

# СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ



УДК 658.7

## Цифровая трансформация логистики: тренды, вызовы и перспективы

И.Н. Кренгауз

Университет «Туран», г. Алматы, Республика Казахстан

### Аннотация

Рассматривается актуальная проблема цифровой трансформации логистических процессов, которая определяет способность компаний поддерживать конкурентоспособность в условиях глобализации. Анализируется влияние новейших технологий, таких как искусственный интеллект, блокчейн и Интернет вещей, на организацию и управление современными логистическими системами. Исследование выявляет ключевые тренды и основные вызовы, с которыми сталкиваются организации при внедрении цифровых инноваций. Особое внимание уделяется анализу успешных кейсов из различных стран, демонстрирующих значительное улучшение эффективности операций и сокращение издержек. Результаты статьи подчеркивают практическую значимость цифровой трансформации для дальнейшего развития логистических систем и предлагают рекомендации по их оптимизации. Цель статьи заключается в исследовании ключевых аспектов цифровой трансформации в логистике, выявлении основных технологических трендов и вызовов, а также оценке их влияния на эффективность и конкурентоспособность логистических систем на международном уровне.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, логистика, искусственный интеллект, блокчейн, Интернет вещей, управление цепями поставок, оптимизация операций

**Для цитирования:** Кренгауз И.Н. Цифровая трансформация логистики: тренды, вызовы и перспективы. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(5):122–132.

## Digital Transformation of Logistics: Trends, Challenges and Prospects

Irina N. Krengauz

Turan University, Almaty, Republic of Kazakhstan

### Abstract

The article studies an acute problem of digital transformation of logistics processes, which determines the ability of the companies to maintain competitiveness in a globalised world. It analyses the impact of emerging technologies, such as artificial intelligence, blockchain and the Internet of Things, on the organisation and management of the present-day logistics systems. The study identifies the key trends and challenges faced by the companies in the frame of implementing digital innovations. Particular attention is paid to the analysis of successful cases from different countries demonstrating significant improvement of operational efficiency and cost reduction. The findings presented in the article highlight practical significance of digital transformation for further development of logistics systems and include recommendations on optimisation of these systems. The aim of the article is to investigate the key aspects of digital transformation of logistics, identify key technological trends and challenges, and assess their impact on the efficiency and competitiveness of logistics systems on a global scale.

**Keywords:** digital transformation, logistics, artificial intelligence, blockchain, Internet of Things, supply chain management, optimisation of operations

**For Citation:** Krengauz IN. Digital Transformation of Logistics: Trends, Challenges and Prospects. *Young Researcher of Don*. 2025;10(5):122–132.

**Введение.** Цифровая трансформация становится важнейшим фактором в современной экономике, особенно в области логистики, где внедрение инноваций имеет критическое значение для поддержания конкурентоспособности на глобальном рынке. Усиление глобализации и рост требований к скорости, точности и стоимости доставки заставляют компании интегрировать передовые технологии в свои логистические операции. Исследования показывают, что высокочиризованные логистические цепочки обеспечивают значительные бизнес-выгоды. Так, по данным McKinsey, цифровизация цепочки поставок в среднем может повысить годовой рост EBIT на 3,2 % — это больше, чем в любом другом бизнес-направлении [1]. Это подтверждает наличие прямой связи между внедрением цифровых технологий и ростом эффективности и прибыли. Замечает также, что цифровая трансформация логистики предоставляет компаниям гибкость и устойчивость, позволяя им быстрее реагировать на изменения спроса и колебания на рынке, что особенно актуально в условиях постпандемического, требующего высокой адаптивности, бизнеса [2].

В последние годы появилось большое количество научных работ, посвящённых цифровой логистике, искусственно интеллекту (ИИ), блокчейну, Интернету вещей (IoT) и автоматизированным системам. M. Christopher в своей классической работе «Logistics & Supply Chain Management» [3] подчеркивает, как ИИ меняет управление цепями поставок, делая процессы более автоматизированными и эффективными. В частности, внедрение алгоритмов машинного обучения способствует более точному прогнозированию спроса и оптимизации запасов, что повышает результативность логистических операций. Исследование De Vass, T., Shee, H., и Miah, S. J. [4] сосредоточено на влиянии IoT на интеграцию и производительность цепочек поставок. Их работа показывает, что способность IoT обеспечивать сбор данных в реальном времени и повышенную видимость активов является важным преимуществом, значительно улучшающим координацию и операционную деятельность.

Также актуальной темой стало применение блокчейн-технологий для обеспечения безопасности и прозрачности в логистике. A. Morkunas и его соавторы в работе «How Blockchain Technologies Impact Your Business Model» [5] акцентируют внимание на роли блокчейна в создании надёжных и прозрачных цепочек поставок. Блокчейн позволяет фиксировать каждую транзакцию в распределённом реестре, устранив необходимость в центральном посреднике и увеличивая доверие между участниками.

Наконец, H. Lee и C. Lee в исследовании «Robotics in Logistics: A Transformational Approach» [6] рассматривают, как роботизация изменяет логистику. Они отмечают, что использование роботов в сортировке и упаковке товаров значительно повышает скорость и точность операций, что способствует увеличению производительности и снижению издержек.

Настоящее исследование направлено на анализ текущего состояния цифровой трансформации логистики, включая ключевые тренды, вызовы и перспективы её развития. Цель работы заключается не только в описании современных изменений, но и в выявлении проблемных аспектов и представлении направлений дальнейшего развития отрасли. Объектом исследования является цифровая трансформация в логистических системах, тогда как предметом — её влияние на эффективность, устойчивость и конкурентоспособность логистических операций.

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи исследования: определить сущность цифровой трансформации и области её применения в логистике; проанализировать основные тенденции и инновации, формирующие «цифровую логистику»; рассмотреть ключевые вызовы и барьеры при внедрении цифровых технологий; исследовать перспективные направления развития логистики под влиянием цифровизации и проанализировать успешные кейсы цифровой трансформации логистики в разных странах (США, Китай, Германия) для выявления лучших практик.

**Основная часть.** Рассмотрим некоторые статистические данные о цифровизации логистики (таблица 1).

Таблица 1

### Ключевые показатели, отражающие цифровую трансформацию логистики [7, 8]

Показатель / Технология	Значение
Уровень цифровизации цепей поставок	43% у средних компаний(оценка McKinsey)
Возможный рост EBIT при дигитализации	+3,2% к EBIT, +2,3% к выручке (агрессивная цифровизация)
Доля логистических предприятий, внедряющих цифровые стратегии	70% (к 2023 г.)
Рынок ИИ в логистике	1,7 млрд. долл. (2018) → 12 млрд. долл. (2027), CAGR 24%
Рынок доставки дронами	0,5 млрд. долл. (2021) → 31,2 млрд. долл. (2028), CAGR — 54%

Приведенные данные демонстрируют высокий темп роста технологий, таких как искусственный интеллект (ИИ) и дроны, а также значительную отдачу от их внедрения в цепочки поставок. Например, большинство логистических компаний уже запустили программы цифровизации, а инвестиции в ИИ-решения стремительно возрастают. Цифровая трансформация в логистике представляет собой комплексное применение современных информационных технологий, направленных на радикальное улучшение всех аспектов логистических операций. Она включает автоматизацию процессов, использование данных в реальном времени для принятия решений, интеграцию физических и цифровых потоков, а также внедрение инновационных бизнес-моделей. В логистическом контексте цифровая трансформация затрагивает несколько ключевых областей применения: искусственный интеллект и машинное обучение, Интернет вещей (IoT), блокчейн-технологии, автоматизированные системы и роботизация.

Искусственный интеллект позволяет анализировать большие массивы данных и извлекать инсайты, которые человеческому анализу недоступны в разумные сроки. В логистике ИИ используется для прогнозирования спроса, оптимизации запасов, планирования маршрутов транспортировки и динамического ценообразования. Например, компания DHL, будучи одним из мировых лидеров в данной отрасли, активно использует системы на базе ИИ для прогнозирования объемов перевозок и оптимизации складских операций [2]. Алгоритмы машинного обучения способны предсказывать пиковые нагрузки и заранее перераспределять ресурсы, что, в свою очередь, повышает устойчивость цепочек поставок к колебаниям спроса. Кроме того, ИИ интегрируется в сервисы клиентской поддержки (например, чат-боты и голосовые помощники), что позволяет автоматизировать общение с клиентами и ускоряет обработку запросов.

Технологии IoT подразумевают оснащение грузов, транспортных средств, складского оборудования и другой инфраструктуры датчиками и устройствами, подключенными к интернету. Эти датчики постоянно собирают и передают информацию (о местоположении, температуре, влажности, состоянии оборудования и т.д.) в единую систему мониторинга. IoT обеспечивает прозрачность логистической цепи и оперативный контроль над активами в режиме реального времени. Классическим примером является система Remote Container Management (RCM) компании Maersk: более 300 тысяч рефрижераторных контейнеров оснащены IoT-сенсорами, которые отслеживают температуру и местоположение груза, передавая эти данные в облако. Благодаря RCM, Maersk может мгновенно обнаруживать отклонения (например, повышение температуры в контейнере с скоропортящимися продуктами) и принимать меры до того, как товар испортится [9]. Внедрение IoT таким образом снижает потери от порчи грузов и повышает оперативность: клиенты получают практически онлайн-информацию о движении своих отправлений. Другим примером является компания FedEx, которая внедрила датчики SenseAware ID для отслеживания посылок – легковесные Bluetooth-метки крепятся на упаковке и позволяют получать обновления о местонахождении с точностью до метра и сотни сообщений о статусе вместо традиционных нескольких сканирований [10]. Подобные IoT-решения повышают видимость цепочки поставок. Интеграция IoT приводит к лучшей координации между звеньями цепи и росту общей продуктивности системы.

Блокчейн представляет собой распределённый реестр транзакций, защищённых криптографически, который функционирует без единого центра. В логистике блокчейн находит применение для обеспечения прозрачности и безопасности цепочек поставок. Каждое событие – будь то передача товара, изменение состояния груза или финансовая транзакция – может регистрироваться в блокчейне, формируя неизменяемую историю, доступную всем участникам с соответствующими правами. Это решает проблему доверия между независимыми участниками логистического процесса. Например, компания Walmart в сотрудничестве с IBM применила блокчейн для отслеживания происхождения продуктов питания в своей продовольственной цепи поставок, что позволило сократить время, необходимое для отслеживания происхождения продуктов, с недели до 2,2 секунды [11]. Такой скачок в скорости доступа к информации позволил мгновенно изымать из оборота небезопасные продукты, повышая продовольственную безопасность. В более широком контексте исследователи отмечают, что блокчейн обеспечивает надежную платформу для документирования и верификации логистических операций, снижая вероятность мошенничества и ошибок. Примером служит международная платформа TradeLens, разработанная Maersk и IBM, где с помощью блокчейна организован обмен документами между перевозчиками, портами, таможней и другими участниками перевозок. Несмотря на то что проект TradeLens в итоге был закрыт в 2023 г. из-за недостаточной отраслевой кооперации, сам подход продемонстрировал потенциал блокчейна в упрощении и ускорении международных грузопотоков, устранив бумажные задержки [12].

**Автоматизация систем и роботизация.** Автоматизация складов и применение робототехники преобразуют внутреннюю логистику компаний. Автоматизированные склады, системы сортировки, управляемые алгоритмами, и роботизированные погрузчики позволяют выполнять операции быстрее и с меньшим числом ошибок по сравнению с ручным трудом. Примером является внедрение компанией Amazon тысяч роботов на своих распределительных центрах по всему миру. После приобретения стартапа Kiva Systems в 2012 году Amazon оснастил

свои fulfillment-центры небольшими оранжевыми роботами Kiva (ныне Amazon Robotics), которые перевозят стеллажи с товарами к стационарным сборщикам. Это решение значительно сократило время комплектации заказов и практически устранило необходимость перемещения сотрудниками по складу в поисках товаров [13]. В результате производительность увеличилась, а операционные расходы снизились. Роботизация позволяет существенно повысить скорость и точность выполнения операций (например, сортировки и упаковки), а экономия достигается за счет сокращения ручного труда и простоя оборудования. Современные автоматизированные склады часто используют комбинацию конвейерных систем, автоматических штабелеров, сортировочных машин и автономных мобильных роботов (AMR), объединённых единой системой управления складом (WMS). Применение таких решений уже стало необходимости: по оценкам, около 70% логистических компаний активно инвестируют в цифровые инновации для складов и транспорта, стремясь повысить пропускную способность и снизить издержки. Однако внедрение автоматизации требует продуманных изменений в бизнес-процессах и обучения персонала [8].

В общей сложности, приведённые технологии показывают, как цифровая трансформация может кардинально улучшить эффективность логистических операций, снизить затраты и повысить качество обслуживания клиентов. При этом внедрение этих инноваций требует не только финансовых инвестиций, но и глубокого понимания технологических процессов, а также готовности к организационным изменениям внутри компаний. Как отмечают эксперты, трансформация затрагивает корпоративную культуру: без адаптации сотрудников и перестройки рабочих процессов даже самые передовые решения не принесут ожидаемого эффекта.

Современная логистика переживает этап бурного внедрения инноваций. Рассмотрим наиболее значимые тренды цифровой трансформации, меняющие облик отрасли. Искусственный интеллект и аналитика данных. ИИ и методы Big Data продолжают занимать центральное место среди трендов в логистике. Алгоритмы машинного обучения становятся всё более совершенными в решении профильных задач – от прогнозирования спроса до управления автопарком. Последние инновации включают применение глубокого обучения для прогнозов спроса с учётом множества факторов, таких как сезонность, рыночные тренды и поведение клиентов, а также использование AI-моделей для динамической оптимизации маршрутов в реальном времени. Например, компания UPS внедрила систему маршрутизации ORION (On-Road Integrated Optimization and Navigation), которая с помощью ИИ ежедневно пересчитывает миллионы вариантов маршрутов для курьеров. Это позволило UPS экономить до 10 млн галлонов топлива и около 100 млн миль пробега ежегодно, что эквивалентно более 300 млн долларов экономии в год [14]. Таким образом, AI-технологии непосредственно влияют на снижение затрат и повышение производительности. Ещё одним трендом в сфере аналитики является создание цифровых двойников (digital twins) логистических систем – виртуальных моделей склада или транспортной сети, которые позволяют с помощью ИИ проводить эксперименты и оптимизировать процессы без риска для реальных операций. В целом, в 2025 году эксперты ожидают дальнейший рост инвестиций в ИИ для логистики: рынок AI-решений для цепей поставок растёт примерно на 24% в год [1]. Компании, игнорирующие этот тренд, рискуют отстать, поскольку технологические лидеры уже получают конкурентные преимущества, в то время как у отстающих остаётся всё меньше пространства для манёвра.

IoT-технологии становятся все более распространёнными и доступными, что способствует их внедрению во все аспекты логистики. Основной тренд последних лет — это тотальная отслеживаемость в реальном времени. Датчики, подключенные к интернету, устанавливаются не только на транспорт (грузовики, контейнеры, вагоны), но и на сами товары и упаковку. Благодаря сетям сотовой связи и спутниковым каналам, логистики получают информацию о местонахождении и состоянии груза в любую секунду. По прогнозам, число IoT-устройств в мире удвоится с 15 млрд в 2023 году до 32 млрд к 2030 году [15], и значительная их часть будет использоваться в «умных» цепочках поставок. Новые кейсы IoT включают отслеживание условий перевозки (температура, влажность, ударные нагрузки) для обеспечения сохранности хрупких и ценных товаров. Например, сенсоры контроля вибрации и наклона применяются при перевозке высокоточной электроники, а GPS-трекеры с акселерометрами используются для мониторинга безопасности особо важных грузов, что позволяет защитить их от краж и несанкционированных вскрытий. Одновременно развивается V2X-коммуникация (Vehicle-to-Everything) — обмен данными между транспортными средствами и инфраструктурой, что способствует повышению координации движения грузового транспорта и снижению рисков на дорогах. Таким образом, тенденция такова, что «всё, что может быть измерено, будет измерено и подключено». Это приводит к взрывному росту данных (Big Data), которые требуют дальнейшей обработки, и порождает новые задачи в области кибербезопасности, поскольку множество точек доступа создает множество уязвимостей.

Логистический сектор активно внедряет роботов не только на складах, но и в транспорте. На складах продолжается развитие AGV (автоматизированные транспортные средства) и AMR (автономные мобильные роботы), которые занимаются внутристорожевым перемещением товаров. Новейшие склады класса «dark warehouse» могут функционировать практически без освещения и персонала, так как процессы полностью автоматизированы. В Китае в 2018 году ритейлер JD.com запустил первый в мире полностью автоматизированный склад: при обработке до 200 тысяч заказов в день там постоянно работают лишь 4 сотрудника, в то время как остальную работу выполняют роботы [16].

В транспортировке ключевым трендом являются беспилотные транспортные средства. Речь идет как о беспилотных грузовиках на дальних рейсах, так и о дронах и автономных роботизированных тележках для последней мили. Крупные автопроизводители (Daimler, Volvo, Tesla) и стартапы (TuSimple, Embark) испытывают грузовые автомобили с автопилотом, которые в перспективе могут решить проблему нехватки водителей и снизить аварийность. Беспилотные дроны уже начинают использоваться для экспресс-доставки небольших посылок: например, проект Amazon Prime Air и аналогичные инициативы в Китае и Израиле. По прогнозам, рынок логистических дронов вырастет с 1,5 млрд долларов в 2021 году до 31 млрд долларов к 2028 году, что свидетельствует о их потенциально значимой роли в будущем [1]. Роботизация в логистике не ограничивается физическими роботами, также развивается программная роботизация (RPA — Robotic Process Automation), автоматизирующая рутинные административные задачи, такие как оформление документов, обработка заказов и бухгалтерия. Этот тренд повышает скорость транзакционных процессов и уменьшает влияние человеческого фактора на ошибки.

Что касается умных контрактов и блокчейн-решений, то они также активно развиваются. В дополнение к частным корпоративным блокчейн-системам формируется тренд на отраслевые блокчейн-платформы. Например, консорциумы в сфере грузоперевозок и логистики разрабатывают стандарты обмена данными и умные контракты для автоматизации сделок. Умный контракт — это программа, размещенная в блокчейне, которая автоматически исполняет условия договора при наступлении определенных событий. В логистике такие контракты могут автоматизировать оплату фрахта по факту доставки, управление страховками грузов и начисление штрафов за просрочку. Тренд таков, что такие решения начинают внедряться в международной торговле и перевозках, хотя пока и в пилотном режиме. Примером могут служить платформа CargoX, предлагающая блокчейн-боллоты (Bill of Lading) для морских перевозок, а также проекты на базе Ethereum, которые обеспечивают отслеживание происхождения товаров (food traceability). Gartner прогнозирует, что к середине 2020-х не менее 20 % крупных глобальных компаний внедрят блокчейн-решения в логистику для повышения прозрачности цепочек поставок. Несмотря на сложности стандартизации и юридические вопросы, интерес к блокчейну как к «машине доверия» остается высоким.

В последние годы цифровая трансформация тесно переплетается с задачами устойчивого развития. Появился явный тренд на экологизацию логистики с использованием цифровых технологий. Алгоритмы оптимизации маршрутов стремятся не только минимизировать затраты, но и уменьшить углеродный след — сокращение пробега и экономия топлива непосредственно снижают выбросы CO<sub>2</sub>. Автоматизация позволяет более эффективно использовать складские площади и энергетические ресурсы благодаря «умным» системам освещения и климат-контроля, работающим по потребности. IoT-сенсоры помогают отслеживать расход топлива и эмиссию транспорта в режиме реального времени, предоставляя данные для экологической отчетности. Внедрение электрических транспортных средств и гибридов в доставке — еще один аспект этого тренда: логистические операторы переходят на электрофургоны и грузовики для городских доставок в соответствии с регуляторными требованиями и корпоративными программами устойчивости. Кроме того, цифровые платформы облегчают модели совместного использования ресурсов (shared logistics) — например, грузовые биржи, агрегаторы курьерских услуг и тому подобное, что способствует повышению коэффициента заполнения транспорта и, следовательно, снижению лишних рейсов. В Германии, стране, лидирующей в области «зелёной» логистики, DHL активно внедряет электромобили для доставки посылок по городам и экспериментирует с велокурьерами и микросторожевым складом в центре города, чтобы сократить пробег на последней милю. Цифровые технологии помогают отслеживать и оптимизировать эти процессы, делая логистику не только эффективной, но и экологически чистой. В перспективе, по мнению экспертов, именно синергия цифровизации и устойчивости (sustainability) определит развитие отрасли: Logistics 5.0 будет одновременно высокотехнологичной и экологически ответственной.

В целом, перечисленные тренды отражают смещение фокуса отрасли с отдельных улучшений к комплексной цифровой экосистеме логистики. Технологии сейчас взаимодействуют друг с другом — искусственный интеллект (ИИ) обрабатывает данные Интернета вещей (IoT), блокчейн дополняет IoT, обеспечивая высокий уровень доверия, роботизация опирается на алгоритмы ИИ и так далее, создавая эффект синергии. В результате компании получают ранее недостижимые уровни прозрачности, скорости и адаптивности цепочек поставок. По оценке DHL Trend Research, ведущими движущими силами логистики ближайшего десятилетия станут именно ИИ и устойчивое развитие. Однако для реализации потенциала этих трендов бизнесу необходимо преодолеть множество серьезных вызовов.

Несмотря на очевидные преимущества, процесс цифровой трансформации логистики сопряжён с рядом сложностей. Рассмотрим ключевые проблемы, с которыми сталкиваются компании на пути внедрения новых технологий. Внедрение новых цифровых систем часто требует объединения разнородных компонентов: устоявшихся (legacy) систем управления складом и перевозками с современными облачными платформами, датчиками, AI-модулями и так далее. Обеспечение совместимости этих элементов является непростой инженерной задачей. В крупных многослойных организациях изменения должны осуществляться одновременно на множестве уровней, что увеличивает риски сбоев. Необходимо гарантировать бесперебойную работу цепочки поставок даже в период миграции на новые системы, иначе временные сбои могут привести к ощутимым финансовым потерям. Классическим примером здесь служит сложность внедрения ERP-системы в Boeing в 2000-х: переход на новую систему управления ресурсами вызвал сбои в производстве и задержки с поставками самолётов, что обошлось компании в сотни миллионов долларов дополнительных расходов. Этот случай иллюстрирует, что технологические обновления в логистике требуют тщательного планирования, тестирования и поэтапного развертывания. Также проблемы могут возникать при масштабировании решений: система, эффективно работавшая в пилотном проекте, может столкнуться с узкими местами при развёртывании на глобальную сеть, если не были учтены нагрузка или специфические условия отдельных узлов. Требования к надежности и отказоустойчивости цифровой инфраструктуры чрезвычайно высоки, так как любой простой ИТ-системы (например, WMS или TMS) мгновенно парализует физические потоки товаров.

С ростом цифровизации логистики резко увеличивается объём собираемых и передаваемых данных: информация о клиентах, грузах, маршрутах, складах и так далее становится ценным активом, привлекающим внимание киберпреступников. Логистические компании теперь выступают и как «хранители данных», и любое нарушение конфиденциальности или утечка может значительно ущемить их репутацию и финансовые показатели. Особую озабоченность вызывают кибератаки: такие инциденты, как вирусные атаки, вымогательства, взлом IoT-устройств. Яркий пример — кибератака вируса NotPetya на компанию Maersk в июне 2017 года, которая вынудила остановить операционные системы терминалов и привела к ущербу в размере 250–300 миллионов долларов [17]. Хотя атака пришла «извне» (через заражённое украинское ПО) и не была направлена непосредственно на логистику, она подчеркнула уязвимость глобальных цепей поставок к распространению вредоносного кода. Maersk удалось восстановить свои системы за 10 дней, но масштаб ущерба оказался колоссальным: практически вся ИТ-инфраструктура пострадала, бизнес-процессы были дезорганизованы. Этот случай побудил многие компании пересмотреть свои стратегии кибербезопасности, уделив большее внимание резервным системам, сегментации сетей и обучению персонала методам защиты. Кроме целевых атак, угрозой также являются утечки данных из-за внутренних ошибок или недобросовестных сотрудников. Конфиденциальная информация о клиентах, ценах и маршрутах доставки требует надежной защиты и соблюдения нормативных требований (например, GDPR в Европе ограничивает обработку персональных данных клиентов). Также IoT-устройства могут представлять собой лазейки: взломав уязвимый датчик или трекер, злоумышленник может получить доступ к корпоративной сети. Таким образом, безопасность — один из ключевых вызовов цифровой логистики. Компаниям необходимо инвестировать в киберзащиту наравне с внедрением самих технологий, включая шифрование данных, системы обнаружения вторжений и регулярные аудиты уязвимостей. Без этого преимущества цифровизации могут быть нивелированы потерями от инцидентов.

Технологическая трансформация неизбежно затрагивает людей, работающих в отрасли. Внедрение новых систем требует от персонала овладения новыми навыками: умения работать с цифровыми инструментами, анализа данных, основ программирования или, по крайней мере, понимания принципов функционирования автоматизированных систем. Для многих работников, особенно имеющих большой стаж, это представляет значительные трудности. Сопротивление изменениям является естественной реакцией, когда новшества воспринимаются как угроза (например, страх, что роботы или алгоритмы вытеснят людей с рабочих мест). Если корпоративная культура не поддерживает дух инноваций, персонал может активно или пассивно препятствовать процессу внедрения — от отказа пользоваться новыми системами до саботажа. Для успешного прохождения цифровой трансформации необходимы комплексные программы обучения и управления изменениями. Компании-лидеры в этой области инвестируют в переобучение (рескиллинг) и повышение квалификации (апскиллинг) своих сотрудников. Например, DHL запустила обширные обучающие программы для персонала по использованию новых WMS-систем и средств автоматизации сортировки посылок. Сотрудники не только обучаются работе с конкретным программным обеспечением или оборудованием, но и получают понимание преимуществ этих технологий для своей работы (уменьшение объёма тяжёлого ручного труда, повышение безопасности, новые карьерные возможности в высокотехнологичной среде). Важен и ментальный сдвиг — формирование культуры инноваций, когда сотрудники на всех уровнях воспринимают изменения позитивно. Как уже упоминалось, компания Maersk акцентировала внимание на развитии инновационной культуры во время своей цифровой трансформации — проводила

тренинги, поощряла инициативы, вовлекала команды в процессы изменений. Дополнительным аспектом является необходимость найма новых специалистов — data scientists, аналитиков, ИТ-архитекторов — для разработки и сопровождения цифровых платформ. Конкуренция за такие кадры высока, и логистическим компаниям приходится соперничать с IT-фирмами за привлечение талантливых инженеров, предлагая привлекательные условия и возможности для карьерного роста.

Цифровая трансформация часто опережает развитие законодательства. В логистике это проявляется в неурегулированности многих вопросов, связанных с использованием данных и новых технологий. Например, нормативная база по коммерческому использованию беспилотников для доставки только начинает формироваться — в некоторых странах (США, ЕС) проводятся экспериментальные программы с ограничениями на вес груза, высоту и районы полёта, в то время как в других законодательство пока не сняло прямых запретов. Amazon, при запуске своих дронов, столкнулась с необходимостью получения специальных разрешений от авиационных властей. Аналогично, эксплуатация беспилотных грузовиков сталкивается с отсутствием правил дорожного движения для автономных систем и распределения ответственности в случае ДТП. Блокчейн-решения ставят вопросы юрисдикции (чи законы применяются к транзакции в распределенной сети?) и признания смарт-контрактов юридически обязательными. Конфиденциальность данных — это отдельный правовой вызов: трансграничная передача данных о грузах и клиентах может подпадать под разные юрисдикции и требовать согласований (например, передача персональных данных из ЕС в страны с недостаточной защитой ограничена GDPR). Кроме того, возможны антимонопольные риски: создание консорциумов для обмена данными между перевозчиками должно происходить с соблюдением принципов конкуренции. Регуляторы пока реагируют на новые технологии с запаздыванием, что создаёт неопределенность для бизнеса. Компаниям необходимо самим разрабатывать best practices, учитывая возможные будущие нормы. Партнёрство отрасли с регуляторами становится неотъемлемой частью процесса, так как диалог позволяет быстрее адаптировать правила под инновации без ущерба для безопасности и справедливой конкуренции.

Помимо упомянутых, существуют и другие вызовы, такие как необходимость значительных первоначальных инвестиций (не каждая компания готова вкладывать миллионы в цифровизацию с окупаемостью через несколько лет), вопросы стандартизации (разные системы не могут «разговаривать» на одном языке данных), киберустойчивость от потока новых технологий (важно выбрать действительно нужные, а не гнаться за всем сразу) и так далее. Каждый из этих вызовов требует комплексного подхода, сочетающего технические решения, управленические стратегии и работу с людьми. Например, чтобы справиться с киберрискаами, нужна не только хорошая ИТ-защита, но и страхование киберрисков, разработка планов действий при инцидентах, обучение персонала принципам киберигиены. Для преодоления сопротивления персонала крайне важна поддержка руководства и наличие «агентов изменений» внутри компаний. В целом, успех цифровой трансформации определяется способностью организации сбалансировать технический прогресс с управлением изменениями, обеспечивая устойчивость и безопасность новых цифровых процессов.

Заглядывая в будущее, можно выделить несколько ключевых направлений развития логистической отрасли под влиянием цифровизации. Эти направления отражают ожидания экспертов относительно того, как технологии будут продолжать трансформировать цепочки поставок в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Ожидается, что алгоритмы ИИ станут ещё более умными и автономными в принятии решений. Перспектива заключается в переходе от аналитического ИИ (который помогает человеку принимать решения на основе данных) к прескриптивному ИИ, который самостоятельно определяет оптимальные действия и непосредственно управляет процессами. В логистике это означает появление самонастраивающихся цепочек поставок: системы, которые автоматически перераспределяют запасы между складами, перенастраивают маршруты доставки и все прочее без участия человека, исходя из заданных КPI. Машинное обучение будет глубже интегрировано в стратегическое планирование — например, долгосрочное прогнозирование спроса с учётом макроэкономических индикаторов, погодных условий и социальных трендов. По мере накопления исторических данных ИИ сможет не только реагировать на текущие потребности рынка, но и проактивно адаптировать логистические стратегии к будущим изменениям практически в реальном времени. Перспективным направлением является также генеративный ИИ (разработанный на основе моделей вроде GPT), который может автоматически генерировать решения для оптимизации цепочки поставок или проектировать новые логистические схемы на основе заданных критериев. Таким образом, роль человека сместится к контролю и совершенствованию AI-систем, в то время как рутинные и расчёты будут полностью автоматизированы.

Уже сейчас ведётся работа над тем, чтобы достичь полной видимости по всей цепочке поставок — «от сырья на ферме до полки магазина». В будущем можно ожидать практически прозрачных логистических сетей: каждая единица товара будет цифровым образом представлена в системах, и в любой момент будет известен её статус и местоположение. Технологии IoT и сопутствующие новшества будут продолжать развиваться — вероятно, появятся ещё более дешёвые и миниатюрные датчики, которые можно прикрепить к любому грузу. С развитием

сетей 5G (а затем и 6G) возрастёт пропускная способность и снизится задержка передачи данных, что сделает мониторинг в реальном времени стандартной практикой. Блокчейн-платформы могут стать стандартом для обмена такой информацией между компаниями, обеспечивая доверие и безопасность. В перспективе клиенты получат возможность видеть путь своего заказа в деталях (например, через специальные приложения можно будет отслеживать не только местонахождение посылки, но и её состояние, а также кто её везёт и когда, ориентируясь на текущую ситуацию на дорогах и так далее). Для бизнеса такая прозрачность позволит моментально устранивать узкие места: если на заводе А произошёл сбой, система немедленно перестроит поставки с завода Б, и все заинтересованные стороны (поставщики, перевозчики, покупатели) будут об этом уведомлены. Полная интеграция также предполагает бесшовный обмен данными между различными ИТ-системами — ERP, WMS, TMS, CRM и другими, включая системы партнёров. Стандартизация протоколов обмена данными и открытые API представляют собой вероятный путь к достижению этой цели.

Пандемия COVID-19 ясно продемонстрировала уязвимость глобальных логистических сетей к непредвиденным потрясениям. В будущем цифровизация будет нацелена на создание более устойчивых и гибких цепочек поставок. Это проявится в активном использовании технологий для моделирования рисков: большие данные и ИИ позволят прогнозировать влияние различных сценариев (например, закрытие порта, рост цен на топливо, стихийное бедствие) и разрабатывать превентивные меры. Цифровые платформы обеспечат быстрое перепланирование маршрутов и перенаправление потоков при сбоях. Кроме того, можно ожидать увеличения количества локальных и региональных логистических хабов, управление которыми будет централизовано через цифровые системы — это уменьшит зависимость от одного крупного узла. Технологии 3D-печати могут стать частью логистики, позволяя производить запасные части и товары ближе к потребителям, сокращая необходимость в перевозках. Всё это поддерживается ИТ-инфраструктурой: облачные решения предлагают возможность масштабировать мощности по мере необходимости, а распределённые системы позволяют продолжать функционирование даже в случае, если один из центров выходит из строя. В итоге логистические сети будущего станут более самовосстанавливающимися: при проблемах на одном участке система автоматически балансируется за счёт остальных. Устойчивость также включает в себя экологическую составляющую: компании будут продолжать внедрять «зелёные» технологии, делая свои цепочки поставок надёжными и экологичными, что является важным шагом для долгосрочной устойчивости в условиях ужесточающегося регулирования экологической политики.

Цифровизация открывает путь к возникновению новых моделей ведения логистического бизнеса. Одно из направлений — логистические платформы, аналогичные Uber или Airbnb, но ориентированные на грузоперевозки. Уже сейчас появляются цифровые freight-биржи, где грузоотправители и перевозчики напрямую взаимодействуют друг с другом через онлайн-платформы. В будущем такая платформизация может стать основой всей отрасли: роли посредников-транспортных компаний будут трансформированы, и управление грузопотоками перейдёт к нейтральным цифровым экосистемам, объединяющим всех участников процесса. Блокчейн может обеспечивать доверие и автоматизацию в таких экосистемах (через умные контракты, как было упомянуто ранее). Ожидается также развитие моделей XaaS (логистика как сервис) — компании будут предоставлять свои избыточные логистические ресурсы другим на временной основе через цифровые платформы (например, свободные места на складах или полупустые грузовики). Ещё одно направление — гиперлокальная логистика: с ростом e-commerce и ожиданиями мгновенной доставки возникнет сеть микроскладов и краудсорсинговой доставки, управляемой через цифровые приложения (подобно курьерским сервисам доставки еды). Всё это будет возможно благодаря зрелости цифровых технологий, обеспечивающих координацию множества участников в реальном времени. С точки зрения бизнес-моделей можно предположить более тесную интеграцию логистических услуг с финансовыми — например, автоматическое финансирование поставок (supply chain finance) на основе данных в реальном времени о движении товаров, что обеспечит финансовую прозрачность цепочек поставок. Инновации в цифровой логистике потребуют и новых подходов к регулированию — возможно, появятся сертификаты для цифровых платформ, правила для алгоритмических решений и так далее. Но при грамотном развитии это приведёт к более эффективному распределению мировых логистических ресурсов.

Конечная точка эволюции — это почти полностью автономная логистическая система, где человеческое участие будет минимальным. Автономные склады (так называемые «lights-out warehouses»), автономный транспорт, автоматизированное планирование и управление способны создать непрерывно функционирующую «умную» цепочку поставок. Конечно, полная автономность — это не ближайшая перспектива, скорее, это видение на десятилетия вперёд, однако текущие инновации ведут к этому. Уже сейчас можно наблюдать примеры: в Китае на некоторых складах JD.com человек лишь наблюдает за работой роботов, а в США компании, такие как Nuro, тестируют полностью беспилотную доставку грузов на короткие расстояния. В перспективе взаимодействие ИИ, IoT и роботизации позволит логистической системе самостоятельно фиксировать изменения внешних условий (спрос, ситуация на дорогах, погода), вычислять решения и исполнять их с использованием парка автоматических

средств. Этот уровень автоматизации повысит масштабируемость логистики — обслуживать увеличившиеся объёмы грузов можно будет с минимальным набором нового персонала, что особенно важно в условиях роста мировой торговли. Однако путь к полной автономности сопряжён с решением уже упомянутых вызовов, прежде всего вопросов безопасности. Поэтому более реальной перспективой на ближайшее время является концепция «человек в петле» (*human-in-the-loop*): критические решения будут по-прежнему подтверждаться человеком, в то время как 90% рутинных задач будут выполняться машинами. Постепенное увеличение доли автономности, вероятно, будет происходить по мере совершенствования технологий и накопления доверия к ним со стороны общества и бизнеса.

Перспективы развития цифровой логистики указывают на дальнейшую интеграцию и синергию различных технологий. Будущая логистическая система будет характеризоваться высочайшей эффективностью, гибкостью и устойчивостью к внешним факторам. Однако достижение этого будущего потребует продолжения исследований и экспериментальных внедрений, а также тесного сотрудничества между бизнесом, наукой и государством для решения возникающих проблем.

**Заключение.** Проведённое исследование подтвердило, что цифровая трансформация логистики является сложным, но неизбежным и крайне плодотворным процессом. Интеграция передовых технологий (ИИ, IoT, блокчейн, роботизация) кардинально меняет методы управления логистическими операциями, выводя их на новый уровень эффективности. Внедрение ИИ и автоматизации улучшает как точность, так и скорость складских и транспортных процессов, снижая операционные расходы и количество ошибок. Пример UPS с системой ORION ярко демонстрирует экономическую эффективность оптимизации маршрутов с помощью AI. Прозрачность и безопасность логистических цепочек значительно возрастают благодаря цифровым решениям — блокчейн гарантирует достоверность транзакций и происхождения товаров, что сводит к минимуму возможности мошенничества. IoT одновременно предоставляет полную видимость за перемещением и состоянием грузов в реальном времени. Гибкость и устойчивость цепочек поставок улучшаются — цифровые инструменты позволяют быстро перенастраивать цепочки при изменениях в спросе или сбоях, а данные и прогнозная аналитика помогают готовиться к будущим вызовам. Все эти факторы ведут к повышению удовлетворённости клиентов, которые получают услуги быстрее, надёжнее и с лучшим отслеживанием.

На основе проведённого анализа можно предложить ряд рекомендаций для компаний, стремящихся углубить свою цифровую трансформацию в логистике. Прежде всего, необходимо инвестировать в обучение и развитие персонала. Успех трансформации во многом зависит от человеческого фактора. Логистическим компаниям следует организовать постоянные обучающие программы для сотрудников — от рабочих на складах до менеджеров — по освоению новых технологий и методов работы. Повышение цифровой грамотности персонала и развитие компетенций в области данных, ИТ, аналитики должны стать частью корпоративной культуры. Целесообразно внедрить принцип *lifelong learning* и мотивировать сотрудников на получение новых навыков (например, анализа данных, базового программирования). Это позволит сгладить сопротивление изменениям и сформировать команду, готовую поддерживать инновации.

Крайне важна планомерная модернизация ИТ-инфраструктуры. Необходимо закладывать основу для технологий будущего уже сегодня. Практически любая цифровая инициатива опирается на качественную ИТ-инфраструктуру: высокоскоростные сети передачи данных, надёжные дата-центры или облачные сервисы, интеграционные платформы (*middleware*) между системами. Логистам стоит провести аудит своих текущих ИТ-систем и разработать дорожную карту их обновления с учётом требований масштабируемости и безопасности. Инвестиции в современные программные решения (WMS, TMS с поддержкой AI-модулей, IoT-платформы, блокчейн-платформы для обмена документами) окупятся повышенной эффективностью. При этом важно обеспечить совместимость новых решений с существующими — возможно, через этапы параллельного использования и постепенного вывода старых систем.

Начинать желательно с пилотных проектов, с последующим масштабированием. Цифровая трансформация — это не разовый проект, а непрерывный процесс. Рекомендуется внедрять технологии поэтапно: выбирать конкретный участок (например, автоматизация отдельного склада или внедрение AI-маршрутизации в одном регионе) и проводить пилотные проекты. На этапе пилота важно замерить KPI (скорость обработки, затраты, процент ошибок) и разработать эффект. Учитывая результаты, можно корректировать подход и затем масштабировать решение на всю компанию. Такой подход минимизирует риски и позволяет получать ноу-хау шаг за шагом.

Соответственно, не обойтись без развития партнёрства и сотрудничества. Не все аспекты цифровизации можно эффективно реализовать в одиночку. Логистическим операторам имеет смысл сотрудничать с технологическими компаниями, стартапами, вузами и даже конкурентами (в рамках не конкурирующих областей) для совместной разработки и стандартизации решений. Например, партнёрство с IT-фирмой может ускорить внедрение блокчейн-платформы или системы *big data*. Участие в отраслевых ассоциациях по цифровой логистике позволит

обмениваться опытом и совместно лobbировать необходимые регуляторные изменения. В экосистемном подходе, где логистика рассматривается как часть большого цифрового сообщества, кроется потенциал более быстрого и дешёвого внедрения инноваций.

Невозможно обойтись без ориентации на потребности клиентов. Внедряя технологии, важно помнить, что конечная цель заключается в улучшении клиентского сервиса. Поэтому все проекты цифровизации должны исходить из вопроса: как это сократит время доставки для клиента, повысит надёжность, снизит стоимость или добавит новую ценность (например, точное отслеживание)? Технологии IoT, AI и другие следует интегрировать в customer journey. Практический шаг — создание удобных цифровых сервисов для клиентов (например, онлайн-отслеживание с проактивными оповещениями, гибкое переназначение времени и места доставки через приложение и так далее). Компании, выстроившие свою цифровую трансформацию вокруг клиента, получают его лояльность и рост бизнеса.

Цифровая трансформация логистики — это динамичный и многоаспектный процесс. Она уже приносит ощущимые плоды в виде повышенной эффективности, прозрачности и устойчивости цепочек поставок. Однако на пути остаются вызовы, требующие координированных усилий бизнеса, науки и государства. Будущее логистики несомненно будет цифровым: компании, которые инвестируют в технологии и знания сегодня, займут лидирующие позиции завтра, в то время как игнорирование этого тренда может привести к потере конкурентоспособности. Таким образом, углублённое изучение трендов, преодоление вызовов и реализация перспектив позволят логистической отрасли совершить переход в новую эру — эру Logistics 4.0 и далее, где технологии работают в гармонии с бизнесом на благо экономики и общества.

### Список литературы

1. *Supply Chain Statistics: Key Insights and Trends for 2024*. CFBLOG. URL: <https://cashflowinventory.com/blog/supply-chain-statistics/> (accessed: 15.02.2025).
2. *DHL Logistics Trend Radar, 5th Edition*. DHL Trend Research. URL: <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-core-logistics-trend-radar-5thedition.pdf> (accessed: 15.02.2025).
3. Christopher M. *Logistics and Supply Chain Management*. UK: Pearson; 2022. 338 p. URL: <https://rudycct.com/supchn/Christopher%20Logistics%20and%20Supply%20Chain%20Management%204th%20txtblk.pdf> (accessed: 15.02.2025).
4. De Vass T, Shee H, Miah SJ. (2018). The Effect of “Internet Of Things” on Supply Chain Integration and Performance: An Organisational Capability Perspective. *Australasian Journal of Information Systems*. 2018;22. <https://doi.org/10.3127/ajis.v22i0.1734>
5. Morkunas VJ, Paschen, J, Boon E. How Blockchain Technologies Impact Your Business Model. *Business Horizons*. 2019;62(3):295–306. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2019.01.009>
6. Lee H, Lee C. Robotics in Logistics: A Transformational Approach. *International Journal of Production Economics*. 2017;190:54–67.
7. *Supply Chain Survey*. URL: <https://cashflowinventory.com> (accessed: 15.02.2025).
8. *Maximize Market Research — The Fastest-Growing Market Research and Business Consulting Firms Serving Clients Globally*. URL: <https://www.maximizemarketresearch.com> (accessed: 15.02.2025).
9. Sarley E. *Maersk – Reinventing the Shipping Industry Using IoT and Blockchain*. URL: <https://d3.harvard.edu/maersk-reinventing-shipping-industry-using-iot-blockchain> (accessed: 25.02.2025).
10. *FedEx will Track Your Packages More Precisely than Ever*. URL: <https://www.minew.com/fedex-will-track-your-packages-more-precisely-than-ever/> (accessed: 25.02.2025).
11. Reshma K. Food Traceability on Blockchain: Walmart’s Mango Pilots with IBM. *The Journal of the British Blockchain Association*. 2018;1(1). [https://doi.org/10.31585/JBBA-1-1-\(10\)2018](https://doi.org/10.31585/JBBA-1-1-(10)2018)
12. Wragg E. *Maersk and IBM Pull the Plug on TradeLens*. GTR Global Trade Review. URL: <https://www.gtrview.com/news/fintech/maersk-and-ibm-pull-the-plug-on-tradelens> (accessed: 05.03.2025).
13. 13. *History and Growth of Amazon Robotics*. Exotec. URL: <https://www.exotec.com> (accessed: 25.02.2025).
14. Hardcastle J. *UPS Routing System to Save 10M Gallons of Fuel Annually*. E+Eleader for Sustainable Tomorrow. URL: [https://www.environmentenergyleader.com/stories/ups-routing-system-to-save-10m-gallons-of-fuel-annually\\_8464](https://www.environmentenergyleader.com/stories/ups-routing-system-to-save-10m-gallons-of-fuel-annually_8464) (accessed: 17.03.2025).
15. Sinha S. *State of IoT 2024: Number of Connected IoT devices growing 13% to 18.8 billion globally*. IOT Analytics. URL: <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/> (accessed: 19.03.2025).
16. *JD.Com Opens Automated Warehouse that Employs Four People but Fulfils 200,000 Packages Daily*. URL: <https://www.freightwaves.com/news/technology-jdcom-opens-automated-warehouse-that-employs-four-people-but-fulfills-200000-packages-daily> (accessed: 25.02.2025).
17. Mimoso M. *Maersk Shipping Reports \$300M Loss Stemming from NotPetya Attack*. URL: <https://threatpost.com/maersk-shipping-reports-300m-loss-stemming-from-notpetya-attack/127477/> (accessed: 12.03.2025).

***Об авторе:***

**Ирина Наумовна Кренгауз,** кандидат экономических наук, доцент, ассоциированный профессор Высшей школы «Маркетинг и логистика» университета «Туран» г. Алматы, Республика Казахстан (050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева 16а) [i.krengauz@turan-edu.kz](mailto:i.krengauz@turan-edu.kz)

***Конфликт интересов:* автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.**

***Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.***

***About the Author:***

**Irina N. Krengauz,** Cand.Sci.(Economics), Associate Professor of the Higher School of Marketing and Logistics, Turan University (16a, Satpayev Str., Almaty, 050013 Republic of Kazakhstan), [i.krengauz@turan-edu.kz](mailto:i.krengauz@turan-edu.kz)

***Conflict of Interest Statement:* the author declares no conflict of interest.**

***The author has approved the final manuscript.***