

Международный научно-исследовательский журнал

«Прогрессивная экономика»

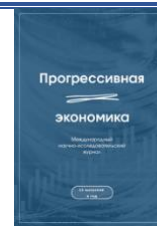
№ 7 / 2025 https://progressive-economy.ru/vypusk_1/vliyanie-czifrovyh-tehnologij-na-razvitie-transportno-skladskoj-infrastruktury-predpriyatij-himicheskoy-promyshlennosti/

Научная статья / Original article

Шифр научной специальности ВАК: 5.2.3

УДК 658.5

DOI: 10.54861/27131211_2025_7_51



ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Смирнова Е.А., доктор экономических наук, профессор кафедры логистики и управления цепями поставок, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Касько И.М., студент, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Рубцов А.М., студент, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме модернизации транспортно-складской инфраструктуры (ТСИ) предприятий химической промышленности в условиях цифровизации экономики. Ввиду специфики отрасли, связанной с обращением опасных грузов и требованиями безопасности, эффективность ТСИ выступает критическим фактором конкурентоспособности и устойчивости. Цель исследования заключается в комплексном анализе влияния современных цифровых технологий на развитие ТСИ предприятий химической промышленности, выявлении ключевых преимуществ и рисков их внедрения, а также разработке методологии адаптации данных технологий с учетом отраслевой специфики и нормативных требований. Методологическую основу составляют системный анализ, методы классификации, сравнительного анализа и обобщения. В результате исследования определены ключевые направления трансформации ТСИ под воздействием цифровых решений (RFID, IoT, WMS, TMS, аналитика данных), систематизированы специфические требования к ТСИ при работе с опасными грузами (ДОПОГ, ГОСТ 3885-73), предложена поэтапная методология внедрения с акцентом на управление рисками и оценку эффективности. Научная новизна заключается в разработке комплексного подхода к цифровизации ТСИ химической отрасли, интегрирующего технологические аспекты, требования безопасности и управление рисками. Практическая значимость исследования состоит в предоставлении предприятиям химической промышленности научно обоснованных рекомендаций по повышению эффективности и безопасности логистических операций на основе внедрения цифровых технологий.

Ключевые слова: логистическая инфраструктура, транспортно-складская инфраструктура, химическая промышленность, управление запасами, цифровые

технологии, опасные грузы, система управления складом (WMS), система управления транспортом (TMS).

THE IMPACT OF DIGITAL TECHNOLOGIES ON THE DEVELOPMENT OF TRANSPORT AND WAREHOUSE INFRASTRUCTURE IN THE CHEMICAL INDUSTRY

Smirnova E.A., Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Logistics and Supply Chain Management, St. Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg, Russia

Kasko I.M., Student, St. Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg, Russia

Rubtsov A.M., Student, St. Petersburg State University of Economics, Saint-Petersburg, Russia

Abstract. The article is devoted to the actual problem of modernization of transport and warehouse infrastructure (TWI) of chemical industry enterprises in the context of digitalization of the economy. Due to the specifics of the industry, which is associated with the handling of hazardous cargo and strict safety requirements, the efficiency of TWI is a critical factor of competitiveness and sustainability. The purpose of the study is to comprehensively analyze the impact of modern digital technologies on the development of TWI of chemical enterprises, identify the key advantages and risks of their implementation, and develop a methodology for adapting these technologies taking into account the industry specifics and regulatory requirements. The methodological basis is based on system analysis, classification methods, comparative analysis, and generalization. As a result of the study, the key areas of transformation of TWI under the influence of digital solutions (RFID, IoT, WMS, TMS, data analytics) have been identified, specific requirements for TWI when working with dangerous goods (ADR, GOST 3885-73) have focus on risk management and performance evaluation. The scientific novelty of the study lies in the development of a comprehensive approach to the digitalization of the chemical industry's logistics operations, which integrates technological aspects, safety requirements, and risk management. The practical significance of the study lies in providing scientific recommendations to chemical industry enterprises to improve the efficiency and safety of their logistics operations through the implementation of digital technologies.

Keywords: logistics infrastructure, transport and warehouse infrastructure, chemical industry, inventory management, digital technologies, dangerous goods, Warehouse Management System (WMS), Transportation Management System (TMS).

JEL classification: L64, O39, Q59, Z31.

Для цитирования: Смирнова Е.А., Касько И.М., Рубцов А.М. Влияние цифровых технологий на развитие транспортно-складской инфраструктуры предприятий химической промышленности // Прогрессивная экономика. 2025. № 7. С. 51–64. DOI: 10.54861/27131211_2025_7_51.

Статья поступила в редакцию: 09.07.2025 г. Одобрена после рецензирования: 16.07.2025 г. Принята к публикации: 17.07.2025 г.

For citation: Smirnova E.A., Kasko I.M., Rubtsov A.M. The impact of digital technologies on the development of transport and warehouse infrastructure in the chemical industry // Progressive Economy. 2025. No. 7. pp. 51–64. DOI: 10.54861/27131211_2025_7_51.

The article was submitted to the editorial office: 09/07/2025. Approved after review: 16/07/2025. Accepted for publication: 17/07/2025.

Введение

Динамичное развитие химической промышленности (с 2017 года инвестиции в цифровизацию отрасли повысились в 3,38 раза и в 2022 году достигли 4,1 млрд руб., более 50% этой суммы составили расходы на цифровую трансформацию фармацевтических и биотехнологических компаний, 27,7% или 1,6 млрд руб. затратили производители удобрений [3]), характеризующееся ростом объемов производства, усложнением ассортимента и глобализацией цепей поставок, предъявляет повышенные требования к эффективности и надежности логистической инфраструктуры, в особенности ее ключевого элемента – транспортно-складской инфраструктуры (далее – ТСИ).

Обращение с опасными грузами, регламентируемое международными и национальными стандартами [1; 2], многократно увеличивает значимость безопасности, точности контроля и управляемости процессов транспортировки и хранения. Одновременно с этим, цифровая трансформация экономики предлагает принципиально новые инструменты для оптимизации логистики. Недостаточная изученность специфики адаптации и эффективности этих инструментов именно для ТСИ предприятий химической промышленности, с учетом присущих ей высоких рисков и нормативных ограничений, определяет актуальность настоящего исследования.

Целью исследования является разработка научно обоснованного подхода к внедрению цифровых технологий в транспортно-складскую инфраструктуру предприятий химической промышленности для повышения ее эффективности, безопасности и соответствия нормативным требованиям. Объектом исследования являются процессы функционирования и развития ТСИ предприятий химической промышленности. Предметом исследования является влияние цифровых технологий на повышение эффективности, безопасности и соответствия нормативным требованиям ТСИ предприятий химической промышленности.

Обзор литературы

Вопросам развития транспортно-складской инфраструктуры предприятий химической промышленности посвящены работы многих

специалистов. В контексте цифровой трансформации К. Архипова выявила императивность внедрения IoT и ИИ для минимизации рисков при транспортировке опасных грузов [3]. А. Козловский рассмотрел в рамках цифровых технологий в химической промышленности о пяти основных технологических тенденциях: гиперсвязность, суперкомпьютерные вычисления, более умный мир, кибербезопасность [4]. П.В. Метелкин и А.Б. Фильчиков в своей статье рассмотрели роль цифровых технологий в интеграции и развитии транспортно-логистической инфраструктуре [5].

О. Дунаев в своей работе рассматривает пути развития сетевого взаимодействия на основе проекта «Управление интегрирования цепями поставок индустрии 4.0» и как модернизация инфраструктуры направлена на улучшение управления цепями поставок [6]. Многие специалисты, например, [7] описывают цифровые технологии как одно из ключевых направлений изменения бизнес-модели в химической промышленности, которая обозначена ключевой отраслью экономики с высокой инвестиционной емкостью и требованиями к научному и инженерному обеспечению. М.Н. Бондарева в своей статье рассуждает о фармацевтической логистике и о GPD (Good Distribution Practice), являющимся стандартом для оценки и управления рисками в логистике фармацевтических препаратов [8].

Анализ научных источников показал, что цифровизация ТСИ является стратегическим приоритетом для химической отрасли, в которой применяются доминирующие технологические решения, однако, в настоящее время отмечается недостаток работ, комплексно рассматривающих взаимосвязь специфических требований химической продукции, применимости различных управленческих моделей и функциональных возможностей цифровых технологий именно в химической специфике. Требуется более глубокое обоснование адаптации классических моделей к условиям химической дистрибуции с ее высокими рисками и регуляторной нагрузкой.

Вклад настоящего исследования заключается в развитии теоретических и прикладных аспектов совершенствования ТСИ за счет внедрения современных моделей, методов и технологий путем систематизации и критического анализа методологических подходов с позиции их применимости и эффективности в специфических условиях химической промышленности.

Материалы и методы

Методологическую основу исследования составляют методы системного анализа (для рассмотрения ТСИ как части логистической инфраструктуры и цепи поставок), содержательной интерпретации (технологий, рисков, требований), сравнительного анализа (эффективности и рисков различных технологий), обобщения (внедрение, требований нормативных документов), анализа литературных источников и нормативно-технической документации.

Сущность и содержание логистической инфраструктуры

Инфраструктура является фундаментальным элементом логистической системы. Как отмечают Д.Дж. Бауэрсокс и Д.Дж. Клосс, «инфраструктура образует каркас, на котором строится система логистики и ее работа». Исследователи определяют логистическую инфраструктуру как «сеть взаимосвязанных объектов информационной и транспортной системы, необходимых для выполнения таких логистических функций, как обработка заказов клиентов, управление транспортировкой и запасами» [9, с. 48].

А.В. Дмитриев под логистической инфраструктурой рассматривает «комплексную инженерно-экономическую систему, во всех звеньях которой на основе эффективного использования транспортных средств, перегрузочного и складского оборудования, а также информационных технологий обеспечивается максимально возможная скоростная сохраняемая доставка груза от грузоотправителя грузополучателю» [10, с. 15].

Таким образом обеспечивается осуществление всех логистических функций: транспортировка, складирование, грузопереработка, управление запасами, информационно-финансовое сопровождение. Логистическая инфраструктура формирует материально-техническую и организационную базу для реализации логистической стратегии предприятия. Основные элементы логистической инфраструктуры представлены на рисунке 1.

| Подсистемы логистической инфраструктуры | Элементный состав логистической инфраструктуры |
|---|--|
| Транспортная инфраструктура | Сети путей сообщения (автомобильные, железнодорожные, водные, воздушные), транспортные узлы и терминалы, подвижной состав, системы управления транспортными потоками |
| Складская инфраструктура | Складские комплексы различного типа (распределительные центры, терминалы, специализированные склады), зоны хранения, системы грузопереработки (оборудование для погрузки/разгрузки, внутрискладского перемещения), системы складской логистики |
| Информационно-коммуникационная инфраструктура | Телекоммуникационные сети, аппаратно-программные комплексы для сбора, обработки, хранения и передачи информации (ERP, WMS, TMS), системы автоматической идентификации |
| Финансовая инфраструктура | Системы расчетов за логистические услуги, механизмы страхования грузов и ответственности, таможенно-банковские сервисы |
| Кадровая инфраструктура | Персонал, обладающий необходимой квалификацией и допусками, учебные и сертификационные центры |

Рис. 1. Основные элементы логистической инфраструктуры

Источник: составлено авторами по данным [11; 12; 13; 14; 15]

В рамках логистической инфраструктуры целесообразно выделять ряд ключевых подсистем, каждая из которых выполняет специфические функции и обеспечивает устойчивость и эффективность логистических процессов. К

числу таких подсистем относится, во-первых, транспортная инфраструктура, включающая сети путей сообщения различных типов – автомобильные, железнодорожные, водные и воздушные, а также транспортные узлы, терминалы, подвижной состав и системы управления транспортными потоками [11]. Во-вторых, важное значение имеет складская инфраструктура, представленная многофункциональными складскими комплексами (в том числе распределительными центрами, терминалами и специализированными складами), зонами хранения, системами грузопереработки, включающими оборудование для погрузочно-разгрузочных операций и внутрискладского перемещения, а также средствами управления складской логистикой [12].

Третью подсистему составляет информационно-коммуникационная инфраструктура, в которую входят телекоммуникационные сети и аппаратно-программные комплексы, предназначенные для сбора, обработки, хранения и передачи информации. К ним относятся такие системы, как ERP, WMS и TMS, а также средства автоматической идентификации, обеспечивающие цифровизацию и интеграцию логистических операций [11; 12; 13]. Четвёртым элементом является финансовая инфраструктура, включающая в себя механизмы расчётов за логистические услуги, инструменты страхования грузов и ответственности, а также таможенно-банковские сервисы, сопровождающие внешнеэкономическую деятельность [14]. Наконец, пятая подсистема – это кадровая инфраструктура, которая охватывает профессиональные ресурсы, включающие квалифицированный персонал, обладающий соответствующими компетенциями и допусками, а также учебные и сертификационные центры, обеспечивающие подготовку и повышение квалификации специалистов логистической отрасли [15].

ТСИ является материально-техническим ядром логистической инфраструктуры, непосредственно реализующим функции пространственного и временного перемещения материальных потоков. Именно ТСИ обеспечивает консолидацию, хранение, сортировку, комплектацию и доставку грузов, формируя основу для создания потребительской ценности в нужном месте и в нужное время. Другим словом, выполняя все правила логистики [16]. Для химической промышленности, с ее спецификой продукции и высокими требованиями к безопасности, эффективность и надежность ТСИ приобретают критическое значение, непосредственно влияя на экологическую безопасность, издержки и репутацию предприятия.

Специфика химической промышленности, роль цифровых технологий и управления запасами

Деятельность ТСИ предприятий химической промышленности характеризуется рядом отличительных черт, обусловленных свойствами грузов:

– работа с опасными веществами: необходимость строгого соблюдения требований к перевозке [1] и хранению (классификация по степени опасности и совместимости) [2];

- особые условия хранения: требования к температурно-влажностным режимам, световому воздействию, вентиляции, изолированности зон хранения для несовместимых грузов;
- повышенные требования к безопасности: обязательность систем противопожарной защиты, обнаружения утечек, обеззараживания, а также средств индивидуальной и коллективной защиты персонала;
- учет и контроль: необходимость тщательного отслеживания сроков годности (реализация принципов FIFO и LIFO), партийности, соблюдения правил отбора проб и приемки;
- высокая стоимость последствий ошибок: потенциально катастрофические риски экологического ущерба, ущерба здоровью персонала и населения [17], значительные финансовые потери (штрафы, упущенная выгода, репутационные риски);
- сложность управления запасами: необходимость балансировать между минимизацией замороженного капитала, обеспечением непрерывности производства (особенно для ключевых реактивов), соблюдением норм хранения и утилизацией просроченных/кондиционных опасных материалов. Высокие риски связаны как с излишками (порча, затраты на хранение, утилизацию), так и с нехваткой (остановка производства).

Также Приказом Минтруда России № 834н «Об утверждении Правил по охране труда при использовании отдельных видов химических веществ и материалов, при химической чистке, стирке, обеззараживании и дезактивации» представлен исчерпывающий перечень требований, предъявляемых к охране труда при хранении химических веществ [18].

Анализ существующих цифровых технологий для ТСИ

Далее разберем и проанализируем современные технологии и методы, подходящие для оптимизации ТСИ предприятий химической промышленности. Начнем с технологии автоматической идентификации и сбора данных (RFID и штриховое кодирование). Сущность и применение данной технологии заключается в автоматизации процессов учета грузов на всех этапах, отслеживание перемещений в реальном времени, контроль доступа в зоны хранения опасных веществ, идентификация оборудования и тары [19]. Преимуществом данной технологии является существенное повышение точности учета, скорости операций, снижение влияния человеческого фактора, возможность интеграции с другими системами. Однако из ограничений и рисков можно выделить стоимость RFID-меток и инфраструктуры, потенциальное влияние электромагнитных полей меток/считывателей на некоторые химические вещества (требует проверки), необходимость защиты данных от несанкционированного доступа.

Интернет вещей (IoT) и сенсорные сети [20]. Данная технология применяется в развертывании сетей датчиков для непрерывного мониторинга критических параметров: температуры, влажности, давления внутри тары, наличия утечек газов/жидкостей, вибрации, местоположения грузов и

транспорта. Преимущество состоит в возможности предиктивного обслуживания оборудования, оперативном выявлении аномалий и предупреждении аварийных ситуаций, а также обеспечение документированного соблюдения условий хранения/перевозки. Ограничениями и рисками являются значительные капитальные затраты на развертывание сети и ее обслуживание, проблемы с энергоснабжением датчиков, вопросы кибербезопасности и защиты передаваемых данных, сложность интеграции гетерогенных систем.

Теперь перейдем к самым прогрессивным системам. Система управления складом – Warehouse Management System (WMS). Данная система применяется для автоматизации и оптимизации всех складских процессов: приемки, размещения (с учетом совместимости и условий хранения), отбора, инвентаризации и отгрузки [12]. Ключевое для химии: управление зонами хранения по классам опасности, контроль лицензии и допусков персонала к работе с определенными веществами, управление просроченными запасами. Нельзя не отметить преимущества системы: максимальная оптимизация использования складского пространства, минимизация ошибок при работе и комплектации, повышение скорости обработки заказов, повышение общей прозрачности складских операций, оптимизация управления запасами (при совмещении с ABC и XYZ анализом, контроль минимально-максимальных уровней, планирование пополнения). Ограничением выступает высокая стоимость внедрения и адаптации под специфику химического склада и сложность интеграции с ERP-системой и системами автоматизации производства.

Второй прогрессивной системой является система управления транспортом – Transportation Management System (TMS). Данная система применяется для планирования и оптимизации маршрутов перевозки грузов, осуществлением мониторинга местоположения и состояния транспортного средства/груза в реальном времени, управление автопарком, электронный документооборот [11; 21] (особенно актуально для сопроводительной документации). Преимущество заключается в снижении транспортных издержек (оптимизация пробега, расхода топлива), повышении точности сроков доставки, обеспечении соблюдения нормативных требований к перевозке, а также повышение безопасности перевозок. Однако данная система ограничена зависимостью от качества покрытия сотовой связи/GPS, в необходимости интеграции с данными ДОПОГ и WMS, также возможны риски кибератак.

Также стоит рассмотреть аналитику больших данных и искусственный интеллект (ИИ). Сущность и применение технологии: прогнозирование спроса и оптимизация уровней запасов химических веществ (особенно скоропортящихся и требующих особых условий, как ЛВЖ (легковоспламеняющиеся жидкости и растворители)), предиктивная аналитика отказов оборудования, анализ рисков логистических операций, выявление скрытых закономерностей и аномалий в процессах ТСИ.

Преимущество состоит в повышении обоснованности управленческих решений, снижении затрат на хранение избыточных запасов, минимизации рисков простоев и аварий. Ограничением является требование наличия больших объемов качественных исторических данных, высокая стоимость внедрения и эксплуатации платформ аналитики, нехватка квалифицированных кадров и сложность интерпретации результатов моделей ИИ.

Внедрение цифровых технологий в ТСИ химической промышленности

Представим поэтапную схему внедрения цифровых технологий в ТСИ химической промышленности, состоящую из 6 этапов.

Этап 1: предпроектный анализ и стратегическое планирование. Проведение детального SWOT-анализа, который позволяет выявить слабые и сильные стороны, возможности и угрозы [22] текущего состояния ТСИ и логистических процессов предприятия для выявления «узких мест» и точек приложения цифровых решений. Комплексный аудит соответствия ТСИ требованиям ДОПОГ, ГОСТ 3885-73 и других нормативных актов. Формулировка четких, измеримых целей внедрения (например, снижение времени обработки груза на складе, сокращение случаев нарушения температурного режима, уменьшение затрат на перевозки и повышение точности учета). Выбор приоритетных технологий для пилотного внедрения на основе анализа целей, специфики грузопоток и экономической целесообразности. Часто начинают с WMS для критичных складов или RFID для отслеживания опасных веществ. Разработка технического задания, включающего специфические требования химической отрасли и интеграционные аспекты.

Этап 2: комплексная оценка и управление рисками. Данный этап включает в себя идентификацию и анализ полного спектра рисков [23], связанных как внедрением технологий (технические сбои, превышение бюджета, сопротивление персонала, неполная интеграция), так и с эксплуатацией ТСИ для опасных грузов (риски утечек, пожаров, взрывов, нарушений регламентов, экологического ущерба, штрафных санкций). Оценка вероятности и потенциального воздействия выявленных рисков. Разработка и планирование мероприятий по минимизации, передаче или принятию каждого значимого риска (технические решения, организационные меры, страхование, резервирование).

Этап 3: выбор решений, адаптация и интеграция. Данный этап подразумевает выбор поставщиков технологических решений (вендоров), обладающих подтвержденным опытом успешной реализации проектов в химической промышленности или смежных отраслях с высокими требованиями к безопасности. Глубокая адаптация программного обеспечения (особенно WMS и TMS) под специфические требования к работе с химической продукцией (классы опасности, совместимость, особые условия хранения и

др.). Обеспечение интеграции новых цифровых систем между собой и с существующими корпоративными системами, например, с ERP-системой.

Этап 4: подготовка инфраструктуры и персонала. Осуществляется проведение необходимой модернизации физической инфраструктуры (склады, погрузочные площадки, транспорт) для поддержки работы новых технологий (например, установка сенсоров, точек доступа Wi-Fi, RFID). Далее идет разработка и реализация программы обучения персонала, охватывающей как работу с новым ПО и оборудованием, так и усиление знаний по безопасности при обращении с опасными грузами в условиях цифровизации.

Этап 5: пилотная эксплуатация и тестирование. Ограниченный запуск выбранных технологий на одном участке склада, для определенной номенклатуры грузов или на одном маршруте. Тщательное тестирование на предмет соответствия функциональным требованиям, достижения целевых показателей и, что критично, полного соблюдения требований безопасности и нормативных регламентов. Сбор обратной связи, анализ результатов, внесение необходимых корректировок в настройки и процессы.

Этап 6: полномасштабное внедрение, мониторинг и непрерывное совершенствование. Финальный этап состоит из поэтапного или комплексного запуска системы на всей целевой области ТСИ. Постоянный мониторинг ключевых показателей эффективности (KPI) и показателей безопасности. Непрерывный мониторинг реализованных рисков и возникновения новых рисков. А также регулярный анализ результатов, извлечение уроков и внедрение улучшений.

Представим поэтапное внедрение цифровых технологий в ТСИ для наглядности в виде схемы на рис. 2. Предложенная схема обеспечивает системный подход к цифровизации ТСИ предприятий химической промышленности.



Рис. 2. Этапы внедрения цифровых технологий в ТСИ

Источник: составлено авторами

Внедрение цифровых технологий в транспортно-складскую инфраструктуру (ТСИ) предприятий химической промышленности открывает

возможности для повышения эффективности логистических процессов. Одним из ключевых эффектов цифровизации является повышение уровня безопасности, что достигается за счёт автоматизированного контроля параметров внешней среды и состояния грузов с использованием технологий Интернета вещей (IoT), своевременного выявления отклонений, предотвращения ошибок при размещении химически несовместимых веществ с помощью WMS-систем, а также за счёт более строгого соблюдения правил транспортировки опасных грузов.

Кроме того, цифровые решения способствуют снижению логистических рисков за счёт формирования системы управления рисками, основанной на данных мониторинга и прогнозной аналитике. Автоматизация контроля за соблюдением регламентов позволяет оперативно реагировать на внештатные ситуации, повышая точность и скорость принимаемых решений. Преимуществом цифровизации является также рост операционной эффективности, проявляющийся в оптимизации использования складских мощностей и транспортных ресурсов, сокращении холостых пробегов и простоев, снижении потерь, связанных с порчей или просрочкой продукции, а также в автоматизации рутинных операций, таких как учёт и обработка грузов.

Цифровая трансформация усиливает управляемость и прозрачность логистических процессов за счёт формирования единого информационного пространства для управления ТСИ, предоставления онлайн-доступа к актуальной информации о местоположении, состоянии и характеристиках грузов, а также создания доказательной базы, подтверждающей соблюдение нормативных требований. В совокупности все описанные эффекты создают условия для более обоснованного принятия стратегических и оперативных управленческих решений. Наконец, одним из ключевых результатов цифровизации становится снижение совокупных логистических издержек, обусловленное оптимизацией запасов, уменьшением потерь продукции, сокращением затрат на транспортировку, снижением штрафов за нарушения регламентов и ростом производительности труда.

Заключение

В процессе исследования было выявлено, что транспортно-складская инфраструктура представляет собой критически важный элемент логистической системы предприятий химической промышленности, эффективность и безопасность функционирования которой напрямую определяют конкурентоспособность и устойчивость бизнеса. Специфика отрасли, обусловленная обращением опасных грузов и необходимостью строгого соблюдения комплексных нормативных требований, предъявляет исключительно высокие требования к организации ТСИ.

Современные цифровые технологии (RFID, IoT, WMS, TMS, аналитика больших данных и ИИ) обладают значительным трансформационным потенциалом для ТСИ предприятий химической промышленности. Они способны кардинально повысить точность учета, прозрачность процессов, скорость операций, обеспечить непрерывный контроль за условиями хранения

и перевозки опасных веществ, автоматизировать соблюдение регламентов и существенно снизить влияние человеческого фактора – ключевого источников рисков.

Однако, было установлено, что внедрение данных технологий в контексте химической промышленности сопряжено со значительными сложностями: высокими капитальными затратами, необходимостью глубокой адаптации решений под отраслевую специфику и нормативные рамки, рисками кибербезопасности, потребностью в квалифицированных кадрах и преодолением сопротивления изменениям.

Предложенная в исследовании методология поэтапного внедрения, основанная на тщательном предпроектном анализе, комплексном управлении рисками (как проектно-внедренческими, так и операционными), глубокой адаптации технологий и активной подготовке персонала, позволяет системно подойти к процессу цифровизации ТСИ. Ключевым элементом успеха является интеграция вопросов безопасности и нормативного соответствия на каждом этапе внедрения.

Ожидаемый синергический эффект от внедрения включает не только повышение операционной эффективности и снижение издержек, но, что наиболее важно для химической отрасли, – качественное повышение уровня безопасности, минимизацию экологических и репутационных рисков, а также формирование основы для устойчивого развития в условиях ужесточения регуляторных требований и роста конкуренции.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: разработка стандартизированных отраслевых моделей интеграции цифровых платформ, углубленный анализ отраслевой специфики, исследование влияния технологий распределенных реестров (блокчейн) на повышение доверия и прозрачности в цепях поставок химической продукции и моделирование устойчивости цифровой ТСИ к киберугрозам.

Литература

1. Европейское соглашение о международной перевозке опасных грузов (ДОПОГ). Том 1: Действует с 1 января 2019 года. URL: https://rosavtotransport.ru/netcat_files/15/54/20190101_ADR_2019_voll_R.pdf.
2. Реактивы и особо чистые вещества : ГОСТ 3885-73. Правила приемки, отбор проб, фасовка, упаковка, маркировка, транспортирование и хранение. Требования : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 23.11.73 N 2567 : Дата введения 1975-01-01. URL: <https://gluvexlab.com/uploads/storage/GOSTi/gost388573.pdf?ysclid=m9oa062klh220843969>.
3. Архипова К. Цифровая трансформация химической отрасли в России // Деловой профиль. 2023. URL: <https://delprof.ru/press-center/experts-pubs/tsifrovaya-transformatsiya-khimicheskoy-otrasli-v-rossii/>.

4. Козловский А. Технологические тенденции химической промышленности // Промышленная аналитика. 2022. URL: <https://andreyex.ru/stati-partnerov/tehnologii/tehnologicheskie-tendentsii-v-himicheskoy-promyshlennosti-chto-vazhno/>.
5. Метелкин П.В., Фильчиков А.Б. Роль цифровых технологий в интеграции и развитии транспортно-логистической инфраструктуры // Региональная и отраслевая экономика. 2024. № 3. С. 78–83.
6. Дунаев О. Основа инноваций в логистике химпромышленности / Экспертная записка РЖД-Партнер. 2020. URL: <https://www.rzd-partner.ru/logistics/opinions/osnova-innovatsiy-v-logistike-khimpromyshlennosti-v-tsifrovoy-transformatsii-predpriyatii/>.
7. Химическая промышленность: цифровые возможности для традиционной отрасли // МНИАП. 2019. URL: <https://xn--80aplem.xn--p1ai/analytics/Himiceskaa-promyslennost-cifrovye-vozmozhnosti-dla-tradicionnoj-otrasli/>.
8. Бондарева М.Н. Оценка и управление рисками в логистике фармацевтических препаратов: методы и инструменты // Актуальные исследования. 2023. С. 10–16.
9. Бауэрсокс Д.Дж., Клосс Д.Дж. Логистика. Интегрированная цепь поставок. М.: Изд. ЗАО «ОЛИМП-БИЗНЕС», 2001. 644 с.
10. Дмитриев А.В. Логистическая инфраструктура : Учебное пособие. СПб. : Изд-во СПбГУЭФ, 2012. 65 с.
11. Алхимова Д.С., Салпагаров С.И. О программных средствах реализации доставки товаров // Современные наукоемкие технологии. 2023. С. 9–16.
12. Kalinowski M. Pinguark Warehouse Management System (WMS): Moving from process-based to activity-oriented management / Mateusz Kalinowski, Marek Hering, Adam Brejtfus, Tomasz Bernal, Agata Fenska-Romp, Paweł Weichbroth – Procedia Computer Science. 2024. Vol. 246. P. 4741–4750.
13. Арский А. А. Имитационные модели процессов логистики в ERP системах // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16. № 5. URL: <https://esj.today/PDF/30FAVN524.pdf>.
14. Кулаговская Т.А. Управление финансовыми потоками с позиций финансовой логистики и финансового менеджмента // Вестник Северо-Кавказского федерального университета, 2013. № 6. С. 260–263.
15. Готман И.В., Гаспарович Е.О. Система логистики персонала: понятие и применение на предприятиях // Актуальные проблемы социогуманитарного образования. 2021. С. 349–355.
16. Щербаков В.В. Цифровая логистика : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Юрайт, 2024. 573 с.
17. Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об отходах производства и потребления» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024) // Собрание законодательства Российской Федерации. 1998. № 26. Ст. 3009.

18. Приказ Минтруда России от 27 ноября 2020 г. № 834н «Об утверждении Правил по охране труда при использовании отдельных видов химических веществ и материалов, при химической чистке, стирке, обеззараживании и дезактивации» // Зарегистрировано в Минюсте России 22.12.2020. № 61680.

19. Бондаревский А.С., Золотов Р.В. Проектирование средств радиочастотной идентификации (RFID) – проблемная ситуация // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 9. С. 19–23.

20. Дупленко А.Г., Ширкин А.Е. Основные тренды и риски развития «Интернета вещей» // Актуальные вопросы развития современного общества, экономики и профессионального образования, материалы XIX Международной молодежной научно-практической конференции. 2022. С. 112–114.

21. Шульженко Т.Г., Герасимова К.А., Голик К.С., Михайленко М.С. Актуализация задач междисциплинарного взаимодействия логистики и смежных наук в условиях ускорения инновационных процессов // Прогрессивная экономика. 2024. № 8. С. 111–129.

22. Жевтун И.Ф., Белова Е.А. SWOT-анализ как метод стратегического планирования деятельности транспортно-логистической компании // Вестник Академии знаний. 2023. № 1 (54). С. 103–106.

23. Плетнева Н.Г. Проблемы управления логистическими рисками в контексте цепей поставок // Управление рисками: проблемы и решения (РИСК'Э-2022), материалы VIII научно-практической конференции с зарубежным участием., СПб.: 2022. С. 154–158.