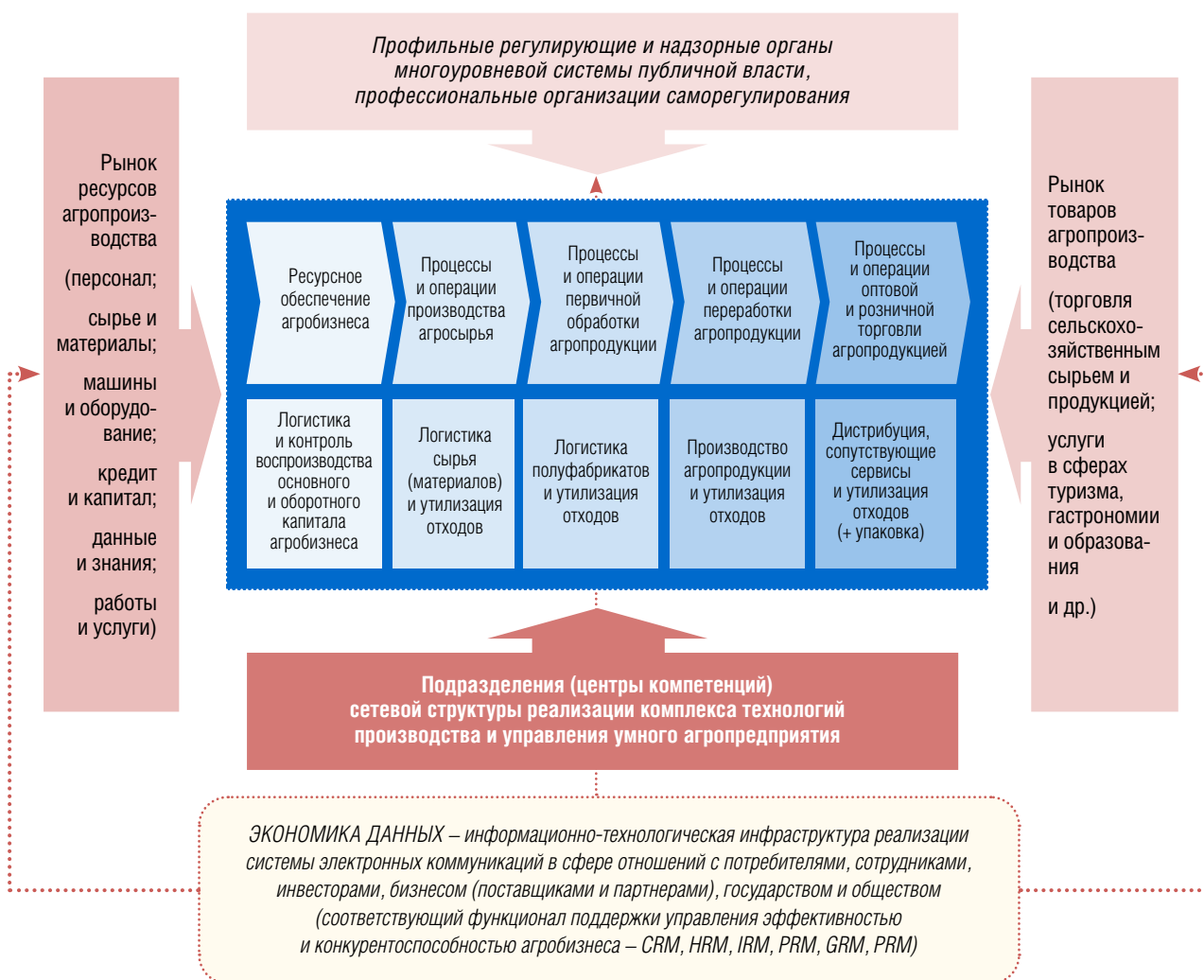


Рис. 1. Схема процесса создания добавленной ценности агропредприятия полного цикла сельхозпроизводства в цифровой среде.

но меняют модель и среду агробизнеса, но главное состоит в обеспечении гибкости решений для внедрения универсальной и специализированной РТ и ИУ сельхозназначения [41], помогая преодолению бюджетных ограничений проведения проектов ЦТ за счет рациональной и эффективной настройки на профиль и масштаб деятельности сельхозпроизводителей.

Важно учесть, что исторически в первую очередь регламентировалась разработка информационных моделей для технических систем (ТС). Особенность ОС состоит в активной роли субъективного фактора, обуславливающего гибкий и вариативный характер настройки механизма реализации целенаправленной деятельности, ориентированной на предполагаемый и необходимый результат исходной функциональности системы, но допускающей ситуативную и кардинальную смену намеченных планов. Неопределенность условий ведения сельского хозяйства предполагает существование определенных резервов времени для реакции на резкие воздействия природно-климатических факторов, обесценивающих результаты ранее выполненных сезонных работ и требующих оперативной корректировки графика последующих технологических операций на сохранивших потенциал продуктивности угодьях. Соответствующая ЦМ, отражая и учитывая цели и задачи управляющей подсистемы как интегрирующей и «оживляющей» части ОС, должна быть ориентирована на СППР (компоненты которой отражают механизм управления развитием ОС в неопределенной среде социальных отношений с множеством активных элементов, имеющих свои мотивы, ориентиры и цели деятельности [42]).

Объединяя базовые характеристики рассмотренных понятий и учитывая ключевые особенности сельскохозяйственной деятельности, можно дать следующее определение: *цифровая модель экономической системы умного сельскохозяйственного предприятия* представляет собой единый компьютеризированный комплекс электронного описания его построения и деятельности в разрезе подразделений, согласованно участвующих в производственном процессе преобразования имею-

щихся ресурсов с использованием имеющегося производственного потенциала, включая вовлекаемые в хозяйственный оборот роботизированные и интеллектуальные системы и актуализируемые в цифровой среде данные и знания, в сельскохозяйственную продукцию производственного и потребительского назначения для последующей реализации на рынке по соответствующей качеству конкурентной цене для покрытия совокупных издержек (инвестиционных, производственных, управленческих, коммерческих) с достижением приемлемого для владельца агробизнеса уровня рентабельности собственного капитала. На наш взгляд, при расширении традиционной трактовки понятия «экономическая система» в сельском хозяйстве, представленного, например, в публикации [5], необходимо, кроме технических и технологических аспектов перехода к точному земледелию, особенно выделить роль данных и знаний в электронной среде деятельности сельскохозяйственной организации как фактора повышения эффективности традиционных и инновационных факторов производства. Основываясь на уточнении содержания и характеристик общего понятия ЦМ, представленное ранее определение ЦМ ЭС умного агропредприятия можно считать релевантным условиям ведения агробизнеса в цифровой среде. Введенное определение адекватно отражает роль роботизированных и интеллектуальных систем в составе основных фондов, а также включение в воспроизводственные процессы сельхозорганизации поддержание в рабочем состоянии активов в виде цифровой базы данных и знаний как основы принятия обоснованных и оперативных решений в точном земледелии.

Уместно акцентировать не столько отсутствие стандартов информационного моделирования для ОС общего типа³, но критическую необходимость в адаптации – отражение в составе факторов производства цифровых данных и специальных знаний, вовлекаемых в технологии производства и управления на основе РТ и ИИ. С теоретических позиций описание содержания постановок и процессов реализации задач организационного управления, придерживаясь четырехуровневой нотации управленческих аспектов ГОСТ-Р-МЭК-622641-2014

³ С некоторым допущением и ограничением трактовки ЦМ производственного предприятия можно считать универсальными и приемлемыми для хозяйственной деятельности в целом. Базой для характеристики ЦМ ОС допустимо принять понятие цифровой фабрики с эталонной моделью архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI 4.0), при описании компонентов которой на основе административной оболочки используется принцип вложенности структур.

«Интеграция систем управления предприятием» [43], целостная конструкция ЦМ должна включать и следующий по иерархии уровень детализации описания ОС. Наряду с заданием основных параметров графика производства, использования материала, перевозок, доставки, определения уровня запасов, оперативного производственного управления и др. требуется определить также характеристики механизма тактического (в части рыночного позиционирования компании, Level 5.1, ритм: год и ниже) и стратегического (в части регулирования инвестиционного цикла компании, Level 5.2, ритм: год и выше) управления.

В рамках настоящего исследования в характеристике структурированного электронного описания агропредприятия отражена именно цифровая модель его ЭС, как теоретическая конструкция реального производственного (хозяйственного) объекта, целевой функцией которого является выпуск востребованного на рынке продукта способом и объемом, приносящим стейкхолдерам приемлемый финансовый результат. При этом, учитывая современные тенденции использования модели многофункционального развития сельских территорий [44, 45], важнейший аспект информационного моделирования связан с рассмотрением полного цикла сельскохозяйственного производства в условиях применения роботизированных и ИУ при соблюдении норм и правил экологической нейтральности и социальной ответственности в ареале агробизнеса. Раскроем проблему построения цифровой модели экономической системы (ЦМ ЭС) УАП с ориентацией на использование в агробизнесе рентабельных замыкающих технологий.

4. Построение цифровой модели экономической системы умного агропредприятия

Среди главных драйверов преобразований хозяйственной сферы общества – активизация новых элементов в составе факторов производства: включение информации и знаний в состав цифровых компонентов описания капитала и ресурсов предприятия позволяет корректно специфицировать и дифференцировать роль традиционных и инновационных факторов производства в условиях ЦТ. В экономике данных/знаний интеллектуальный капитал в цифровом пространстве хозяйственных взаимодействий способствует созданию дополнительной ценности совокупным капиталом компа-

нии, вовлекаемом в новый механизм информационного обмена с бизнес-партнерами.

Генерирование и использование данных и знаний в цифровой среде требует существенных капитальных и текущих издержек. При этом проекты их включения в организацию и реализацию технологических и административных процессов отличаются различными моделями финансирования создания соответствующей ИТ-инфраструктуры компании. Степень сочетания процессов создания, накопления и потребления цифровых информационных и знаниевых активов может быть разной: от полного самообеспечения до полного аутсорсинга, т. е. экономический агент может: 1) самостоятельно создавать и развивать цифровую инфраструктуру умного агропроизводства с аккумуляцией необходимых сведений для баз данных и знаний; 2) частично использовать только отдельные внешние сервисы по предоставлению данных и знаний, услуг по их обработке и вовлечению во внутренние бизнес-процессы ведения сельского хозяйства на основе роботизированных и интеллектуальных технологий.

Цифровые стандарты и форматы описания данных и знаний определяют в составе нематериальных активов общие/глобальные и частные/локальные ресурсы обеспечения производственной деятельности как ассоциированные с трудом элементы интеллектуального капитала организации (сотрудники как компетентные носители и квалифицированные пользователи цифровых факторов производства в экономике знаний). Общий контур связей в схеме построения ЭС агропредприятия с выделением механизма регенерации информации и знаний как интеллектуальных факторов производства приведен на *рисунке 2*.

На *рисунке 2* представлена характеристика расширения материальных, энергетических, финансовых и информационных потоков когнитивными связями в цепочке приращения ценности бизнеса. На схеме использованы следующие обозначения характеристик: $I\&K$ – массив данных и знаний агропредприятия; коммуникации с бизнес-средой, $X_{I\&K}$ – потребляемый информационный ресурс ($X_{I\&K} = P(I\&K)$), $Y_{I\&K}$ – производимый информационный продукт ($Y_{I\&K} = S(I\&K)$). Традиционная модель ЭС как черного ящика для описания производственного объекта с преобразованием «вход – выход» и использованием контура обратной связи для регулирования процесса функционирования



Рис. 2. Схема описания ЭС УАП: кибернетический подход в условиях ЦТ.

дополнена включением в состав входных ресурсов данных и знаний о ведении точного земледелия, а также отражением их использования при выработке управляющих воздействий (решений) для поддержания эффективности цифровой трансформации агробизнеса.

На рисунке 3 представлена схема, характеризующая состав и связи основных и обеспечивающих бизнес-процессов в системе ведения умного сельского хозяйства. Отметим, что в цифровой экономике ключевыми особенностями данных и знаний как товара являются: 1) неуничтожимость в производстве и 2) неисчерпаемость в потреблении, поэтому в представленной на рисунке 3 цепочке создания добавленной ценности в стоимостной оценке результата (объем выпуска агропродукции и оказания сопутствующих услуг) на выходе ЭС присутствует элемент приращения общей полезности финансовых вложений в воспроизводство информации и знаний.

Общепринятый подход к реинжинирингу бизнес-процессов позволяет на схеме рисунка 3 дета-

лизовано раскрыть характеристики процесса создания добавленной ценности в агропредприятии (рис. 1) на примере растениеводства. Представленные на схеме взаимосвязи всех типов бизнес-процессов позволяют отразить общую логику выполнения технологических операций полного цикла сельхозпроизводства с утилизацией отходов по стадиям переработки агросырья в агропродукцию (отметим, что требование экологической нейтральности распространяется и на сферу оптовой и розничной реализации агропродукции при прослеживаемости маркированных цифровыми метками упакованных/расфасованных партий в каналах дистрибуции, особенно в собственной торговой сети агропредприятия, что облегчает утилизацию отходов в торговле).

Создание ЦМ ЭС в концептуальном и функциональном плане связано с решением задач описания бизнес-модели УАП (его бизнес-архитектуры и бизнес-процессов), которая лежит в основе дальнейшего построения ЦП поддержки технологий производства и управления.

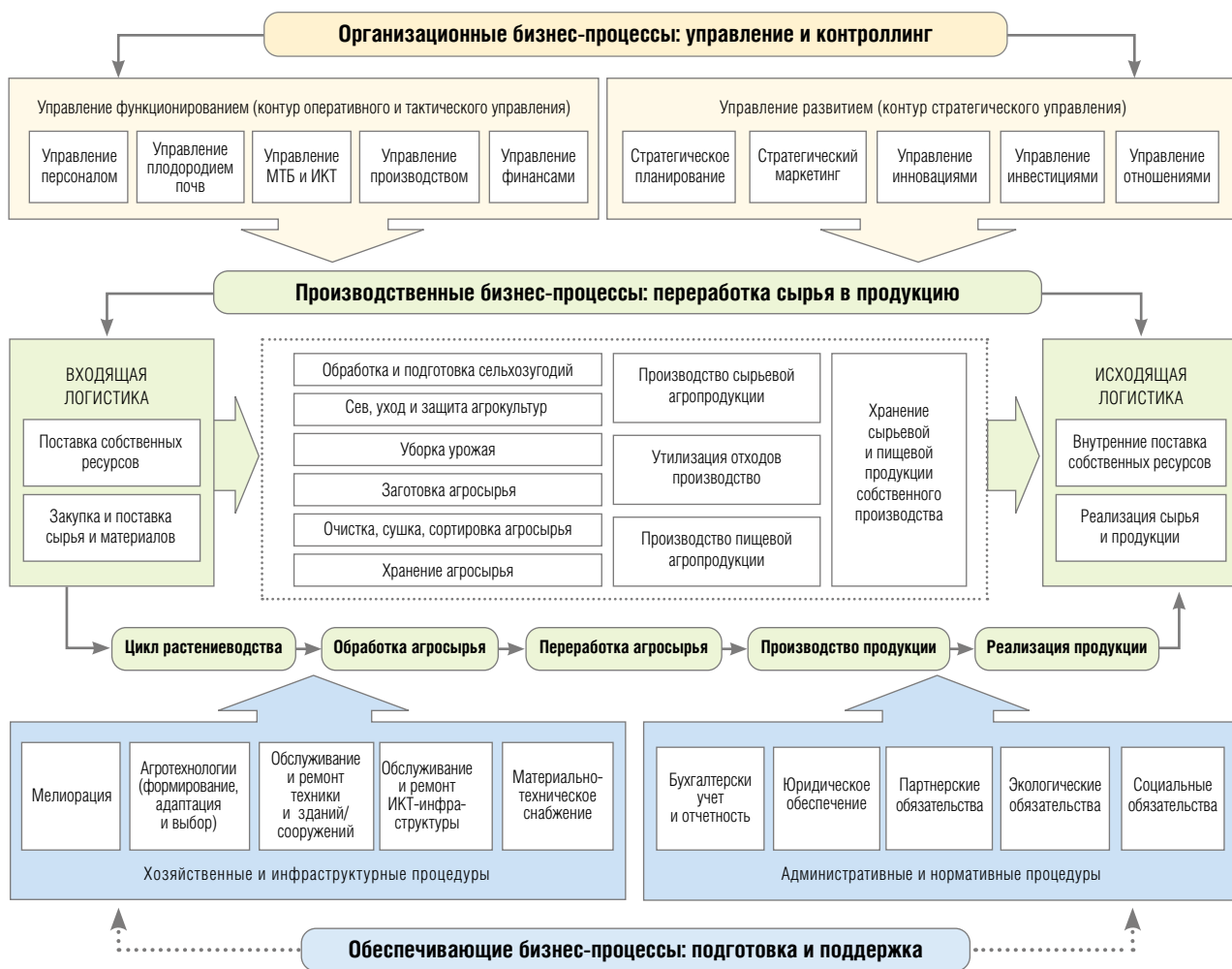


Рис. 3. Состав и связи основных бизнес-процессов УАП по стадиям полного цикла сельскохозяйственного производства.

Архитектура ЦМ ЭС непосредственно зависит от принятой модели управления деятельностью и развитием УАП. Поэтому ЦМ любой ОС, включая сферу АПК, детерминирована составом решаемых управленческих задач в разрезе функций управления, а также порядком разработки и реализации решений в рамках процедур управления (т. е. функционал ЦП управления верхнего уровня, в отличие ориентированной на только производственную сферу RAMI 4.0, поддерживает формирование ансамбля и каскада решений для организации и регулирования полной совокупности бизнес-процессов: технологических, операционных, обеспечивающих, вспомогательных, административных и др.). Содержание и параметры управленческих задач предопределяют состав методов и моделей в базе знаний ЦП для разработки проектов решений

по стадиям и сферам управления: стратегическое, тактическое и оперативное планирование деятельности агропредприятия.

Характеристика построения информационно-алгоритмического обеспечения ЦМ ЭС агропредприятия в рамках реализации периодической процедуры апостериорной и априорной оценки функционирования агробизнеса на основе электронного описания ЭС в терминах форм ключевых документов финансового планирования и отчетности приведена на рисунке 4.

Укрупненное представление функциональных блоков ЦМ ЭС УАП дает возможность комплексно охватить весь спектр задач управления сельхозпроизводством полного цикла, но не позволяет раскрыть характер сущностей и связей в отдель-

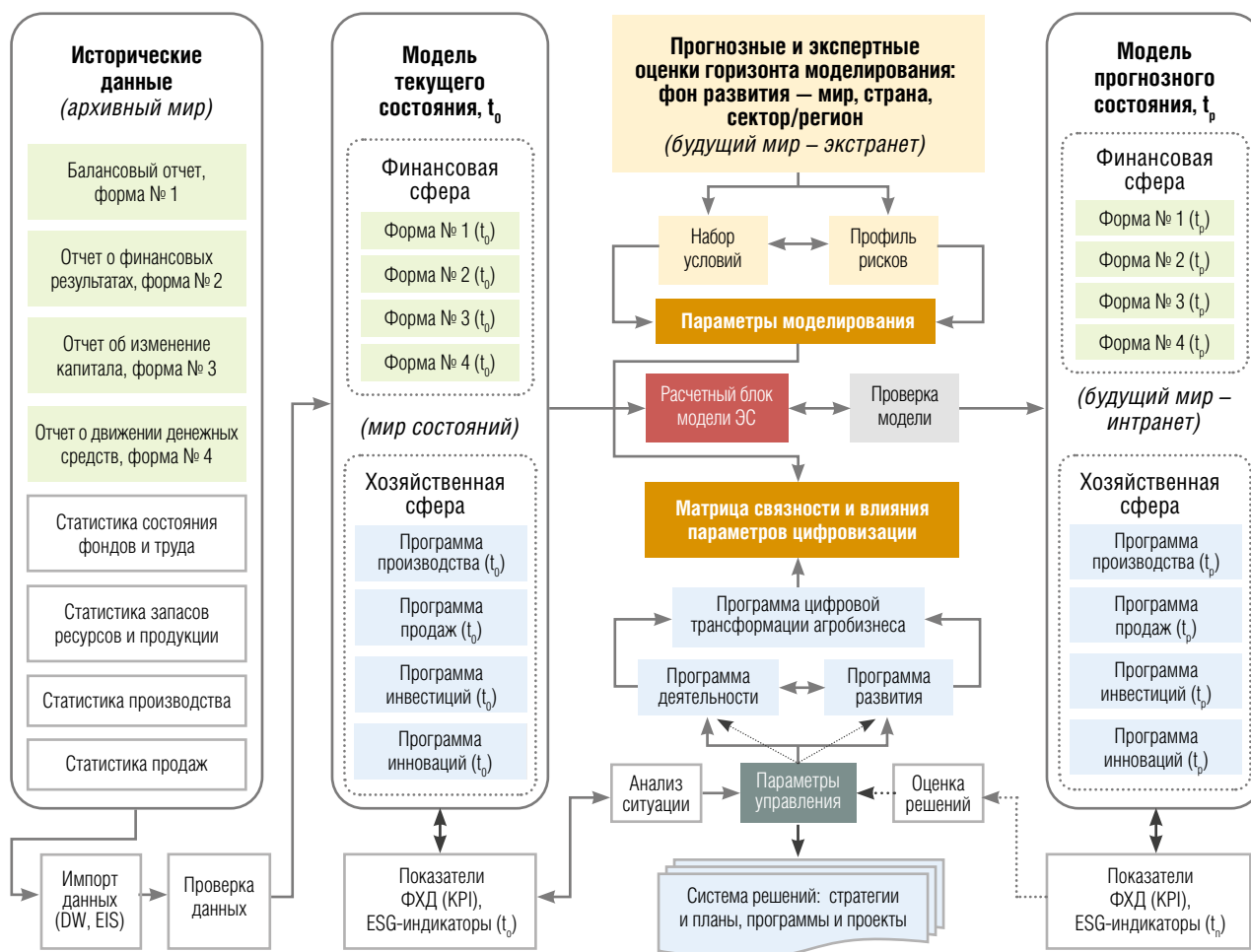


Рис. 4. Схема информационного и алгоритмического сопровождения ЦМ ЭС УАП в проекции описания архитектуры ЦП поддержки технологий производства и управления.

ных структурных элементах. Например, важно отметить, что с учетом распределенного механизма взаимодействия владельцев электронных данных различного назначения — от почвенных датчиков до систем дистанционного зондирования угодий, а также центров их обработки (см. блок «Импорт данных» на схеме рисунка 4) для использования ЦМ ЭС как основы создания ЦП УАП обязательным требованием становится ориентация на мультидоменную организацию цифровых сервисов, поддерживающих федеративную инфраструктуру хранения данных и управления вычислениями. Анализ представленной архитектурной концепции построения ЭС и ЦП УАП показывает, что платформенное решение для системы ведения умного земледелия должно разрабатываться прежде всего с учетом гетерогенного характера данных и ал-

горитмов, используемых в системе управления агропредприятием в цифровой среде. Поэтому при следовании традиционным принципам проектирования ИС (модульность, адаптивность и масштабируемость) важно учесть требование мультимодальности режимов активизации ЦМ ЭС в рамках ЦП УАП, предполагающее доменно-ориентированное децентрализованное владение сервисами, данными и знаниями.

Создаваемые ЦМ ЭС и прототип ЦП УАП могут рассматриваться как основа формирования модельного комплекса для аналитической компоненты базы знаний цифровой платформы поддержки технологий производства и управления АПК в условиях обеспечения экологической нейтральности и социальной ответственности полного цикла си-

стемы ведения сельского хозяйства. При этом основными целями создания цифровой модели ЭС полного цикла сельскохозяйственного производства являются:

- ◆ формирование и оценка проектных вариантов плана сельхозпроизводства на основе прогнозирования погодных-климатических и финансово-экономических характеристик условий выполнения комплекса сезонных работ и операций ведения агробизнеса;
- ◆ анализ, прогноз и планирование функционирования и развития агробизнеса с учетом характеристик динамики развития и конъюнктуры локального и глобального рынка агропродукции;
- ◆ анализ, оптимизация и адаптация вариантов проекта/программы цифровой трансформации агропредприятия для целевых и фоновых характеристик развития агробизнеса в условиях внедрения ЦП в ареале регионального АПК.

Основные задачи, решаемые с использованием ЦМ ЭС УАП в рамках механизма управления развитием агробизнеса в условиях цифровой экономики, отражают функциональные аспекты реализации производственного потенциала накопленных данных и сформированных знаний об условиях подготовки и ведения сезонных сельхозработ при оптимизации закупок и продаж. Извлечение знаний будет полнее и точнее для актуализированных и верифицированных значений показателей в разрезе поколений наборов цифровых данных о реализации полного производственного цикла. Ключевой момент здесь – это формирование согласованного набора требований к информационно-технологическому и информационно-аналитическому обслуживанию совокупности пользователей интегрированной ИС агропредприятия (агрохолдинга/агрокластера) с каналами внешних информационных и когнитивных коммуникаций. При построении в сетевой среде хозяйственной деятельности эффективной мультимодальной и мультимодульной ЦП УАП верхнего уровня основным требованием является формирование механизма интеграции функций и данных внешних платформ [38]. В парадигме проектной деятельности ЦТ необходимо придерживаться логики перехода от интеграции сервисов к интеграции платформ, отвечающей задаче распределения ответственности за качественные цифровые ресурсы различных владельцев на

основе федеративного принципа построения доменной инфраструктуры ЦП ИС.

Заключение

Ориентиры и приоритеты стратегии национального развития делают актуальным проведение оценки состояния концептуальных и институциональных основ информационного моделирования бизнес-систем в России. При анализе текущих проблем установлено, что высокотехнологичная сфера деятельности в экономике всегда опережает используемые рамки нормативного регулирования, поскольку инновационные решения возникают зачастую вне области сложившегося порядка, в т. ч. в критически важном секторе национальной экономики – сельском хозяйстве. Модернизация отечественного АПК на основе возможностей современных ИТ и ЦП в условиях отставания механизмов унификации и стандартизации разработки интегрированных ИС поддержки технологий точного земледелия затрудняет решение задач обеспечения продовольственной безопасности и технологической независимости страны. В рамках исследования был поставлен и решен ряд взаимосвязанных задач в области: идентификации особенностей и определения параметров стандартизации разработки цифровых двойников для хозяйственных систем организационного типа; определения и обоснования структуры ЦМ предприятия АПК; спецификации процессной модели организации системы ведения умного сельского хозяйства в условиях ЦТ; обоснования рекомендаций по использованию ЦМ ЭС УАП при построении ЦП управления полным циклом сельскохозяйственного производства для поддержки комплекса базовых задач обоснования и принятия управленческих решений. Результаты исследования могут быть использованы при разработке положений национального стандарта или правил создания цифровых двойников предприятий и организаций АПК, расширяющих сферу регламентации с процессов информационного моделирования технических систем на область построения цифровых моделей организационных систем универсального типа. ■

Благодарности

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

Литература

1. Писарева О. М., Белоусова М. Н., Стефановский Д. В. Современные тенденции цифровой трансформации российских предприятий АПК полного цикла производства // Российский журнал менеджмента. 2024. Т. 22. № 3, С. 541–572. <https://doi.org/10.21638/spbu18.2024.308>
2. Сосфенов Д. А. Цифровой двойник: история возникновения и перспективы развития // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. № 4. С. 35–43. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-4-35>
3. Digital twin: Origin to future / M. Singh [et al.] // Applied System Innovation. 2021. Vol. 4. No. 2. Article 36. <https://doi.org/10.3390/asi4020036>
4. Каманина А. Н. Перспективы технологического развития сельского хозяйства: цифровые платформенные решения // Инновации и инвестиции. 2023. № 10. С. 463–467.
5. Васильев Н. П., Протопопова Л. Д., Даянова Г. И., Крылова А. Н., Никитина Н. Н. Формирование единой цифровой платформы сельского хозяйства региона // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. Т. 67. № 1(397). С. 53–56. https://doi.org/10.55186/25876740_2024_67_1_53
6. Монахов С. В., Уколова Н. В. Цифровая трансформация трансфера технологий в сельском хозяйстве: создание и использование цифровых платформ // АПК: экономика, управление. 2022. № 6. С. 25–32. <https://doi.org/10.33305/226-23>
7. Моторин О. А., Стукалин А. В. Вопросы классификации платформенных решений в контексте исследования цифровых платформ сельского хозяйства // Техничко-технологическое обеспечение инноваций в агропромышленном комплексе: материалы II Международной научно-практической конференции, Мелитополь, 28–29 ноября 2023 года. Мелитополь: Мелитопольский государственный университет, 2023. С. 292–296. [Электронный ресурс]: https://elibrary.ru/download/elibrary_58638908_89068276.pdf (дата обращения 26.05.2025).
8. Кульба В. В., Мединников В. В., Микулец Ю. И. Эволюция проектирования информационных систем: от синтеза на отдельных предприятиях к синтезу оптимальных отраслевых цифровых платформ // Вестник Московского гуманитарно-экономического института. 2020. № 1. С. 132–148.
9. Жукова М. А., Улезько А. В. Концептуальный подход к формированию цифровой платформы агропродовольственного комплекса // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13. № 4(67). С. 238–250. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.4.238>
10. Райков А. Н. Концепция цифровой платформы российского сельского хозяйства, обеспечивающая сходимость к целям // Информатизация и связь. 2021. № 1. С. 64–73. <https://doi.org/10.34219/2078-8320-2021-12-1-64-73>
11. Зацаринный А. А., Мединников В. И., Райков А. Н. Интеграция приложений искусственного интеллекта в единую цифровую платформу АПК // Информационное общество. 2023. № 1. С. 127–138. https://doi.org/10.52605/16059921_2023_01_127
12. Сосфенов Д. А. Цифровой двойник: история возникновения и перспективы развития // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. № 4. С. 35–43. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-4-35>
13. Курганова Н. В., Филин М. А., Черняев Д. С., Шаклеин А. Г., Намиот Д. Е. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Vol. 7. No. 5. P. 105–115. [Электронный ресурс]: https://elibrary.ru/download/elibrary_38215110_78228890.pdf (дата обращения 26.05.2025).
14. Васильев А. Н., Тархов Д. А., Малыхина Г. Ф. Методы создания цифровых двойников на основе нейросетевого моделирования // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. Т. 14. № 3. С. 521–532. <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201803.521-532>
15. Петров А. В. Имитация как основа технологии цифровых двойников // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 10. С. 56–66. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-10-56-66>
16. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Бекларян Г. Л. Разработка цифровых двойников для производственных предприятий // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 4. С. 7–16. <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2019.4.7.16>
17. Самосудов М. В. Ресурсный след деятельности как элемент цифрового двойника предприятия // E-Management. 2019. Т. 2. № 3. С. 38–47. <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2019-3-38-47>
18. Alves R. G., Souza G., Maia R. F., Tran A. L. H. A digital twin for smart farming // IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC 2019), Seattle, WA, USA, 2019. P. 1-4. <https://doi.org/10.1109/GHTC46095.2019.9033075>
19. Verdouw C., Tekinerdogan B., Beulens A., Wolfert S. Digital twins in smart farming // Journal Agricultural Systems. 2021. Vol. 189. Article 103046. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.103046>
20. Peladarinos N., Piromalis D., Cheimaras V., Tserepas E., Munteanu R. A., Papageorgas P. Enhancing smart agriculture by implementing digital twins: A comprehensive review // Sensors. 2023. Vol. 23. No. 16. Article 7128. <https://doi.org/10.3390/s23167128>
21. Integrating digital twins and MPC for sustainable greenhouse management in smart agriculture / A. Soussi [et al.] // IEEE Transactions on AgriFood Electronics. 2025. <https://doi.org/10.1109/tafe.2025.3572808>
22. Писарева О. М. Методы аналитики как инновационный потенциал развития теории и практики управления // Аналитический вестник: Модели и методы в аналитической работе. 2011. 27(439). С. 16–31. [Электронный ресурс]: http://council.gov.ru/activity/analytics/analytical_bulletins/25903/ (дата обращения 06.02.2026).

23. Писарева О. М. Прогнозно-аналитическая деятельность в управлении развитием многоуровневых организационных систем: монография. М.: Издательский дом ГУУ, 2013.
24. Grieves M. Product lifecycle management: The new paradigm for enterprises // *International Journal of Product Development*. 2005. Vol. 2. No. 1/2. P. 71–84. <https://doi.org/10.1504/IJPD.2005.006669>
25. Gelernter D. *Mirror worlds: Or: The day software puts the universe in a shoebox... How it will happen and what it will mean*. Oxford, UK: Oxford University Press, 1991. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195068122.001.0001>
26. ГОСТ 24.104-85. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования. М.: Стандартинформ, 1985.
27. NIST Special Publication 500-167. *Information Management Directions: The Integration Challenge*. Gaithersburg, MD, USA, 1987.
28. ISO/IEC 15288. *System engineering – System life cycle processes*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2002.
29. ISO/TS 12911. *Framework for building information modelling (BIM) guidance*. Geneva, Switzerland, 2012.
30. IEC PAS 63088:2017. *Smart manufacturing – Reference architecture model industry 4.0 (RAMI4.0)*. Geneva, Switzerland, 2017.
31. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. М.: Российский институт стандартизации, 2021.
32. ISO 23247-1:2021. *Automation systems and integration. Digital twin framework for manufacturing. Part 1: Overview and general principles*. Geneva, Switzerland, 2021.
33. ГОСТ Р 58439.1-2019. Организация информации об объектах строительства. Информационный менеджмент в строительстве с использованием технологии информационного моделирования. Часть 1: Понятия и принципы. М.: Стандартинформ, 2019.
34. ISO 19650-1:2018. *Organization of information about construction works. Information management using building information modelling. Part 1: Concepts and principles*. Geneva, Switzerland, 2018.
35. ГОСТ Р 59799-2021. Умное производство. Модель эталонной архитектуры индустрии 4.0 (RAMI 4.0). М.: Российский институт стандартизации, 2021.
36. Lu Y., Xu X., Wang L. Smart manufacturing process and system automation – A critical review of the standards and envisioned scenarios // *Journal of Manufacturing Systems*. 2020. Vol. 56. P. 312–325. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.010>
37. Coallier F. Standardization strategy on IoT and Digital Twin – ISO/IEC JTC 1/SC 41. Helsinki, Finland: IoT and DTw Workshop, 2024. [Электронный ресурс]: <https://sesko.fi/wp-content/uploads/2024/06/10-2024-ISO-IEC-Standardization-strategy-on-IoT-and-Digital-Twin-v1.0.pdf> (дата обращения 30.05.2025).
38. Кондратьев В. В. *Конструктор регулярного менеджмента*. М.: Инфра-М, 2015.
39. Исаев Р. А. *Управление ИТ-архитектурой организации: проектирование, анализ, оптимизация и трансформация: В 2-х т.* М.: Инфра-М, 2023.
40. Ковзунова Е. С., Руйга И. Р., Жирнова И. С., Шелевая В. С. Цифровые сервисы в агропромышленном комплексе: контент-анализ функциональных возможностей, проблемы и перспективы развития // *Продовольственная политика и безопасность*. 2024. Т. 11. № 2. С. 265–286. <https://doi.org/10.18334/ppib.11.2.120784>
41. Сибиряев А. С. Возможности использования цифровых платформ в сельском хозяйстве. Методический подход к процессу их внедрения // *Вестник НГИЭИ*. 2024. № 7(158). С. 123–133.
42. Матяш А. В., Багрин П. П., Андреева В. А., Миронова М. П., Самосудов М. В. Понятие «цифровой двойник» в применении к социальной системе // *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2022. Том 12. № 10А. С. 428–440.
43. ГОСТ-Р-МЭК-622641-2014. *Интеграция систем управления предприятием*. М.: Стандартинформ, 2014.
44. Оборин М. С. Особенности кластерно-сетевой интеграции предприятий агропромышленного комплекса // *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*. 2024. Т. 59. № 5. С. 114–131. <https://doi.org/10.55959/MSU0130-0105-6-59-5-6>
45. Модернизация агропромышленного комплекса Севера и Арктики в условиях цифровой трансформации: концептуальные основы и проектные решения / Ю. В. Зворыкина и [др.] // *Арктика: экология и экономика*. 2025. Т. 15. № 1. С. 48–58. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2025-1-48-58>

Об авторах

Ольга Михайловна Писарева

кандидат экономических наук, доцент;

заведующая кафедрой, кафедра математических методов в экономике и управлении, директор, Институт информационных систем, Государственный университет управления, Россия, 109542, г. Москва, Рязанский проспект, д. 99;

E-mail: om_pisareva@guu.ru

ORCID: 0000-0002-6042-2657

Вячеслав Аркадьевич Алексеев

кандидат экономических наук;

заместитель директора, ООО «Рабус», Россия, 109004, г. Москва, Тетеринский переулок, д. 4, стр. 2;

научный сотрудник, Центр управления инжиниринговыми проектами, Государственный университет управления, Россия, 109542, г. Москва, Рязанский проспект, д. 99;

E-mail: va_alekseev@guu.ru

Дмитрий Владимирович Стефановский

кандидат технических наук;

заведующий кафедрой, кафедра информационных систем, Государственный университет управления, Россия, 109542, г. Москва, Рязанский проспект, д. 99;

E-mail: dv_stefanovskiy@guu.ru

Digital twinning in smart agribusiness: Towards a conceptual and methodological framework for organizational digital modelling

Olga Mikhailovna Pisareva ^a

E-mail: om_pisareva@guu.ru

Vyacheslav Arkadievich Alexeev ^{a,b}

E-mail: va_alekseev@guu.ru

Dmitry Vladimirovich Stefanovsky ^a

E-mail: dv_stefanovskiy@guu.ru

^a State University of Management, Moscow, Russia

^b Rabus LLC, Moscow, Russia

Abstract

At the present stage, the achievement of the set strategic goals of ensuring Russia's economic independence and technological leadership is associated with the development and implementation of domestic information and cognitive technologies. The country's agro-industrial complex, which is undergoing a complex process of digital transformation with the expansion of the use of robotic technology and intelligent systems, plays a special role in solving the basic tasks of maintaining state sovereignty. The development of platform solutions in agricultural production faces serious limitations and constraints on

the effective application of the “digital twin” concept, due to unresolved issues regarding the conceptual and institutional justification for their construction for organizational systems. In this regard, the aim of this study is to substantiate proposals for defining the concept of a digital model of an agricultural enterprise and the formation of a possible option for describing the economic system and basic business processes for conducting full-cycle smart agriculture. The application of content and logical analysis methods, and reengineering technology, allowed us to appropriately define a reference digital model of an enterprise in the agricultural sector and present a possible design for a digital model of the economic system of a smart agricultural enterprise. Definitions of the concepts of “digital model” and “digital twin” for organizational systems are proposed, clarifying existing definitions in terms of reflecting the variability of the description of the organization’s business model when displaying the entities of “business architecture” and “business processes” as separate structural elements and the contour of subjective perception of information when making decisions. The structure of a digital model of an agricultural enterprise’s economic system in a networked precision farming environment is substantiated, taking into account changes in the composition and role of production factors in a data economy. We demonstrate the need to reflect in this model elements and relationships that address the requirements of ensuring environmental neutrality and social responsibility in full-cycle agricultural production. We recommend using the information image of a digital twin of an agricultural enterprise to design the structure and fill the model of the economic system with data based on regulated forms of planning and reporting documentation when building a digital platform to support management decision-making. The digital twin ontology description scheme expands our understanding of the theoretical foundations of the methodology and tools for designing and developing information models of objects and processes for business systems.

Keywords: digital transformation, digital platform, digital standards, digital model, agriculture, smart agricultural enterprise, factors of production, artificial intelligence, robotic devices

Citation: Pisareva, O. M., Alexeev, V. A., & Stefanovsky, D. V. (2026). Digital twinning in smart agribusiness: Towards a conceptual and methodological framework for organizational digital modelling. *Business Informatics*, 20(1), 86–105. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2026.1.86.105>

References

1. 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 (in Russian). <https://doi.org/10.21638/spbu18.2024.308>
2. Sosfenov, D. A. (2023). The digital twin: The history of its origin and development prospects. *Intelligence. Innovation. Investment*, 4, 35–43 (in Russian). <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-4-35>
3. Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2021). Digital twin: Origin to future. *Applied System Innovation*, 4(2), 36. <https://doi.org/10.3390/asi4020036>
4. Kamanina, A. N. (2023) Prospects of technological development of agriculture: digital platform solutions. *Innovation and investment*, 10, 463–467 (in Russian). <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-tehnologicheskogo-razvitiya-selskogo-hozyaystva-tsifrovye-platfornnyye-resheniya/pdf>
5. Vasiliev, N., Protopopova, L., Dayanova, G., Krylova, A., & Nikitina, N. (2024). Formation of a unified digital platform for the region’s agriculture. *International Agricultural Journal*, 67(1), 53–56 (in Russian). https://doi.org/10.55186/25876740_2024_67_1_53
6. Monakhov, S. V., & Ukolova, N. V. (2022). Digital transformation of technology transfer in agriculture: creation and use digital platforms. *Agroindustrial complex: economics, management*, 6, 25–32 (in Russian). <https://doi.org/10.33305/226-23>
7. Motorin O. A., & Stukalin A. V. (2023). Issues of classification of platform solutions in the context of the study of digital platforms for agriculture. *Technical and technological support for innovations in the agro-industrial complex*. Materials of the II International scientific and practical conference, Melitopol, 28–29 November 2023. Melitopol State University, 292–296 (in Russian). https://elibrary.ru/download/elibrary_58638908_89068276.pdf
8. Kulba, V. V., Medennikov, V. V., & Mikulets, Yu. I. (2020). Evolution of information systems design: From synthesis at individual enterprises to the synthesis of optimal industry digital platforms. *Herald of MHEI*, 1, 132–148 (in Russian).

9. 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). <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.4.238>
10. Raikov, A. N. (2021). Concept of the digital platform for Russian agriculture providing convergence to goals. *Informatization and Communication*, 1, 64–73 (in Russian). <https://doi.org/10.34219/2078-8320-2021-12-1-64-73>
11. 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). https://doi.org/10.52605/16059921_2023_01_127
12. Sosfenov, D. A. (2023). Digital twin: history of origin and development prospects. *Intellect. Innovations. Investments*, 4, 35–43 (in Russian). <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-4-35>
13. Kurganova, N. V., Filin, M. A., Chernyaev, D. S., Shaklein, A. G., & Namiot, D. E. (2019). Implementation of digital twins as one of the key areas of digitalization of production. *International Journal of Open Information Technologies*, 7(5), 105–115 (in Russian). https://elibrary.ru/download/elibrary_38215110_78228890.pdf
14. Vasiliev, A. N., Tarkhov, D. A., & Malykhina, G. F. (2018). Methods of creating digital twins based on neural network modeling. *Modern information technologies and IT education*, 14(3), 521–532 (in Russian). <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201803.521-532>
15. Petrov, A. (2018). Simulation as the basis of digital twin technology. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 22(10), 56–66 (in Russian). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2018-10-56-66>
16. Makarov, V. L., Bakhtizin, A. R., & Beklaryan, G. L. (2019). Developing digital twins for production enterprises. *Business Informatics*, 13(4), 7–16 (in Russian). <https://doi.org/10.17323/1998-0663.2019.4.7.16>
17. Samosudov, M. (2019). Resource footprint of activities as an element of the digital twin of the enterprise. *E-Management*, 2(3), 38–47 (in Russian). <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2019-3-38-47>
18. Alves, R. G., Souza, G., Maia, R. F., Tran, A. L. H., Kamienski, C., Soininen, J.-P., Aquino, P. T., & Lima, F. (2019). A digital twin for smart farming. *2019 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ghtc46095.2019.9033075>
19. Verdouw, C., Tekinerdogan, B., Beulens, A., & Wolfert, S. (2021). Digital twins in smart farming. *Agricultural Systems*, 189, 103046. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103046>
20. Peladarinos, N., Piromalis, D., Cheimaras, V., Tserepas, E., Munteanu, R. A., & Papageorgas, P. (2023). Enhancing Smart Agriculture by Implementing Digital Twins: A Comprehensive Review. *Sensors*, 23(16), 7128. <https://doi.org/10.3390/s23167128>
21. Soussi, A., Zero, E., Herrera, C. D. C., Zahmoun, S., Bozzi, A., & Sacile, R. (2025). Integrating Digital Twins and MPC for Sustainable Greenhouse Management in Smart Agriculture. *IEEE Transactions on AgriFood Electronics*, 1–17. <https://doi.org/10.1109/tafe.2025.3572808>
22. Pisareva, O. M. (2011). Methods of analytics as an innovative potential for the development of management theory and practice. *Analytical Bulletin: Models and methods in analytical work*. 27, 16–31 (in Russian). http://council.gov.ru/activity/analytics/analytical_bulletins/25903/
23. Pisareva, O. M. (2013). *Predictive and analytical activity in managing the development of multilevel organizational systems*. Publishing House of the State University of Management (in Russian).
24. Grieves, M. W. (2005). Product lifecycle management: The new paradigm for enterprises. *International Journal of Product Development*, 2(1/2), 71–84. <https://doi.org/10.1504/IJPD.2005.006669>
25. Gelernter D. (1991). *Mirror worlds: Or: The day software puts the universe in a shoebox...How it will happen and what it will mean*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195068122.001.0001>
26. GOST 24.104-85. (1985). Unified system of standards for automated control systems. Automated control systems. General requirements. Moscow: Rosstandart (in Russian).
27. NIST Special Publication 500-167. (1987). Information Management Directions: The Integration Challenge. Gaithersburg, MD, USA.
28. ISO/IEC 15288. (2002). “System engineering – System life cycle processes”. Geneva: International Organization for Standardization.
29. ISO/TS 12911. (2012). Framework for building information modelling (BIM). guidance. Geneva: International Organization for Standardization.
30. IEC PAS 63088:2017. (2017). Smart manufacturing – Reference architecture model industry 4.0 (RAMI4.0). Geneva: International Organization for Standardization.
31. GOST R 57700.37-2021. (2021). Computer models and modeling. Digital twins of products. General provisions. Moscow: Russian Standardization Institute (in Russian).
32. ISO 23247-1:2021. (2021). Automation systems and integration. Digital twin framework for manufacturing. Part 1: Overview and general principles. Geneva: International Organization for Standardization.
33. GOST R 58439.1-2019. (2019). Organization of information on construction objects. Information management in construction using information modeling technology. Part 1: Concepts and principles. Moscow: Rosstandart (in Russian).
34. ISO 19650-1:2018. (2018). Organization of information about construction works. Information management using building information modelling. Part 1: Concepts and principles. Geneva: International Organization for Standardization.

35. GOST R 59799-2021. (2021). Smart manufacturing. Model of the reference architecture of industry 4.0 (RAMI 4.0). Moscow: Russian Standardization Institute (in Russian).
36. Lu, Y., Xu, X., & Wang, L. (2020). Smart manufacturing process and system automation – A critical review of the standards and envisioned scenarios. *Journal of Manufacturing Systems*, 56, 312–325. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.010>
37. Coallier, F. (2024). Standardization strategy on IoT and Digital Twin – ISO/IEC JTC 1/SC 41. *IoT and DTW Workshop*, Helsinki, Finland. <https://sesko.fi/wp-content/uploads/2024/06/10-2024-ISO-IEC-Standardization-strategy-on-IoT-and-Digital-Twin-v1.0.pdf>
38. Kondratiev, V. V. (2015). *Constructor of regular management*. Moscow: Infra-M (in Russian).
39. Isaev, R. A. (2023). *Management of the OT architecture of an organization: design, analysis, optimization and transformation*, in 2 volumes. Moscow: Infra-M (in Russian).
40. Kovzunova, E. S., Ruyga, I. R., Zhirnova, I. S., & Shelevaya, V. S. (2024). Digital services in the agro-industrial complex: content analysis of functionality, problems and development perspectives. *Food policy and security*, 11(2), 265–286 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/ppib.11.2.120784>
41. Sibiryaev, A. S. (2024). Possibilities of using digital platforms in agriculture. Methodological approach to the process of their implementation. *Bulletin NGIEI*, 7, 123–133 (in Russian).
42. Matyash, A. V., Bagrin, P. P., Andreeva, V. A., Mironova, M. P., & Samosudov, M. V. (2022). The term “digital twin” as applied to a social system. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*, 12(10A), 428–440 (in Russian).
43. GOST-R-MEK-622641-2014. (2014). Integration of enterprise management systems. Moscow: Rosstandart (in Russian).
44. Oborin, M. S. (2024). Specific features of cluster-network integration in enterprises of agro-industrial complex. *Lomonosov Economics Journal*, 5, 114–131 (in Russian). <https://doi.org/10.55959/msu0130-0105-6-59-5-6>
45. Zvorykina, Y. V., Usov, V. G., Karelina, M. Y., Pisareva, O. M., Belousova, M. N., & Alexeev, V. A. (2025). Modernization of the North and the Arctic agro-industrial complex under digital transformation: conceptual foundations and design solutions. *Arctic: Ecology and Economy*, 15(1), 48–58 (in Russian). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2025-1-48-58>

About the authors

Olga Mikhailovna Pisareva

Candidate of Sciences (Economics); Associate Professor;

Head of the Department, Department of Mathematical Methods in Economics and Management, Director, Institute of Information Systems, State University of Management, 99 Ryazansky Ave., Moscow 109542, Russia;

E-mail: om_pisareva@guu.ru

ORCID: 0000-0002-6042-2657

Vyacheslav Arkadyevich Alexeev

Candidate of Sciences (Economics);

Deputy Director, Rabus LLC, 4 Teterinsky Ln., Moscow 109004, Russia;

Researcher, Engineering Project Management Center, State University of Management, 99 Ryazansky Ave., Moscow 109542, Russia;

E-mail: va_alekseev@guu.ru

Dmitry Vladimirovich Stefanovsky

Candidate of Sciences (Technology);

Head of the Department, Department of Information Systems, State University of Management, 99 Ryazansky Ave., Moscow 109542, Russia;

E-mail: dv_stefanovskiy@guu.ru