

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ В ЦИФРОВОЙ ЛОГИСТИКЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА: ОТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДО СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ

Гадлгареева Руфия Равиловна¹✉, Копысова Татьяна Сергеевна²,
Кудряшова Анастасия Геннадьевна³, Свинцова Нина Федоровна⁴

^{1,4}УдГУ, Ижевск, Россия

²Удмуртский ГАУ, Ижевск, Россия

³ООО «Якомпания», Ижевск, Россия

¹grr09@yandex.ru

Аннотация. Агропромышленный комплекс России сталкивается с необходимостью фундаментальной трансформации логистических процессов. Актуальность обусловлена повышением требований к качеству продукции АПК, значительными потерями сельскохозяйственной продукции (до 30 %), низкой эффективностью традиционных логистических моделей и появлением новых технологических возможностей. Цель исследования – анализ текущего состояния архитектуры интегрированных цифровых логистических систем (ИЦЛС) в агропромышленном комплексе и разработка инновационных направлений ее модернизации с учетом современных технологических достижений. Методологической основой исследования является системный подход к анализу и проектированию ИЦЛС. Применялся комплекс взаимодополняющих методов, включая анализ функциональных возможностей существующих систем, экспериментальную оценку показателей и имитационное моделирование. Разработан поэтапный подход внедрения инноваций с краткосрочным, среднесрочным и долгосрочным этапами. Установлено, что современная архитектура ИЦЛС имеет пятиуровневую структуру с рядом недостатков. Разработаны инновационные направления модернизации: использование технологий вычислений нового поколения, распределенное обучение с сохранением приватности данных, микроэлектронные системы для локальной аналитики и интеллектуальная самонастраивающаяся структура системы. Полномасштабное внедрение предложенных инноваций может обеспечить снижение логистических затрат на 30-40 %, сокращение потерь продукции на 20-25 % и повышение точности прогнозирования до 90-95 %.

Ключевые слова: цифровая логистика, агропромышленный комплекс, интегрированные системы, квантовые вычисления, распределенное обучение, цифровые двойники, приватность данных, самоорганизация, прослеживаемость продукции, энергоэффективность.

Для цитирования: Совершенствование технологий в цифровой логистике агропромышленного комплекса: от обеспечения безопасности до современных способов управления / Р. Р. Гадлгареева, Т. С. Копысова, А. Г. Кудряшова, Н. Ф. Свинцова // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 3(83). С. 136-143. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_3_136-143.

Актуальность. В условиях современных рыночных отношений агропромышленный комплекс (АПК) России сталкивается с трансформацией всех логистических процессов, которая становится необходимым условием сохранения конкурентоспособности отечественной продукции на всех видах рынка [2, 7, 8]. Интегрированные цифровые логистические системы (ИЦЛС) представляют собой необходимое решение для управления потоками сельскохозяйствен-

ной продукции от производителя до конечного потребителя. Они призваны обеспечить сохранность, безопасность продукции, построение оптимальных маршрутов транспортировки, энергоэффективность процессов и минимизацию потерь на всех этапах логистической цепи [4, 6]. В этой связи актуальность исследования обусловлена следующими факторами:

1. Постоянное повышение требований к качеству и безопасности продукции АПК: современ-

ный потребитель предъявляет все более высокие требования к качеству продуктов питания, их экологичности и безопасности. Это требует внедрения систем прослеживаемости продукции на всех этапах логистической цепи.

2. Значительные потери сельскохозяйственной продукции: по официальным данным, до 30 % произведенной сельскохозяйственной продукции теряется на этапах хранения, транспортировки и реализации. Для скоропортящейся продукции этот показатель может достигать 45 % [3, 5].

3. Низкая эффективность традиционных логистических моделей в АПК: существующие логистические системы характеризуются высокими затратами, недостаточной гибкостью и неспособностью оперативно реагировать на изменения спроса и предложения [1].

4. Технологический прогресс и появление новых возможностей: развитие технологий искусственного интеллекта, квантовых вычислений открывают принципиально новые возможности для оптимизации логистических процессов в АПК.

Несмотря на активное внедрение цифровых технологий в различные отрасли экономики, агропромышленный комплекс остается одним из наименее цифровизированных секторов [9, 10]. При этом потенциал цифровизации логистики в АПК оценивается экспертами как один из самых высоких среди всех отраслевых направлений.

Таким образом, разработка и внедрение инновационных технологий в цифровую логистику агропромышленного комплекса является актуальной научно-практической задачей, решение которой будет способствовать повышению эффективности отечественного АПК, обеспечению продовольственной безопасности страны и укреплению позиций российских производителей на мировом рынке.

Целью исследования стал анализ текущего состояния архитектуры интегрированных цифровых логистических систем в агропромышленном комплексе и разработка инновационных направлений ее модернизации с учетом современных технологических достижений для повышения эффективности управления потоками сельскохозяйственной продукции.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи**:

1. Провести комплексный анализ текущего состояния архитектуры ИЦЛС в АПК, выявить ее структурные компоненты, функциональные возможности и существующие ограничения.

2. Идентифицировать ключевые проблемы и недостатки существующих ИЦЛС, препятствующие эффективному управлению потоками сельскохозяйственной продукции.

3. Исследовать современные технологические тренды и инновации, применимые для модернизации архитектуры ИЦЛС в контексте специфических требований АПК.

4. Разработать методологию объединения виртуальных моделей и алгоритмов на основе эффективных системных принципов для создания целостной экосистемы цифровой логистики АПК.

5. Предложить практические рекомендации по поэтапному внедрению разработанных инновационных решений и оценить их потенциальную эффективность.

6. Сформировать комплексную стратегию модернизации ИЦЛС в агропромышленном комплексе с учетом текущих технологических возможностей, экономической целесообразности и перспектив развития отрасли.

Материал и методы. Методологической основой исследования является системный подход к анализу и проектированию интегрированных цифровых логистических систем в агропромышленном комплексе. Сбор данных включал изучение пятиуровневой структуры архитектуры современных логистических систем. Для реализации предложенных инноваций был разработан поэтапный подход с учетом текущего уровня технологического развития и приоритетов логистических систем в управлении сельскохозяйственными потоками, включающий краткосрочный (1-2 года), среднесрочный (2-3 года) и долгосрочный (3-5 лет) этапы внедрения.

Результаты исследования и обсуждение

1. Анализ текущего состояния архитектуры ИЦЛС в АПК

В результате исследования установлено, что современная архитектура интегрированных цифровых логистических систем в АПК базируется на пятиуровневой структуре, включающей взаимосвязанные компоненты для управления различными потоками (табл. 1).

Проведенный анализ существующих ИЦЛС в агропромышленном комплексе позволил выявить их ключевые характеристики:

– Существующие системы характеризуются средним уровнем интеграции, обеспечивая взаимодействие между отдельными звеньями логистической цепи, но не формируя единой экосистемы.

– Средний уровень автоматизации логистических процессов в исследуемых системах

составляет 53 %, при этом наблюдается значительная вариативность (от 28 % до 76 %) в зависимости от специализации предприятий и их технологической оснащенности.

– Существующие ИЦЛС преимущественно ориентированы на описательную (78 % систем) и диагностическую (65 % систем) аналитику, в то время как предиктивная и прескриптивная аналитика реализована лишь в 23 % и 12 % систем соответственно.

– Большинство систем (68 %) демонстрируют ограниченную масштабируемость, что затрудняет их адаптацию к растущим объемам данных и расширению логистической сети.

Таблица 1 – Уровни архитектуры ИЦЛС

Уровень	Компоненты	Основные функции
1	Транспортные средства, склады, распределительные центры	Перемещение и хранение продукции
2	Датчики, сенсоры, компьютерное зрение	Сбор данных о состоянии пищевой продукции и логистических объектов
3	Передача данных, шлюзы	Обеспечение коммуникации между компонентами системы
4	Обработка данных, алгоритмы искусственного интеллекта	Анализ данных, прогнозирование, оптимизация
5	Системы планирования, управления мониторинга	Координация и контроль всех логистических процессов

Несмотря на высокий уровень автоматизации и цифровизации АПК, существующая в настоящее время архитектура ИЦЛС имеет ряд недостатков, которые снижают эффективность управления потоками сельскохозяйственной продукции:

– Централизованная обработка данных – создает большую нагрузку на инфраструктуру и приводит к задержкам в принятии решений.

– Ограниченная адаптивность – недостаточная гибкость системы, неспособность к самонастройке в условиях изменяющейся среды.

– Сложность обмена данными – отсутствие полноценного обмена информацией между участниками логистической цепи.

– Ограничения производительности вычислительной мощности – низкая производительность при решении сложных задач на оптимизацию потоков.

– Проблемы прослеживаемости – сложности в обеспечении достоверности на всех этапах логистической цепи.

2. Инновационные направления модернизации архитектуры ИЦЛС

На основе анализа выявленных недостатков существующей архитектуры ИЦЛС и современных инновационных технологий разработаны следующие направления модернизации:

2.1 Использование технологии вычислений нового поколения для оптимизации логистических задач

Одним из наиболее перспективных направлений развития архитектуры ИЦЛС стала интеграция технологии вычислений нового поколения для решения сложных задач логистики.

Преимущества вычислений нового поколения: значительное ускорение решения задач оптимизации; возможность одновременного рассмотрения множества вариантов решения; повышение качества оптимизации мультимодальных маршрутов; эффективное распределение ресурсов в критических условиях.

Для реализации данного направления предлагается гибридная архитектура, сочетающая классические технологии и технологии вычислений нового поколения (рис. 1). Предварительные оценки показывают: внедрение технологии вычислений нового поколения в ИЦЛС может обеспечить снижение логистических затрат на 15-20 % за счет эффективной организации управления потоками сельхозпродукции и грамотного использования ресурсов.



Рисунок 1 – Схема работы гибридной архитектуры ИЦЛС управления потоками сельскохозяйственной продукции

2.2 Распределенное обучение с сохранением приватности данных

Для преодоления барьеров обмена данными между участниками логистической цепи разработана модернизированная архитектура ИЦЛС на основе технологий распределенного обучения (рис. 2).



Рисунок 2 – Архитектура распределенного обучения в ИЦЛС с сохранением приватности данных

Концептуальная схема включает следующие компоненты:

- локальные модели машинного обучения у каждого участника логистической цепи;
- координирующий центр, обеспечивающий агрегирование параметров моделей;
- система защищенного обмена обновлениями моделей;
- механизмы дифференциальной приватности и шифрования.

Распределенное обучение позволяет:

- сохранить конфиденциальность данных каждого участника логистической цепи;
- обучать модели искусственного интеллекта без централизации данных;
- повысить точность прогнозирования на всех элементах логистической цепи;
- создать общую модель, использующую результаты обучения моделей всех участников цепи.

Таблица 2 – Сравнение традиционного подхода и распределенного обучения с сохранением приватности данных в ИЦЛС

Параметр	Традиционный подход	Распределенное обучение с сохранением приватности данных
Конфиденциальность данных	Низкая	Высокая
Объем передаваемых данных	Высокий	Низкий
Нагрузка на сервер	Высокая	Средняя
Устойчивость к атакам	Низкая	Высокая
Возможность использования данных конкурентов	Ограничена	Обеспечена

2.3 Микроэлектронные системы нового типа для локальной аналитики данных

Для повышения энергоэффективности и оперативности аналитической обработки данных разработана концепция внедрения микроэлектронных систем нового типа для локальной аналитики данных в архитектуру ИЦЛС.

Микроэлектронные системы обеспечивают:

- снижение энергопотребления до 1000 раз по сравнению с традиционными процессорами;
- эффективное выполнение задач машинного обучения и компьютерного зрения;
- возможность работы в режиме реального времени при ограниченных ресурсах.

Внедрение микроэлектронных систем нового типа для локальной аналитики данных позволит:

- автоматически распознавать дефекты сельхозпродукции в реальном времени;
- оперативно выявлять отклонения в условиях хранения, транспортировки, переработки;
- прогнозировать изменение качества продукции на всех участках логистической цепи;
- оптимизировать условия хранения, транспортировки, переработки пищевой продукции.

2.4 Интеллектуальная самонастраивающаяся структура системы

Для повышения адаптивности ИЦЛС разработана концепция модернизации управляющего уровня путем внедрения принципов интеллектуальной самонастраивающейся структуры системы, обеспечивающей способность к самоанализу, самообучению и самоадаптации.

Компоненты разработанной системы ИЦЛС:

1. Модуль самомониторинга – непрерывно отслеживает параметры функционирования системы, выявляет аномалии и отклонения от оптимальных режимов.

2. Система метаобучения – анализирует эффективность применяемых алгоритмов и моделей, автоматически подбирает оптимальные параметры и модели машинного обучения.

3. Механизм адаптивного управления ресурсами – динамически перераспределяет вычислительные, сетевые и энергетические ресурсы в зависимости от текущих задач и приоритетов.

4. Подсистема эволюционной оптимизации архитектуры – осуществляет постепенную трансформацию структуры системы, адаптируя ее к изменяющимся условиям функционирования.

Интеллектуальный интерфейс взаимодействия – обеспечивает естественную коммуникацию между системой и пользователями, адаптируясь к их предпочтениям и компетенциям.

Для контроля и повышения точности результатов предлагается использовать методы оркестрации в интеллектуальных системах. Оркестрация позволяет объединить функциональность разных модулей (систем) в единое, согласованное решение, которое может выполнять сложные задачи, требующие интеграции данных, логики и автоматизации.

Данный подход позволит создать систему, способную:

- автоматически выявлять и устранять недостатки в логистических процессах;
- постоянно адаптироваться к изменяющимся условиям без ручного управления и настройки;
- самостоятельно выявлять потенциальные проблемы и вырабатывать решения;
- генерировать и проверять гипотезы по оптимизации логистических процессов.

Таблица 3 – Ожидаемый эффект от внедрения интеллектуальной самонастраивающейся структуры системы архитектуры

Показатель	Текущее состояние	После внедрения	Улучшение
Время адаптации к изменениям	Дни-недели	Минуты-часы	90-95 %
Точность прогнозирования	75-80 %	90-95 %	15-20 %
Автоматизация принятия решений	30-40 %	80-90 %	40-60 %
Снижение операционных затрат	–	25-30 %	25-30 %

3. Объединение виртуальных моделей и алгоритмов на основе эффективных системных принципов

3.1 Цифровые двойники с функциями прогнозирования

Для повышения точности прогнозирования и оптимизации логистических процессов разработана концепция расширения аналитического уровня ИЦЛС за счет внедрения технологий цифровых двойников с функциями прогнозирования (рис. 3).

Разработанная архитектура системы цифровых двойников включает:

- интегрированную среду моделирования – обеспечивает единую платформу для создания, управления и взаимодействия цифровых двойников различных типов;
- цифровые двойники физических объектов
- виртуальные модели транспортных средств,

складов, распределительных центров, отражающие их текущее состояние и прогнозирующие изменения;

– цифровые двойники логистических процессов – модели процессов транспортировки, хранения, переработки, отражающие их динамику и позволяющие оптимизировать параметры;

– цифровые двойники сельскохозяйственных процессов – модели производства, созревания, изменения качества продукции, учитывающие влияние внешних факторов;

– систему прогнозной аналитики – комплекс алгоритмов, обеспечивающих предсказание изменений состояния объектов и процессов на основе исторических данных и текущих параметров.

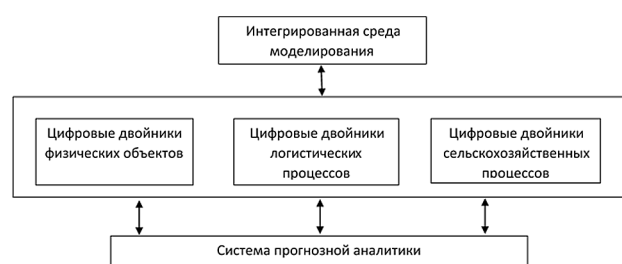


Рисунок 3 – Архитектура системы цифровых двойников в ИЦЛС

Внедрение цифровых двойников обеспечит:

- проведение виртуальных экспериментов с целью оценки эффективности управления логистическими процессами;
- повышение точности прогнозирования изменения качества продукции;
- выявление проблем в работе логистической цепи на раннем этапе;
- оптимизацию режимов транспортировки, хранения, переработки и безопасности.

3.2 Алгоритмы самоорганизации для гибкой перестройки логистической сети

Для повышения адаптивности и устойчивости ИЦЛС предлагается внедрение алгоритмов самоорганизации для гибкой перестройки логистической сети в ответ на внешние воздействия.

Разработанные алгоритмы самоорганизации обеспечивают:

- высокую приспособляемость к изменяющимся условиям внешней среды;
- устойчивость к локальным сбоям и отказам отдельных звеньев логистической цепи;
- способность к самоорганизации при изменении внешних условий без центрального управления;
- эффективное функционирование в условиях неполной информации.

Имитационное моделирование логистической сети с внедренными алгоритмами само-

организации предполагает повышение устойчивости системы к внешним воздействиям на 35-40 % и сокращение времени восстановления нормального функционирования после сбоев в 3,2 раза по сравнению с традиционными централизованными системами управления.

4. Практическая реализация и оценка эффективности предложенных инноваций

Практическая реализация модернизированной ИЦЛС предполагает поэтапный подход с учетом текущего уровня развития технологий и приоритетов логистической системы управления сельскохозяйственными потоками (табл. 4).

Для оценки экономической эффективности предложенных инноваций предполагается комплексная модель, учитывающая как прямые эффекты (снижение логистических затрат, сокращение потерь продукции), так и косвенные (повышение качества продукции, расширение рынков сбыта, снижение экологической нагрузки).

Ожидаемые результаты модернизации ИЦЛС:

- снижение логистических затрат на 30-40 %;
- сокращение потерь сельскохозяйственной продукции на всех участках логистической цепи на 20-25 %;
- увеличение скорости доставки на 20-30 %;
- повышение точности прогнозирования спроса на пищевую продукцию до 90-95 %;
- уменьшение энергопотребления всей логистической системы управления потоками сельскохозяйственной продукции на 40-50 %.

Предложенные инновационные направления модернизации архитектуры ИЦЛС управления потоками сельскохозяйственной продукции должны представлять собой комплексный подход к решению существующих проблем

и ограничений применения в реальном времени. Внедрение новых технологий позволит создать принципиально новую логистическую систему, способную эффективно функционировать в условиях неопределенности и изменяющейся среды.

Нельзя забывать о поэтапной реализации предложенных инноваций, которая обеспечит значительное повышение эффективности логистических процессов, снижение затрат, повышение качества и безопасности доставляемой продукции и, как следствие, повышение конкурентоспособности отечественной сельскохозяйственной продукции на внутреннем и международном рынках.

Выводы. Исследование показало, что современная архитектура интегрированной цифровой логистической системы в АПК имеет пятиуровневую структуру с существенными недостатками: централизованная обработка данных, ограниченная адаптивность, проблемы обмена данными и прослеживаемости.

В процессе исследования разработаны инновационные направления модернизации: использование технологий вычислений нового поколения, распределенное обучение с сохранением приватности данных, микроэлектронные системы для локальной аналитики и интеллектуальная самонастраивающаяся структура. Предложены концептуальные решения по объединению виртуальных моделей и алгоритмов, включая цифровые двойники и алгоритмы самоорганизации. Разработан трехэтапный план внедрения инноваций с конкретными технологическими решениями. Прогнозирование эффективности показывает, что полномасштабное внедрение может снизить логистические затраты на 30-40 %, сократить потери продукции

Таблица 4 – План поэтапного внедрения инновационных технологий

Этап	Период	Технологии	Ожидаемые результаты
Краткосрочный	1-2 года	Микроэлектронные системы нового типа для локальной аналитики данных, цифровые двойники	Снижение энергопотребления на 40-50 %, прослеживаемость продукции на всех этапах логистической цепи, повышение точности прогнозирования на 15-20 %
Среднесрочный	2-3 года	Масштабирование цифровых двойников, объединение виртуальных моделей и алгоритмов на основе эффективных системных принципов, распределенное обучение с сохранением приватности данных	Снижение логистических затрат на 20-25 %, повышение приспособляемости системы к внешним изменениям, улучшение работы моделей с искусственным интеллектом
Долгосрочный	3-5 лет	Интеллектуальная самонастраивающаяся структура системы, технологии вычислений нового поколения для оптимизации логистических задач	Автоматизация управления логистикой на 80-90 %, повышение эффективности оптимизации всего процесса

на 20-25 % и повысить точность прогнозирования до 90-95 %. Для успешной реализации необходимы развитие нормативно-правовой базы, стандартизация протоколов обмена данными и подготовка кадров в области цифровой логистики АПК.

Список источников

1. Булгакова И. Н. Интегральный показатель качества как инструмент управления структурой издержек закупочной логистики // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2023. № 3. С. 14-22.
2. Гавриленко А. А. Развитие инновации в логистике и их влияние на бизнес // Вестник науки. 2023. Т. 4. № 8 (65). С. 21-28.
3. Демкина Д. Д., Тахавеева Е. В. Современный международный рынок и логистика // Логистические системы в глобальной экономике. 2023. № 13. С. 198-200.
4. Круцкий Д. В. Анализ подходов к разработке ключевых показателей эффективности в логистике // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 98-5. С. 175-178.
5. Магамадова М. И., Кизимиров М. В. Актуальные проблемы в логистике // Наука и образование транспорта. 2022. № 1. С. 233-234.
6. Максимова Е. И. Российская логистика в разные периоды и ее кадровое обеспечение // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2023. № 1. С. 14-17.
7. Наумова Д. В. Логистика адаптируется к новым условиям // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 6. С. 2.
8. Рахматуллина А. Р., Веселова Ю. В., Додорина И. В. Цифровизация и современные тенденции в логистике финансовых потоков // Экономика и предпринимательство. 2022. № 3 (140). С. 1267-1270.
9. Johnson M., Smith K. Neuromorphic Computing in Agricultural Supply Chains. Journal of Digital Agriculture. 2022; 5: 112-128.

10. Zhang L., Wong T. Bioinspired Algorithms for Logistics Network Reconfiguration. International Journal of Logistics Management. 2023; 34: 78-93.

References

1. Bulgakova I. N. Integral`ny`j pokazatel` kachestva kak instrument upravleniya strukturoj izderzhkek zakupchoj logistiki // RISK: Resursy, Informaciya, Snabzhenie, Konkurenciya. 2023. № 3. S. 14-22.
2. Gavrilenko A. A. Razvitie innovacii v logistike i ix vliyanie na biznes // Vestnik nauki. 2023. T. 4. № 8 (65). S. 21-28.
3. Demkina D. D., Taxaveeva E. V. Sovremenny`j mezhdunarodny`j ry`nok i logistika // Logisticheskie sistemy` v global`noj e`konome. 2023. № 13. S. 198-200.
4. Kruckij D. V. Analiz podxodov k razrabotke klyuchevy`x pokazatelej e`ffektivnosti v logistike // Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2023. № 98-5. S. 175-178.
5. Magamadova M. I., Kizimirov M. V. Aktual`ny`e problemy` v logistike // Nauka i obrazovanie transportu. 2022. № 1. S. 233-234.
6. Maksimova E. I. Rossijskaya logistika v razny`e periody` i ee kadrovoe obespechenie // RISK: Resursy, Informaciya, Snabzhenie, Konkurenciya. 2023. № 1. S. 14-17.
7. Naumova D. V. Logistika adaptiruetsya k novy`m usloviyam // Avtomatika, svyaz, informatika. 2023. № 6. S. 2.
8. Raxmatullina A. R., Veselova Yu. V., Dodorina I. V. Cifrovizaciya i sovremenny`e tendencii v logistike finansovy`x potokov // E`konomika i predprinimatel`stvo. 2022. № 3 (140). S. 1267-1270.
9. Johnson M., Smith K. Neuromorphic Computing in Agricultural Supply Chains. Journal of Digital Agriculture. 2022; 5: 112-128.
10. Zhang L., Wong T. Bioinspired Algorithms for Logistics Network Reconfiguration. International Journal of Logistics Management. 2023; 34: 78-93.

Сведения об авторах:

Р. Р. Гадлгареева^{1✉}, кандидат технических наук, <https://orcid.org/0009-0008-3476-6799>;

Т. С. Копысова², кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-0132-6718>;

А. Г. Кудряшова³, кандидат технических наук, <https://orcid.org/0000-0002-2604-9174>;

Н. Ф. Свинцова⁴, кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0009-0006-3332-613X>

^{1,4}УдГУ, 426034, Россия, Ижевск, ул. Университетская, 1

²Удмуртский ГАУ, 426069, Россия, Ижевск, ул. Студенческая, 11

³ООО «Якомпания», 426039, Россия, Ижевск, ул. Дзержинского, 71а

[✉]grr09@yandex.ru

Original article

IMPROVING TECHNOLOGIES IN DIGITAL LOGISTICS OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX: FROM SECURITY ASSURANCE TO MODERN MANAGEMENT METHODS

Rufiya R. Gadlgareeva^{1✉}, Tatyana S. Kopysova², Anastasia G. Kudryashova³, Nina F. Svintsova⁴^{1,4}Udmurt State University, Izhevsk, Russia²Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia³OOO Yacompaniya, Izhevsk, Russia¹grr09@yandex.ru

Abstract. The agro-industrial complex in Russia faces the necessity of fundamental transformation of logistics processes. The research relevance is determined by increasing requirements for the quality of agricultural products, significant losses of agricultural products (up to 30 %), low efficiency of traditional logistics models, and the emergence of new technological opportunities. The aim of the research is to analyze the current state of the architecture of integrated digital logistics systems (IDLS) in the agro-industrial complex and to develop innovative directions for its modernization considering modern technological achievements. The methodological basis of the research is a systematic approach to the analysis and design of IDLS. A complex of complementary methods was applied, including analysis of functional capabilities of existing systems, experimental evaluation of indicators, and simulation modeling. A phased approach to innovation implementation with short-term, medium-term, and long-term stages has been developed. It has been established that the modern architecture of IDLS has a five-level structure with a number of shortcomings. Innovative directions for modernization have been developed: the use of next-generation computing technologies, distributed learning with data privacy preservation, microelectronic systems for local analytics, and an intelligent self-adjusting system structure. Full-scale implementation of the proposed innovations can provide a reduction in logistics costs by 30-40 %, a reduction in product losses by 20-25 %, and an increase in forecasting accuracy to 90-95 %.

Key words: digital logistics, agro-industrial complex, integrated systems, quantum computing, distributed learning, digital twins, data privacy, self-organization, product traceability, energy efficiency.

For citation: Gadlgareeva R. R., Kopysova T. S., Kudryashova A. G., Svintsova N. F. Improving technologies in digital logistics of the agro-industrial complex: from security assurance to modern management methods. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2025; 3 (83): 136-143. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_3_136-143.

Authors:

R. R. Gadlgareeva^{1✉}, Candidate of Technical Sciences, <https://orcid.org/0009-0008-3476-6799>;

T. S. Kopysova², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-0132-6718>;

A. G. Kudryashova³, Candidate of Technical Sciences, <https://orcid.org/0000-0002-2604-9174>;

N. F. Svintsova⁴, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0009-0006-3332-613X>

^{1,4}Udmurt State University, 1 Universitetskaya St., Izhevsk, Russia, 426034

²Udmurt State Agricultural University, 11 Studencheskaya St., Izhevsk, Russia, 426069

³OOO Yacompaniya, 71a Dzerzhinskogo St., Izhevsk, Russia, 426039

²grr09@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare that they have no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 20.05.2025; одобрена после рецензирования 21.07.2025; принята к публикации 04.09.2025.

The article was submitted 20.05.2025; approved after reviewing 21.07.2025; accepted for publication 04.09.2025.