

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ В ЛОГИСТИКЕ: ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПРЕИМУЩЕСТВА, ПРАКТИКИ РАЗВИТИЯ

Абрамов Виктор Иванович¹,

*д-р экон. наук, доцент,
e-mail: viabramov@mephi.ru,*

Файзуллина Альфия Менлигалиевна¹,

e-mail: fishok.af@gmail.com,

¹Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, г. Москва, Россия

Эффективное управление логистическими процессами в условиях быстрых изменений становится необходимым условием для повышения конкурентоспособности предприятий и улучшения обслуживания клиентов. Интернет вещей – это современная технология, которая широко применяется в бизнесе и имеет значительный потенциал для повышения его эффективности. Этот цифровой инструментарий активно осваивается компаниями по всему миру, и его применение особенно важно при совершенствовании логистических процессов. Цель статьи – исследовать особенности применения интернета вещей в логистике, определить бизнес-преимущества от использования данного подхода и выделить лучшие практики управления логистическими процессами в режиме реального времени. Методология исследования основана на системном подходе, применяемом при анализе сложных экономических систем, и использует общенаучные методы познания: анализ, сравнение, логические рассуждения, сбор фактов, синтез, а также структурный подход. Рассматриваются преимущества использования интернета вещей в логистике в целом и в цепочках поставок в частности. Показано, что технологии интернета вещей могут существенно улучшить операционные процессы логистических компаний, предоставляя значимые данные и улучшая взаимодействие с клиентами.

Ключевые слова: логистика, логистические процессы, цепочки поставок, цифровая трансформация, цифровизация, цифровые технологии, интернет вещей, IoT

INTERNET OF THINGS IN LOGISTICS: CHARACTERISTICS, ADVANTAGES, DEVELOPMENT PRACTICES

Abramov V.I.¹,

*doctor of economic sciences, associate professor,
e-mail: viabramov@mephi.ru,*

Fayzullina A.M.¹,

e-mail: fishok.af@gmail.com,

¹National Research Nuclear University MEPHI, Moscow, Russia

Effective management of logistics processes in an environment of rapid change is becoming a prerequisite for increasing the competitiveness of enterprises and improving customer service. The Internet of Things is a modern technology that is widely used in business and has significant potential for increasing its efficiency. This digital toolkit is being actively adopted by companies around the world, and its use is especially important when improving logistics processes. The aim of this article is to investigate the features of implementing the Internet of Things in logistics, identify the business advantages of adopting this approach, and highlight best practices for managing logistics processes in real-time. The research methodology is based on a systematic approach used in the analysis of complex economic systems, and uses general scientific methods of knowledge: analysis, comparison, logical reasoning, collection of facts, synthesis, as well as a structural approach. The advantages of using the Internet of things in logistics in general and in supply chains in particular are considered. It is shown

that Internet of Things technologies can significantly improve the operational processes of logistics companies, providing meaningful data and improving interaction with customers.

Keywords: logistics, logistics processes, supply chains, digital transformation, digitalization, digital technologies, Internet of things, IoT

DOI 10.21777/2587-554X-2024-3-98-105

Введение

В современном мире логистика играет ключевую роль в обеспечении бесперебойного функционирования цепочек поставок – от производства до конечного потребителя. Логистика как вид деятельности отвечает за мониторинг распределительных сетей и управление потоками ресурсов и конечной продукции [1, с. 205]. Согласно Баллу [2, с. 125], миссия логистики заключается в том, чтобы «доставить нужные товары или услуги в нужное место, в нужное время и в желаемом состоянии, внося при этом наибольший вклад в деятельность компании». Логистика направлена на интеграцию обработки материалов и данных, обслуживания клиентов, логистических коммуникаций, отслеживания местоположения складов и транспорта. Внедрение инновационных технологий становится жизненно важным фактором для повышения эффективности и конкурентоспособности логистических компаний. Интернет вещей (IoT) – одна из таких технологий, обладающая огромным потенциалом для трансформации логистической отрасли.

Применение IoT в логистике имеет критическое значение, позволяет автоматизировать множество логистических процессов, что приводит к значительному снижению операционных затрат и повышению эффективности. Например, использование сенсоров для мониторинга состояния грузов и транспортных средств позволяет оптимизировать маршруты, снижать затраты на топливо и уменьшать время доставки. При этом IoT обеспечивает возможность отслеживания товаров и транспортных средств в режиме реального времени. Это позволяет логистическим компаниям и их клиентам всегда быть в курсе местонахождения и состояния товаров, что способствует повышению доверия и удовлетворенности клиентов.

Современная логистика подвержена различным рискам, таким как изменения погоды, дорожные происшествия, задержки на таможне и другие непредвиденные события. IoT позволяет быстрее реагировать на эти риски и минимизировать их влияние. В условиях растущих затрат на топливо, рабочую силу и инфраструктуру логистические компании ищут способы снизить издержки, и интернет вещей предоставляет возможности для автоматизации и оптимизации процессов, что помогает сокращать операционные расходы. Таким образом, применение интернета вещей в логистике является не только актуальным, но и необходимым шагом для повышения эффективности, улучшения качества обслуживания клиентов и обеспечения устойчивого развития отрасли. Цель работы – исследовать особенности применения интернета вещей в логистике, преимущества для бизнеса от использования данной технологии и лучшие практики управления процессами в режиме реального времени.

Характеристики и концепция интернета вещей

Понятие «интернет вещей» (*Internet of things*) было сформулировано в 1999 году Кевином Эштонном, который выдвинул гипотезу о возможности объединения нескольких физических устройств («вещей») на предприятии для обмена информацией и взаимодействия их друг с другом и со сторонним окружением. В настоящее время решения IoT реализуются путем интеграции различного аппаратного и программного обеспечения. Используются различные беспроводные и сетевые датчики, микроконтроллеры, микропроцессоры и системы, такие как GSM (для мобильной связи), GPS (система глобального позиционирования), GPRS (служба пакетной радиосвязи общего назначения), RFID (радиочастотная идентификация), облачные технологии и Wi-Fi. Для мониторинга и управления грузами в транспортно-логистической отрасли требуется полностью портативное технологическое решение в виде оборудования, мобильного устройства, которое может путешествовать вместе с грузом, оставать-

ся на связи и обеспечивать обратную связь с домашними серверами. Для подключения в глобальном масштабе, независимо от того, где находится ваше устройство, одним из наиболее признанных решений, особенно для крупномасштабных развертываний, является сотовая связь M2M (от мобильного к мобильному). С развитием технологий мобильного интернета логистическая информация также может передаваться в базу данных через беспроводные сети, что улучшает сбор данных в реальном времени и обмен информацией [3, с. 3].

Интернет вещей, который относится к устройствам, подключенным к интернету и способным собирать информацию об окружающей среде, быстро развивается благодаря широкому использованию современного аппаратного и программного обеспечения, улучшению доступа к сетям связи и усовершенствованию инструментов анализа данных [4]. Интернет вещей имеет трехуровневую структуру, включающую (1) физический уровень или уровень восприятия, (2) сетевой уровень и (3) уровень приложений. Физический уровень собирает информацию об окружающей среде, которая используется платформами для выполнения алгоритмов или предложения услуг [5]. Сетевой уровень, считающийся сердцем интернета вещей, отвечает за передачу и обработку информации, полученной уровнем восприятия [6]. В отличие от сетевого уровня, прикладной уровень состоит из набора функций и услуг, предлагаемых пользователям [7].

Для разработки и внедрения IoT-решений используются различные технические платформы, как в свободном, так и в коммерческом доступе. Лидеры отрасли, такие как Intel, SAP, Google, Samsung и Microsoft, предоставляют необходимые технологические решения для сбора и анализа данных, интеграции их в облачные системы, что трансформирует бизнес-процессы и повышает эффективность использующих их организаций.

Преимущества использования IoT в логистике

Интернет вещей в логистике улучшает прозрачность всех процессов на каждом этапе цепочки поставок и повышает эффективность управления запасами. Влияние IoT на логистическую отрасль распространяется и дальше: логистические компании могут использовать предиктивную аналитику для прогнозирования колебаний спроса. Такие решения также оптимизируют маршруты и графики, а также минимизируют воздействие на окружающую среду благодаря отслеживанию расхода топлива.

Сложные цепочки поставок становятся связанными сетями благодаря IoT, и сбор данных с устройств интернета вещей помогает оптимизировать операции цепочки поставок и позволяет оперативно принимать корректирующие меры для сокращения или устранения потерь. В таблице 1 представлены преимущества интернета вещей в логистике и цепочках поставок.

Таблица 1 – Преимущества IoT в логистике и цепочке поставок¹

Преимущества	Описание
Мониторинг и отслеживание в реальном времени	Одним из наиболее выгодных аспектов систем интернета вещей является возможность сбора, передачи и анализа данных в режиме реального времени с использованием специализированных датчиков. За счет того, что данные передаются напрямую и мгновенно, облегчается контроль и организация цепочки поставок и транспортировки товаров. Решения на основе этих данных в управлении цепочками поставок позволяют специалистам оперативно оценивать наличие товаров на складе и их состояние, быстро реагировать на любые изменения в статусе заказов для внесения корректировок в режиме реального времени, что обеспечивает динамический контроль операций во всех аспектах логистики [7]
Повышенная прозрачность	Каждый этап цепочки поставок, от розничной торговли до производства, может быть прозрачен благодаря IoT. Поставщики сырья используют устройства IoT для сбора информации о переменных, влияющих на своевременную и качественную доступность поставляемых товаров. Например, ритейлеры используют IoT для повышения точности сбора продукции и повышения эффективности обработки материалов. Кроме того, они получают выгоду от отслеживания продуктов на разных полках для улучшения контроля запасов и отслеживания активности покупателей для лучшей выкладки и использования пространства. Повышенная прозрачность поощряет этическое поведение среди заинтересованных сторон и партнеров бизнеса, тем самым повышая репутацию отраслей и укрепляя сотрудничество в логистической отрасли [8]

¹ Составлено авторами.

Улучшение управления запасами	Для эффективного управления цепочкой поставок и запасами необходимо отслеживать и контролировать материально-технические запасы и инвентарь. IoT в управлении цепочкой поставок с помощью устройств собирает и анализирует уровни и позиции запасов для лучшего управления. С помощью системы инвентаризации с поддержкой IoT можно отслеживать уровни поставок в режиме реального времени, получать информацию о состоянии запасов на складе, принимать актуальные бизнес-решения и своевременно заполнять склады продукцией
Мониторинг условий хранения	Датчики окружающей среды, разработанные IoT в сфере транспорта и логистики, позволяют руководству отслеживать состояние груза и принимать незамедлительные меры при любых изменениях. Например, система цепочки поставок IoT собирает информацию о давлении, влажности и температуре внутри транспортных средств и другие переменные, которые могут поставить под угрозу целостность товаров, и автоматически регулирует окружающую среду соответствующим образом
Автоматизация	Современные организации в значительной степени полагаются на автоматизированные процессы, чтобы сократить количество необходимого физического труда, расходы на рабочую силу, риск человеческой ошибки и скорость доставки ресурсов. Автоматизация цепочки поставок и промышленных процессов стала возможной благодаря технологиям IoT. Например, дроны можно использовать как инструменты IoT для управления складами или для создания целой инфраструктуры, которой можно управлять удаленно, отслеживая статус логистики
Соответствие требованиям законодательства	Предприятия должны соответствовать требованиям законодательства. С точки зрения управления необходимой документацией и соблюдения закона, IoT помогает организациям поддерживать соответствие нормативным требованиям и предотвращать судебные разбирательства. Система на основе IoT обеспечивает цифровой аудиторский след с точными временными метками и быстрыми и точными отчетами
Улучшенная сегментация	Ритейлеры могут разрабатывать эффективные стратегии, объединяя технологии IoT и управление цепочками поставок. Это позволяет им лучше понимать свои продукты, потребителей и спрос. Данные, собранные в течение жизненного цикла продукта, помогают в проведении маркетинговых исследований и позволяют сегментировать продукты с учетом целевого рынка
Управление автопарком	IoT играет важную роль в транспортных и логистических решениях, демонстрируя получение значительных преимуществ в этих областях. Такие решения часто включают в себя более сложные системы. При управлении большим количеством транспортных средств компаниям необходимо собирать большое количество информации о наличии и состоянии каждого транспортного средства в режиме реального времени. Инструменты для управления автопарком помогают компаниям оптимизировать общий рабочий процесс, повышая эффективность и сокращая расходы
Улучшение организационного взаимодействия	Разнородные источники данных не позволяют менеджерам эффективно взаимодействовать друг с другом. Решения с помощью IoT обеспечивают единую версию данных для всех участников цепочки поставок
Улучшение взаимоотношений с клиентами	Программное обеспечение для логистики и цепочек поставок на основе IoT полезно как для клиентов, так и для руководства. Многие компании используют преимущества IoT в логистике и предлагают своим клиентам специализированные приложения для работы с клиентами. Такие приложения позволяют отслеживать доставку заказов с помощью GPS и просматривать статус заказов. Когда клиенты могут отслеживать ход доставки своих товаров, это повышает их доверие и помогает отслеживать ход доставки выполняемых заказов
Повышение гибкости	Интернет вещей в транспорте и логистике предоставляет менеджерам исчерпывающую информацию о движении товаров, что помогает ритейлерам и менеджерам цепочек поставок принимать актуальные решения о том, сколько единиц каждого товара необходимо заказать. IoT также снижает влияние человеческого фактора, улучшая доставку, отслеживание активов и навигацию на дороге с высокой точностью [9]

Следует отметить, что цифровизация и управление цепочками поставок направлены на работу с партнерами внутри цепочки поставок для выявления ключевых факторов, оптимизации затрат и повышения общей устойчивости логистической цепочки [10].

Примеры успешной реализации проектов интеграции IoT в логистические процессы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Примеры интеграции IoT в логистические процессы²

Наименование компании	Описание компании	Применение IoT
MOST (Швеция)	Мониторинг и контроль транспортных распределительных центров в режиме реального времени	Используется сеть GSM, датчики, облачные технологии – улучшение транспортных действий, оптимизация маршрутов, лучший контроль поставок [11, с. 578]

² Составлено авторами.

NJTA	Транспортное управление, Нью-Джерси	Компания использует IoT для управления движением транспортных средств и повышения безопасности. Датчики IoT помогают аварийно-спасательным службам быстрее реагировать на аварии и снижать заторы на дорогах
DHL	Международная компания экспресс-доставки грузов и документов, лидер мирового логистического рынка	Внедрение IoT-технологий для мониторинга и управления складскими процессами. Используются датчики и системы для отслеживания местоположения оборудования, контроля температуры и влажности, а также для предупреждения о возможных повреждениях грузов. Благодаря IoT компания повысила уровень эффективности примерно на 10 % ³
Amazon	Крупнейшая площадка для онлайн-торговли в мире	Умные склады Amazon используют IoT для автоматизации рутинных задач, таких как маркировка и перестановка стеллажей. Роботы выполняют тяжелую работу, что позволяет людям сосредоточиться на задачах, требующих мастерства и умения решать проблемы. Это позволило Amazon увеличить объем хранимых запасов на 50 % и сократить стоимость выполнения заказов на 40 %
Volvo	Концерн, производящий коммерческие и грузовые автомобили	Volvo применяет облачную систему для отслеживания доставки автозапчастей и поставок автомобилей по всему миру с помощью IoT
Maersk	Интегрированная логистическая компания	Maersk использует удаленное управление контейнерами (RCM) для контроля внутри них влажности и температуры, что предотвращает порчу скоропортящихся грузов и экономит ресурсы
ПАО «Ростелеком»	Компания управляет сетью национального масштаба, оказывая телекоммуникационные услуги физическим лицам, компаниям, другим операторам и органам власти, имеет порядка 150 складов, 25 тыс. точек продаж и около 20 тыс. сервисных точек	Консультанты «Делойта» разработали пошаговую карту перехода от текущего состояния цепи поставок к целевой схеме и рекомендации по политике пополнения запасов. Результаты проекта включают: снижение совокупных затрат на логистику на 9 %, сокращение количества складов на 28 %, уменьшение транспортных расходов на 5 %, сокращение общих товарно-материальных запасов на 18 %, увеличение оборачиваемости товарно-материальных запасов на 26 % ⁴

Эти примеры демонстрируют, каким образом использование IoT в логистике может значительно повысить эффективность, прозрачность и надежность логистических процессов, предоставляя конкурентные преимущества компаниям, готовым инвестировать в цифровые технологии³⁴.

Управление логистическими процессами в режиме реального времени

Управление процессами в режиме реального времени становится ключевым фактором для повышения эффективности, прозрачности и конкурентоспособности компаний в современной логистической отрасли. Внедрение интернета вещей и связанных с ним технологий позволяет достигать этих целей путем постоянного мониторинга и оптимизации всех этапов логистической цепочки. Технологии и инструменты для сбора и обработки данных в режиме реального времени представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технологии и инструменты для сбора и обработки данных в режиме реального времени⁵

Технологии и инструменты	Описание
<i>Сенсоры и датчики</i>	
GPS-трекеры	Используются для отслеживания местоположения транспортных средств и грузов в реальном времени. Они обеспечивают точные данные о маршруте и скорости движения
Температурные и влажностные сенсоры	Применяются для мониторинга условий хранения и транспортировки, особенно для скоропортящихся продуктов и медикаментов
Датчики вибрации и удара	Помогают контролировать состояние груза во время транспортировки, что особенно важно для хрупких товаров
<i>Сети и коммуникации</i>	
Сети 5G	Обеспечивают высокую скорость передачи данных и низкую задержку, что особенно важно для приложений IoT, работающих в реальном времени

³ With iot, we have increased our efficiency levels by around 10 %. – URL: <https://www.iotworldcongress.com/with-iot-we-have-increased-our-efficiency-levels-by-around-10/> (дата обращения: 10.09.2024). – Текст: электронный.

⁴ Проектирование цепи поставок для телеком-оператора. – URL: <https://www.anylogistix.ru/case-studies/supply-chain-network-design-for-a-telecom-provider/> (дата обращения: 10.09.2024). – Текст: электронный.

⁵ Составлено авторами.

LPWAN (Low Power Wide Area Network)	Используется для передачи данных с устройств, работающих от батареи, на большие расстояния
Bluetooth и Wi-Fi	Применяются для связи устройств IoT на коротких расстояниях, например, внутри складских помещений
<i>Облачные платформы</i>	
AWS IoT	Платформа от Amazon для подключения, управления и анализа данных с IoT-устройств. Обеспечивает масштабируемость и надежность
Microsoft Azure IoT	Платформа от Microsoft, предоставляющая инструменты для обработки данных, аналитики и машинного обучения
Google Cloud IoT	Облачное решение от Google для управления IoT-устройствами и анализа данных
<i>Аналитические инструменты</i>	
Big Data Analytics	Технологии для обработки и анализа больших объемов данных, поступающих с IoT-устройств
Платформы для потоковой обработки данных	Позволяют анализировать данные в режиме реального времени
Искусственный интеллект и машинное обучение	Используются для прогнозирования и оптимизации логистических процессов на основе анализа данных

Например, температурные сенсоры используются для контроля условий транспортировки продуктов питания, предотвращая их порчу и снижая потери. Сети LPWAN, такие как LoRaWAN и Sigfox, позволяют отслеживать контейнеры на больших расстояниях с минимальным энергопотреблением. Платформа AWS IoT позволяет управлять миллионами устройств и анализировать данные в режиме реального времени, предоставляя ценные сведения и рекомендации для оптимизации логистических процессов с использованием машинного обучения для прогнозирования спроса и оптимизации маршрутов доставки.

Управление процессами в режиме реального времени с применением технологий IoT предоставляет логистическим компаниям значительные преимущества. Это позволяет не только повысить эффективность и снизить затраты, но и улучшить качество обслуживания клиентов, обеспечивая их доверие и удовлетворенность. Внедрение таких технологий требует инвестиций в инфраструктуру и обучение персонала, но долгосрочные выгоды делают эти вложения оправданными.

Интеграция IoT с другими информационными системами

Для достижения максимальной эффективности и синергии в логистике важно интегрировать IoT с другими ключевыми информационными системами, такими как ERP, WMS, TMS и цифровые двойники. Так, например, интеграция IoT с системами ERP (Enterprise Resource Planning) позволяет объединить данные с различных сенсоров и устройств с центральной системой управления ресурсами компании. Это обеспечивает улучшенное управление запасами, поскольку данные о состоянии и местоположении товаров позволяют оптимизировать запасы и снизить издержки.

Интеграция IoT с WMS (Warehouse Management System) обеспечивает автоматизацию и улучшение складских операций, таких как приемка, хранение, перемещение и отгрузка товаров, что позволяет получить дополнительные преимущества:

- оптимизацию размещения товаров на складе, поскольку данные о свободных местах и характеристиках товаров позволяют оптимально размещать товары;
- автоматизацию инвентаризации, так как сенсоры и RFID-метки позволяют автоматически учитывать движение товаров и поддерживать актуальность данных о запасах;
- увеличение скорости и точности операций, поскольку автоматизация сокращает время на выполнение складских операций и уменьшает количество ошибок.

Интеграция IoT с TMS (Transportation Management System) позволяет улучшить управление транспортными операциями и оптимизировать маршруты доставки. К преимуществам относятся:

- оптимизация маршрутов, поскольку данные о дорожной обстановке и состоянии транспортных средств позволяют выбирать оптимальные маршруты и снижать затраты на транспортировку;

– надлежащий мониторинг и грамотное адекватное управление транспортными средствами: данные о местоположении, состоянии и производительности транспортных средств помогают лучше управлять автопарком;

– улучшение контроля и отчетности, так как реальные данные о транспортировке помогают более точно планировать и контролировать выполнение доставок.

Следует отметить, что, несмотря на значительный прогресс, масштабному внедрению IoT в логистике препятствует несколько проблем. Одним из важных вопросов является стандартизация, поскольку разнообразие протоколов и отсутствие общих стандартов для устройств IoT затрудняют взаимодействие и масштабируемость решений. Необходимо разработать единые стандарты для обеспечения совместимости и беспрепятственной интеграции устройств с существующими системами. Одной из главных проблем внедрения IoT в логистике является обеспечение кибербезопасности: увеличение количества сетевых устройств расширяет потенциальную поверхность атаки, что делает необходимым разработку надежных систем защиты данных и устройств от киберугроз. Следует также отметить, что для эффективной работы IoT-решений необходима бесшовная интеграция с существующими логистическими системами и программным обеспечением, поэтому разработка универсальных интерфейсов и протоколов передачи данных является ключевым фактором для успешной интеграции.

С точки зрения будущих тенденций, 5G станет ключом к будущему развитию интернета вещей. Компания Gartner сообщает⁶, что количество патентных заявок на 5G увеличилось в пять раз с 2015 по 2021 год, демонстрируя ожидания рынка относительно текущего и будущего потенциала 5G, и эти цифры, вероятно, в последующие годы будут только увеличиваться.

Заключение

На основании результатов данного исследования можно сделать следующие выводы:

– в современной конкурентной логистической среде компаниям необходимо использовать IoT для повышения гибкости и конкурентоспособности, а анализ практики использования IoT в логистике показывает, что существует значительный потенциал для повышения эффективности, прозрачности и надежности логистических процессов;

– управление процессами в реальном времени с помощью технологии IoT дает логистическим компаниям значительные преимущества, которые не только повышают эффективность и снижают затраты, но и улучшают качество обслуживания клиентов, обеспечивая их доверие и удовлетворенность;

– IoT открывает широкие возможности для повышения эффективности бизнеса за счет интеграции с другими системами управления предприятием, особенно при использовании цифровых двойников.

Интернет вещей – это революционная технология, которая окажет значительное влияние на сектор логистики, предлагая новые возможности для повышения эффективности и оптимизации бизнес-процессов. Однако, несмотря на многочисленные преимущества, внедрение IoT сталкивается с такими проблемами, как необходимость стандартизации, безопасности и интеграции с существующими системами. Успешное внедрение IoT требует целостного подхода, включающего разработку новых стратегий, инвестиции в инфраструктуру и обучение персонала.

Список литературы

1. Lu D., Teng Q. An Application of Cloud Computing and IOT in Logistics // Journal of Software Engineering and Applications. – 2012. – Vol. 5. – P. 204. – DOI <https://doi.org/10.4236/jsea.2012.512b039>.
2. Ballou R.H. Business logistics – importance and some research opportunities // Gestao E Producao. – 1997. – Vol. 4, No. 2. – P. 117–129. – DOI <https://doi.org/10.1590/S0104-530X1997000200001>.
3. Lee C.K., Lv Y., Ng K.K.H, Ho W., Choy K.L. Design and Application of Internet of Things-Based Warehouse Management System for Smart Logistics // International Journal of Production Research. – 2018. – Vol. 56, No. 8. – P. 2753–2768. – DOI [10.1080/00207543.2017.1394592](https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1394592).

⁶ Gartner. 2021. “Infographic: Patent Growth Insights,” 5G Technology, 2021. – URL: <https://www.gartner.com/en/documents/4008201> (дата обращения: 10.09.2024). – Текст: электронный.

4. *Xhafa F., Aly A., Juan A.A.* Allocation of Applications to Fog Resources via Semantic Clustering Techniques: With Scenarios from Intelligent Transportation Systems // *Computing*. – 2021. – Vol. 103. – P. 361–378.
5. *Martín-Lopo M.M., Boal J., Sánchez-Miralles Á.A.* Literature Review of IoT Energy Platforms Aimed at End Users // *Comput. Netw.* – 2020. – Vol. 171. – 107101.
6. *Chanal P.M., Kakkasageri M.S.* Security and Privacy in IoT: A Survey // *Wirel. Pers. Commun.* – 2020. – Vol. 115. – P. 1667–1693.
7. *Popescu G.H., Petreanu S., Alexandru B., Corpodean H.* Internet of Things-Based Real-Time Production Logistics, Cyber-Physical Process Monitoring Systems, and Industrial Artificial Intelligence in Sustainable Smart Manufacturing // *Journal of Self-Governance & Management Economics*. – 2021. – Vol. 9, No. 2. – P. 52–62. – DOI 10.22381/jsme9220215.
8. *Tan B.Q., Wang F.F., Liu J., Kang K., Costa F.* A Blockchain-Based Framework for Green Logistics in Supply Chains // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12. – 4656. – DOI <https://doi.org/10.3390/su12114656>.
9. *Oh A.S.* Designing smart supplier chain management model under big data and internet of things environment // *International Journal of Recent Technology and Engineering*. – 2019. – Vol. 8, No. 2. – P. 290–294. – DOI 10.35940/ijrte.B1055.0782S619.
10. *Tiwari M.K., Bidanda B., Geunes J., Fernandes K., Dolgui A.* Supply chain digitisation and management // *International Journal of Production Research*. – 2024. – Vol. 62, No. 8. – P. 2918–2926. – DOI 10.1080/00207543.2024.2316476.
11. *Hopkins J., Hawking P.* Big Data Analytics and IoT in logistics // *The International Journal of Logistics Management – Emerald*. – 2018. – Vol. 29, No. 2. – P. 575–591. – DOI <https://doi.org/10.1108/ijlm-05-2017-0109>.

References

1. *Lu D., Teng Q.* An Application of Cloud Computing and IOT in Logistics // *Journal of Software Engineering and Applications*. – 2012. – Vol. 5. – P. 204. – DOI <https://doi.org/10.4236/jsea.2012.512b039>.
2. *Ballou R.H.* Business logistics – importance and some research opportunities // *Gestao E Producao*. – 1997. – Vol. 4, No. 2. – P. 117–129. – DOI <https://doi.org/10.1590/S0104-530X1997000200001>.
3. *Lee C.K., Lv Y., Ng K.K.H., Ho W., Choy K.L.* Design and Application of Internet of Things-Based Warehouse Management System for Smart Logistics // *International Journal of Production Research*. – 2018. – Vol. 56, No. 8. – P. 2753–2768. – DOI 10.1080/00207543.2017.1394592.
4. *Xhafa F., Aly A., Juan A.A.* Allocation of Applications to Fog Resources via Semantic Clustering Techniques: With Scenarios from Intelligent Transportation Systems // *Computing*. – 2021. – Vol. 103. – P. 361–378.
5. *Martín-Lopo M.M., Boal J., Sánchez-Miralles Á.A.* Literature Review of IoT Energy Platforms Aimed at End Users // *Comput. Netw.* – 2020. – Vol. 171. – 107101.
6. *Chanal P.M., Kakkasageri M.S.* Security and Privacy in IoT: A Survey // *Wirel. Pers. Commun.* – 2020. – Vol. 115. – P. 1667–1693.
7. *Popescu G.H., Petreanu S., Alexandru B., Corpodean H.* Internet of Things-Based Real-Time Production Logistics, Cyber-Physical Process Monitoring Systems, and Industrial Artificial Intelligence in Sustainable Smart Manufacturing // *Journal of Self-Governance & Management Economics*. – 2021. – Vol. 9, No. 2. – P. 52–62. – DOI 10.22381/jsme9220215.
8. *Tan B.Q., Wang F.F., Liu J., Kang K., Costa F.* A Blockchain-Based Framework for Green Logistics in Supply Chains // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12. – 4656. – DOI <https://doi.org/10.3390/su12114656>.
9. *Oh A.S.* Designing smart supplier chain management model under big data and internet of things environment // *International Journal of Recent Technology and Engineering*. – 2019. – Vol. 8, No. 2. – P. 290–294. – DOI 10.35940/ijrte.B1055.0782S619.
10. *Tiwari M.K., Bidanda B., Geunes J., Fernandes K., Dolgui A.* Supply chain digitisation and management // *International Journal of Production Research*. – 2024. – Vol. 62, No. 8. – P. 2918–2926. – DOI 10.1080/00207543.2024.2316476.
11. *Hopkins J., Hawking P.* Big Data Analytics and IoT in logistics // *The International Journal of Logistics Management – Emerald*. – 2018. – Vol. 29, No. 2. – P. 575–591. – DOI <https://doi.org/10.1108/ijlm-05-2017-0109>.