

УДК 656.5  
DOI: 10.25559/SITITO.15.201903.782-790

## Реализация автономной логистики на основе технологий интернета вещей и блокчейн

**В. Н. Трегубов**

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия  
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77  
tregubovvn@outlook.com

### Аннотация

В статье рассмотрены современные подходы совершенствования механизмов логистической координации на основе автономной логистики с использованием технологий интернета вещей и блокчейна. В рамках концепции автономной логистики координация логистических объектов обеспечивается за счёт синхронизации их взаимодействия путем непрерывного обмена информацией друг с другом и внешней средой на основе технологий интернета вещей. Каждый автономный логистический объект имеет уникальный идентификатор, который позволяет выделить его среди других объектов, а затем с использованием беспроводной связи и специализированного программного обеспечения можно осуществить точное отслеживание каждой продуктовой единицы на всех этапах логистического цикла. Интеллектуальное программное обеспечение и доступ к облачной информационной системе позволяет логистическому объекту принимать самостоятельные решения по текущим логистическим операциям и выбору маршрута своей транспортировки. Распределенный консенсус может рассматриваться как краудсорсинговая задача для большого числа элементов входящих в автономную логистическую систему, каждый из которых вносят свой вклад в проверку достоверности информации. Отдельные узлы могут рассматриваться как логистические агенты, а механизмы совместного принятия решений позволяют согласовать индивидуальное поведение, направленное на минимизацию собственных издержек логистического агента с общесистемной целью обеспечения эффективности логистической системы. Авторами рассмотрена проблема формирования доверительной среды автономной логистики на основе блокчейна, показано что высокий уровень доверия внутри цепи доставки делает возможным реализацию различных сценариев важных для функционирования логистических систем, том числе, безопасную оплату предоставляемых услуг и безопасный обмен информацией. Использование блокчейн в практике формирования IoT имеет потенциал значительного снижения структурной сложности системы, что в свою очередь, ведет к снижению финансовых рисков и позволит свободно передавать различные активы между субъектами.

**Ключевые слова:** автономная логистика, интернет вещей, блокчейн, децентрализация.

**Для цитирования:** Трегубов В. Н. Реализация автономной логистики на основе технологий интернета вещей и блокчейн // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15, № 3. С. 782-790. DOI: 10.25559/SITITO.15.201903.782-790

© Трегубов В. Н., 2019



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



## **Implementation of the Internet of Things and Blockchain Technologies in Autonomous Logistics**

**V. N. Tregubov**

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia  
77 Politekhnicheskaya Str., Saratov 410054, Russia  
tregubovvn@outlook.com

### **Abstract**

In the article we considered modern approaches to mechanisms of logistical coordination on the basis of technologies of the Internet of things (IoT) and blockchain. Within the concept of autonomous logistics, the coordination of logistics objects is ensured by synchronizing their interaction through exchange of information with each other and the external environment on the basis of the IoT technology. Each autonomous logistic object has a unique identifier, which allows us to distinguish it from other objects, and then by wireless communication and specialized software can be carried out accurate tracking of each product unit at all stages of the logistics cycle. Intelligent software and access to the cloud information system allows the logistics facility to make independent decisions on current logistics operations and on the choice of its transportation route. Distributed consensus can be seen as a crowdsourcing task for a large number of elements in an autonomous logistics system, and each of contributes can use it for validation of information. Individual nodes can be considered as logistics agents, and the mechanisms of decision-making allow us to harmonize an individual behavior of the logistics agent for minimizing the own costs with the system goal of increasing the efficiency of the logistics system. The authors considered the problem of forming a trusting environment of autonomous logistics on the basis of blockchain. It was shown that a high level of trust within the supply chain makes possible to implement various scenarios of functioning of logistics system, for example, safe payment for provided services and safe exchange of information. Using of blockchains in the IoT has the potential to significantly reduce the structural complexity of logistic system, which in turn leads to a reduction in financial risks and will allow for the free transfer of various assets between subjects.

**Keywords:** autonomous logistics, IoT, blockchain, decentralization.

**For citation:** Tregubov V.N. Implementation of the Internet of Things and Blockchain Technologies in Autonomous Logistics. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2019; 15(3):782-790. DOI: 10.25559/SITITO.15.201903.782-790



## Введение

Развитие информационных технологий уже сейчас оказывает существенное влияние на все стороны жизни людей, дальнейшее их совершенствование стимулирует возникновение новых концепций, основанных на конвергенции интернета и реального (физического) мира. Примером такого взаимодополнения является возникновение технологии интернета вещей (Internet of things) (IoT) [1–4]. Технология IoT ориентируется на создание сети из физических объектов реального мира, которые через подключение к сети интернет получают возможность взаимодействовать и обмениваться информацией друг с другом и внешней средой без посредничества человека. Это расширяет функционал объектов реального мира, а также позволяет им более эффективно выполнять свои традиционные функции.

В настоящее время логистика и управление транспортом находятся на пороге изменения своей парадигмы. Это связано с тем, что сложные интегрированные системы не обеспечивают требуемого уровня эффективности и устойчивости. Активное развитие получают логистические системы с децентрализованным управлением, которые позволяют преодолеть существующие проблемы. Технология IoT имеет широкие перспективы использования в логистических системах нового поколения и может стать одним из драйверов для систем децентрализованного и автономного управления. Нами рассмотрены ключевые проблемы применения IoT в логистике, определены особенности ее реализации, сформулированы проблемы и перспективы создания автономных логистических систем на основе IoT с использованием технологии блокчейн.

Концепция IoT основана на опережающем развитии коммуникационных и информационных технологии, их удешевлении, а также широком распространении. Все больше объектов реального мира подключаются к сети интернет и получают возможность обмениваться информацией друг с другом, граница между реальным миром (физическим) и киберпространством (виртуальным миром) становится все более размытой. Изначально к сети подключались только сложные вычислительные устройства - персональные компьютеры. Они обменивались информацией друг другом, в результате сформировалась единая глобальная сеть. Развитие технологии IoT существенно расширяет спектр устройств, которые могут быть подключены к интернету. Исследователи компании Cisco [5] считают, что к 2020 году в сети интернет будет подключено более 50 миллиардов устройств, что приведет к существенному технологическому и экономическому сдвигу. Потенциальный объем рынка IoT может достичь емкости 19 триллионов долларов.

Перспективы и высокие темпы роста этого рынка обеспечиваются за счет инвестиций со стороны государственного и частного секторов. По мнению исследователей, вся мировая экономика находится на краю существенного технологического скачка, который может произойдет в случае объединения кибернетического и физического мира [6]. Такое объединение инициирует большие социальные последствия, которые затронут не только отдельные компаний, специализированные отрасли и рынки, а все человечество в целом. Специалисты из различных областей уже сейчас изучают варианты прикладного использования технологии интернета вещей в своих сферах [2]. По нашему мнению, в ближайшие годы развитие технологии поддержки интернета вещей окажет существенное

влияние на инновационную, маркетинговую, логистическую деятельность. Указанные сферы имеют опережающие темпы внедрения IoT, а конечные пользователи новых технологии смогут получить существенные выгоды за счет удешевления логистических и маркетинговых услуг. Данные предположения подтверждаются рядом научных и практических исследований, выполненных в последние годы.

Анализ актуальных публикаций по теме IoT позволил сгруппировать их по отдельным категориям. В первую группу можно отнести исследования в сфере перспективных интернет технологий подготовленные зарубежными консалтинговыми компаниями [7–9]. В подобных публикациях приводится обзор существующих тенденций развития цифровой микро- и макроэкономики выделяются направления использования IoT, в том числе и сфере промышленного производства. Ко второй группе отнесены научные публикации в русскоязычных журналах, подобные исследования имеют ограниченный набор тематик, в большинстве из них систематизируются зарубежный опыт, а также дается общий обзор концепции и возможные направления использования в российских условиях [3,4,10]. Третью группу наиболее многочисленную составляют зарубежные публикации по IoT и смежным темам, это большой пласт исследований широкий диапазон от научных исследований базовых концепций, обеспечивающих теоретический фундамент, до описания прикладных разработок, реализующих IoT на уровне отдельных компании в различных отраслях. По данным сайта [app.dimensions.ai](http://app.dimensions.ai) за последние 4 года в журналах входящих в базы данных Scopus и Web of science было размещено более 30 тысяч публикации, в которых IoT было указано среди ключевых слов. Научные области этих публикаций: информационные системы, коммуникационные системы, искусственный интеллект.

В публикациях по использованию IoT в логистике [11–16] WMS, APS, TMS, or other legacy systems. The advent of cloud computing (CC) большинство исследований фокусируется на преимуществах получаемых от внедрения IoT, в том числе: улучшение управления запасами, повышение прозрачности логистических операций, оптимизация бизнес процессов и т.д. Авторы указывают, что IoT системы сокращают складские ошибки, обеспечивают контроль размещения на складе на уровне отдельного логистического элемента, улучшает эффективность решений по пополнению складских запасов и снижает «эффект хлыста» возникающий при накоплении информационных ошибок при наличие временного запаздывания обновлений информации о складских запасах. Реальный логистический бизнес также заинтересован в скорейшем внедрении технологии IoT, так как ожидает снижение логистических издержек.

## Основная часть

Несмотря на новизну термина, IoT не является абсолютно новой концепцией в логистике. Ряд технологии, которые часто относят к IoT, уже сейчас активно применяются в логистике и управления цепями поставок. Например, технология RFID [14,17], она получила распространение в системах управления запасами и крупных сетевых магазинах, став эффективной заменой штриховому кодированию. Вместе с тем потенциал IoT использован в логистике неполностью, существует большое количество использования этой технологии, которые позво-



лят существенно модифицировать методологию управления цепями поставок, а также обеспечить повышение эффективности логистического процесса. По своей внутренней сущности логистическое управление ориентировано на системы, состоящие из большого количества слабо связанных друг с другом элементов. Стандартная логистическая цепочка поставок включает в себя именно такие элементы, которые децентрализованно подчиняются различным владельцам, что существенно усложняет процесс интегрированного управления потоком для обеспечения оптимальности его продвижения. Особую сложность в логистике представляет координация потоков в реальном времени, хотя подобная координация является востребованной для построения интегрированных цепей поставок.

Одним из подходов к совершенствованию механизмов логистической координации является концепция автономной логистики [18–21]. В рамках этой концепции координация логистических объектов обеспечивается за счёт синхронизации их взаимодействия путем непрерывного обмена информацией друг с другом и внешней средой. В простейшем случае каждый автономный логистический объект имеет собственный уникальный продуктовый код, который позволяет его идентифицировать, а затем использованием технологии беспроводной связи и специализированного оборудования можно осуществить точное отслеживание каждой продуктовой единицы на всех этапах логистического цикла. Интеллектуальное программное обеспечение и доступ к облачной информационной системе позволяет объекту принимать самостоятельные решения по текущим логистическим операциям и выбору маршрута для дальнейшей транспортировки.

В настоящее время теория автономной логистики исследуется различными научными школами по всему миру. Значительный прогресс был достигнут исследователями из университета производственных систем и логистики в Германии [20–23]. Учеными этого университета была предложена и разработана принципиально новая концепция автономного управления в логистических системах, построенная на основе механизмов синхронизации логистических процессов. Они декларируют следующие ключевые преимущества автономизации логистического процесса [18]:

- улучшение мониторинга и обработки информации о логистических процессах в реальном времени;
- синхронизации всех видов логистических потоков и снижение логистических издержек;
- формирования механизмов идентификации логистических объектов через их информационное представление.

Внедрение автономных механизмов логистического управления позволяет создать самоорганизующуюся и самоконфигурируемую цепь поставок, основанную на децентрализованном управлении, которая будет обладать высокой гибкостью и способностью адаптироваться к изменениям условий доставки. Такие системы могут эффективно работать без сложных централизованных структур управления и обеспечивают свою непрерывную подстройку под внешние условия. Теоретические концепции, которые лежат в основе механизма автономного управления в логистических системах изложены в следующих публикациях. По мнению авторов под автономным

логическим управлением необходимо понимать процесс децентрализованного принятия логистических решений который направлен на эффективное решение задачи доставки продукции, а также на управление взаимодействием автономных логистических объектов, принимающих самостоятельные решения при выполнении логических операций.

Методология автономной логистики с использованием интернета вещей в первую очередь реализуется через создание системы отслеживания отдельных паллет или контейнеров в интегрированной цепи поставок [22]. Непрерывное отслеживание продвигающейся в цепи поставок продукции в реальном времени является сложной задачей, поэтому логистические компании часто используют собственные проприетарные решения, специализированные информационные платформы, которые слабо совместимы друг с другом. Использование IoT и облачных хранилищ позволяет использовать новый подход к решению данной проблемы, который основан на применении стандартизованных типовых решений, что позволит обеспечить эффективное взаимодействие участников цепи поставок, а также сделать прозрачным перемещение продукции и управление логистическим процессом для всех заинтересованных сторон.

Развитие автономной логистики основано на создании самоорганизующихся логистических систем [24] использующих автономные транспортные средства [25,26], интеллектуальные системы отслеживания и управления грузовыми транспортными единицами [27].

В исследовании [12] рассмотрены сценарии использования модели цепи поставок на основе IoT в глобальной логистической системе с участием 4PL оператора логистических услуг. Оператор выступает в качестве владельца контейнера и обеспечивает его заполнение различными товарами. После заполнения контейнер перемещается по морскому пути, а затем перемещается в распределительный хаб, где контейнер разделяется и уже с помощью наземного транспорта доставляется конечным заказчикам. Товары, которые перевозятся в контейнере, могут принадлежать различным поставщикам. Сами транспортные компании, которые участвуют в процессе доставки могут находиться в совершенно различных странах и не подчиняться единому центру. Это пример процесса международной поставки, который демонстрирует сложность координации логистических процессов. С помощью IoT можно упростить координацию, а также упростить процесс обмена информацией между заинтересованными сторонами. Единая информационная платформа сможет отслеживать все события, которые происходят с логистическим объектом в реальном времени и передавать информацию о перемещении продукции всем заинтересованным сторонам. Автономная логистика упрощает процесс координации и мониторинга потоков товаров, внешний оператор может контролировать различные фазы логистического процесса: загрузки контейнера, его транспортировки различными видами транспорта, доставки продукции конечным потребителям. Приведённый пример является только одним из возможных сценариев использования IoT в логистической индустрии, а автономизация логистического процесса будет иметь значительное влияние на развитие на дальнейшее развитие логистических технологий.

Особую роль в процессе автономизации играют складские системы, к их техническому оснащению предъявляются повышенные требования. Использование IoT позволит суще-



ственно улучшить традиционные механизмы организации складского хранения, обеспечить повышение качества внутрискладского мониторинга продукции, повысить эффективность использования складских площадей, обеспечить удобство доступа к хранимой на складе продукции, упростить проведение ревизий и контрольных проверок, а также выполнять учет продукции в реальном времени. Формирование системы складского менеджмента в реальном времени с использованием IoT позволяет избежать проблемы информационной задержки (эффекта хлыста), который проявляется в расхождении информационного наполнения электронной системы поддержки складской деятельности и физического складского хранилища.

Для реализации механизмов идентификации в интеллектуальной складской системе на основе IoT используется технология RFID [17]. Она позволяет быстро получить исчерпывающую информацию о каждом объекте. Важным преимуществом, по сравнению с другими способами идентификации, является возможность использования RFID для сбора информации с движущихся объектов, а также возможность одновременной идентификации и обработки нескольких объектов. Собранные с датчиков информация передается на высшие уровни системы IoT, где информация агрегируется, систематизируется и анализируется. Автономные системы принятия решений определяют наиболее рациональные места хранения продукции (ABC и XYZ анализ), необходимые объемы поставки, сроки хранения и т.д. Для специализированных складов, например, складов с поддержанием заданной температуры, специальной атмосферой или другими специфическими параметрами окружающей среды, используется более совершенная система датчиков, а также усложняются алгоритмы анализа текущего состояния логистических объектов.

Использование IoT позволяет повысить безопасность систем складского хранения, особенно важную роль этот аспект играет в процессах логистической обработки опасных грузов. Система автономного и непрерывного мониторинга такого груза в реальном времени позволяет точно отслеживать ее состояние, определять оптимальные параметры транспортировки и хранения, а в случае нарушения норм хранения или их выхода за допустимые пределы система может предупреждать окружающих людей.

## Использование технологии блокчейн в автономной логистике

Технология блокчейн получила активное развитие за последние годы в различных сферах [28,29], в том числе на транспорте и в логистике [30–32]. Это обусловлено перспективными возможностями использования этой технологии для создания распределённых информационных систем без централизованного регулирования, в том числе и в логистике [33].

Для того, чтобы создать эффективную децентрализованную высоко защищенную доверительную информационную среду для реализации автономной логистической системы на основе IoT предлагается использовать технология блокчейн (рис. 1).



Р и с. 1. Варианты использования технологии блокчейн в автономной логистике

Fig. 1. Options for using blockchain technology in autonomous logistics

Однако, с точки зрения научных исследований существует ряд приоритетных вопросов, которые необходимо решить для реализации потенциала блокчейн в логистических системах, построенных на базе IoT.

Распределенный консенсус может рассматриваться как краудсорсинговая задача для большого числа элементов входящих в IoT, которые вносят свой вклад при проверке информации. Отдельные узлы могут рассматриваться как логистические агенты, а механизмы совместного принятия решений должны быть разработаны таким образом, чтобы согласовать индивидуальное поведение, направленное на минимизацию собственных издержек агента с общесистемной целью по формированию надежной и эффективной логистической системы. Алгоритм блокчейна может быть использован для агрегирования всех имеющихся вычислительных ресурсов в IoT, что даст возможность решения проблем большой вычислительной мощности, например, задач по управлению транспортировкой в режиме реального времени.

Важная задача связана с формированием доверительной среды на основе блокчейна. Информационное пространство и единый информационный кластер играют важную роль в построении децентрализованной логистической системы [34]. Высокий уровень доверия внутри цепи доставки делает возможным множество сценариев важных для развития логистических систем: снижение торговых рисков между участниками системы, безопасную оплату предоставляемых услуг, безопасный обмен информацией и т.д. В сети IoT, построенной на основе блокчейн, доверительность гарантируется математическим обоснованием безопасности самой технологии, качественным программным кодом, реализованным механизмом проверки и подтверждения каждой транзакции большинством участников. Использование блокчейн в практике формирования IoT имеет потенциал значительного снижения структурной сложности системы, что в свою очередь, ведет к снижению финансовых рисков и позволяет свободно передавать деньги и активы между субъектами.

В системах высокой степени доверия, подержанные автомобили могут быть перепроданы и зарегистрированы непосред-



ственно без привлечения централизованных органов власти или платформ. Например, компания Mixgent разработала информационную систему на базе технологии блокчейн которая объединяет владельцев транспортных средств и пользователей транспортных средств в сообщество, упрощающее процесс аренды транспортного средства. Информация о всех выполняемых транзакциях по аренде транспорта сохраняется в распределенной базе данных, информация в которой не может быть подделана или изменена. В системе реализована возможность сравнения различных предложений аренды по заданным пользователем критериям отбора. Система позволяет получить пользователю экономию до 25% в сравнении с арендой подобного автомобиля в традиционной компании. Также пользователи имеют возможность получить скидку до 35% в форме кэшбека, если они будут использовать для оплаты внутреннюю валюту системы MIX токены. Система реализована в виде бета-версии и уже эффективно функционирует. В ней зарегистрировано более 12000 участников, задействовано более 9500 единиц различных транспортных единиц, а использование транспортных средств возможно в различных городах нескольких стран: США, России, Канады, Мексики. В планах компании выход на рынки Австралии и Южной Кореи. Важным с теоретической точки зрения является и система использования смарт-контрактов, которая в настоящее время служит драйвером практического использования блокчейна, и обеспечивает практическую интеграцию передовых информационных технологий (например, машинное обучение, аналитика больших данных и т.д.) с бизнес-логикой высокого уровня. Смарт-контракты позволят построить программную экосистему автономной логистики, в рамках которой интеллектуальные агенты могут взаимодействовать друг с другом без посредников. Самоисполняющиеся смарт-контракты также значительно снижают технологическую сложность сетевой структуры, снижают роль человеческого фактора, а также могут выступать в качестве программных агентов от имени их создателя. Поэтому существует острая необходимость в изучении разработки и реализации конкретных смарт-контрактов для автономных логистических систем, в том числе и в области управления и контроля на основе IoT.

Перспективным вариантом использования является использование блокчейна для моделирования систем автономной логистики и транспорта. Основные компоненты блокчейна: P2P-сети, распределенные механизмы координации на основе консенсуса, методы расчета вознаграждения за участие, основанные на вкладе участника (майнинг), являются естественными способами моделирования сложных транспортных систем. Каждый вычислительный узел (например, IoT-устройства, транспортные средства или другие объекты с подключенные к внешней сети) можно рассматривать как автономное транспортное средство. Большое количество узлов могут быть объединены и общаться друг с другом с помощью различных видов блокчейн-децентрализованных приложений, в результате чего они будут образовывать децентрализованные автономные организации. В этом направлении исследователям предлагается углубиться в микроскопическое индивидуальное поведение и взаимодействие между автономными агентами, а также макроскопическое системное моделирование самоорганизуются, саморазвиваются и адаптируются к внешним условиям.

## Заключение

Несмотря на многообещающие возможности внедрения описанных выше технологий в реальную практику, существует ряд проблемных вопросов и препятствий, которые требуют дополнительных исследований.

Имеются сложные технические проблемы, связанные с обеспечением масштабируемости, безопасности, разработкой специализированных криптографических алгоритмов для обеспечения стабильности информационной поддержки автономной логистики на основе IoT и блокчейн. В настоящее время технология блокчейн сталкивается с проектными ограничениями в пропускной способности транзакций и в протоколах валидации при реализации «умных» контрактов.

Требуется развитие инфраструктуры блокчейн, в идеальном варианте необходимо будет создать комплексную информационную инфраструктуру, способную обеспечить необходимый технологический уровень для использования блокчейна в системах интернета вещей. Необходимо совершенствование многих современных технологий, направленных на решение таких вопросов, как обеспечение доверия и безопасности в сложных гетерогенных сетях.

Требуют внимания организационные, управленческие, нормативные и правовые аспекты, помимо технологических проблем, одним из самых сложных вопросов для использования потенциала автономной логистики является формирование регуляторной среды (т.е. механизмов децентрализованного управления в международной юрисдикции, обеспечение прав собственности и т.д.). Многие вопросы требуют решения на государственном уровне, органы власти должны принимать участие в создании инфраструктуры блокчейн для формирования единой информационной среды, представляющей общественный интерес.

В целом можно сделать вывод, о том, что, как и в любой другой сложной технологической инновации, автономная логистика находится в начальной стадии развития. Развёртывание технологии в более широком масштабе потребует дополнительных фундаментальных и прикладных исследований для решения конкретных проблем и удовлетворения новых потребностей. Тем не менее, принятие парадигмы автономной логистики открывает широкую область для создания информационных систем, которые могут кардинально изменить работу логистической отрасли и, возможно, всей мировой системы доставки продукции. Такие решения будут представлять собой сложное взаимодействие различных заинтересованных сторон в экосистеме интернета вещей и блокчейна, поэтому необходимо правильно оценить сферу ответственности участников, вовлеченных в эту деятельность.

## Список использованных источников

- [1] Chapter 2 - The Anatomy of the Internet of Things // RIoT Control. Understanding and Managing Risks and the Internet of Things / T. Macaulay (eds.). Morgan Kaufmann, Boston, 2017. Pp. 27-55. DOI: 10.1016/B978-0-12-419971-2.00002-9
- [2] *Kafle V, Fukushima Y, Harai H.* Connecting the world through trustable Internet of Things // 2015 ITU Kaleidoscope: Trust in the Information Society (K-2015), Barcelona, 2015. Pp. 1-8. DOI: 10.1109/Kaleidoscope.2015.7383646



- [3] *Куприяновский В. П., Намиот Д. Е., Дрожжинов В. И., Куприяновская Ю. В., Иванов М. О.* Интернет вещей на промышленных предприятиях // *International Journal of Open Information Technologies*. 2016. Т. 4, № 12. С. 69-78. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27543361> (дата обращения: 12.06.2019).
- [4] *Куприяновский В. П., Ишмуратов А. Р., Намиот Д. Е., Ярцев Д. И., Уткин Н. А., Николаев Д. Е.* Цифровая экономика и интернет вещей - преодоление силоса данных // *International Journal of Open Information Technologies*. 2016. Т. 4, № 8. С. 36-42. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26404464> (дата обращения: 12.06.2019).
- [5] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022 White Paper - Cisco, 2019. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/colateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.html> (дата обращения: 12.06.2019).
- [6] *Greengard S.* The Internet of Things. The MIT Press, 2019.
- [7] *Гладков В.* Интернет вещей в логистике: совместный отчет DHL и Cisco // *JSON TV*, 2015. URL: [http://json.tv/tech\\_trend\\_find/internet-veschey-v-logistike-sovmestnyy-otchet-dhl-i-cisco-20160511113055](http://json.tv/tech_trend_find/internet-veschey-v-logistike-sovmestnyy-otchet-dhl-i-cisco-20160511113055) (дата обращения: 12.06.2019).
- [8] «Интернет вещей» и его значение для промышленности // *PwCIL*, 2017. 16 с. URL: [https://www.pwc.ru/publications/iot-for-industry\\_pdf](https://www.pwc.ru/publications/iot-for-industry_pdf) (дата обращения: 12.06.2019).
- [9] Интернет вещей. PTC Inc, 2014. 12 с. URL: [http://pts-russia.com/download/J4036\\_SCP\\_eBook\\_FINAL\\_ru\\_web.pdf](http://pts-russia.com/download/J4036_SCP_eBook_FINAL_ru_web.pdf) (дата обращения: 12.06.2019).
- [10] *Леонов А. В.* Интернет вещей: проблемы безопасности // *Омский научный вестник*. 2015. № 2(140). С. 215-218. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23876335> (дата обращения: 12.06.2019).
- [11] *Diwan M. A.* Internet of Things in Logistics: Towards Autonomous Logistics & Smart Logistics Entities // *The International Maritime Transport & Logistics Conference (MARLOG 5)*. Toward Smart Ports, 13 - 15 March 2016. Valencia Port Foundation, 2016, 13 pp. URL: <https://marlog.aast.edu/archive/2016/pdf/Papers/s06p02.pdf> (дата обращения: 12.06.2019).
- [12] *Gnimpieba Z. D. R., Nait-Sidi-Moh A., Durand D., Fortin J.* Using Internet of Things Technologies for a Collaborative Supply Chain: Application to Tracking of Pallets and Containers // *Procedia Computer Science*. 2015. Vol. 56. Pp. 550-557. DOI: 10.1016/j.procs.2015.07.251
- [13] *Chen X.-Y., Jin Z.-G.* Research on Key Technology and Applications for Internet of Things // *Physics Procedia*. 2012. Vol. 33. Pp. 561-566. DOI: 10.1016/j.phpro.2012.05.104
- [14] *Zhou W.* RFID and item-level information visibility // *European Journal of Operational Research*. 2009. Vol. 198, Issue 1. Pp. 252-258. DOI: 10.1016/j.ejor.2008.09.017
- [15] *Domingos D., Martins F., Martinho R., Silva M.* Ad-hoc changes in IoT-aware business processes // *2010 Internet of Things (IOT)*, Tokyo, 2010. Pp. 1-7. DOI: 10.1109/IOT.2010.5678432
- [16] *Macaulay J., Buckalew L., Chung G.* Internet of Things in Logistics // *DHL Trend Res*. 2015. Vol. 1, Issue 1. Pp. 1-27. URL: <https://discover.dhl.com/content/dam/dhl/downloads/interim/full/dhl-trend-report-internet-of-things.pdf> (дата обращения: 12.06.2019).
- [17] *Sarac A., Absi N., Dauzere-Pères S.* A literature review on the impact of RFID technologies on supply chain management // *International Journal of Production Economics*. 2010. Vol. 128, Issue 1. Pp. 77-95. DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.07.039
- [18] *Autonomous Cooperation and Control in Logistics. Contributions and Limitations - Theoretical and Practical Perspectives / M. Hülsmann, B. Scholz-Reiter, K. Windt (Eds.)* Berlin, Springer, 2011. 371 p. DOI: 10.1007/978-3-642-19469-6
- [19] *Scholz-Reiter B., Windt K., Freitag M.* Autonomous Logistic Processes, New Demands and First Approaches // *Proc. 37th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*. Hungarian Academy of Science / L. Monostori (ed.) Budapest, Hungaria, 2004. Pp. 357-362.
- [20] *Schuldt A.* Multiagent Coordination Enabling Autonomous Logistics. Multiagent Coordination Enabling Autonomous Logistics. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. DOI: 10.1007/978-3-642-20092-2
- [21] *Schuldt A., Hribernik K. A., Gehrke J. D., Thoben K. D., Herzog O.* Cloud computing for autonomous control in logistics // *40th Annual Conference of the German Society for Computer Science (GI 2010) / K. P. Fähnrich, B. Franczyk (eds.)* LNI 175, Leipzig, Germany, 27 Sept-1 Oct., 2010, Gesellschaft für Informatik, 2010. Pp. 305-310.
- [22] *Gehrke J. D., Herzog O., Langer H., Malaka R., Porzel R., Warden T.* An Agent-based Approach to Autonomous Logistic Processes // *KI - Künstliche Intelligenz*. 2010. Vol. 24. Pp. 137-141. DOI: 10.1007/s13218-010-0027-1
- [23] *Gath M.* Optimizing Transport Logistics Processes with Multiagent Planning and Control. 2016. DOI: 10.1007/978-3-658-14003-8
- [24] *Schuhmacher J., Hummel V.* Self-organization of changeable intralogistics systems at the ESB Logistics Learning Factory // *Procedia Manufacturing*. 2019. Vol. 31. Pp. 194-199. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.03.031
- [25] *Yu J. J. Q., Lam A. Y. S.* Autonomous Vehicle Logistic System: Joint Routing and Charging Strategy // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2018. Vol. 19, Issue 7. Pp. 2175-2187. DOI: 10.1109/TITS.2017.2766682
- [26] *Fink P.W.* et al. Autonomous Logistics Management Systems for Exploration Missions // *AIAA SPACE and Astronautics Forum and Exposition*, Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2017. DOI: 10.2514/6.2017-5256
- [27] *Kusumakar R., Buning L., Rieck F., Schuur P., Tillema F.* INTRALOG - intelligent autonomous truck applications in logistics; single and double articulated autonomous rearward docking on DCs // *IET Intelligent Transport Systems*. 2018. Vol. 12, Issue 9. Pp. 1045-1052. DOI: 10.1049/iet-its.2018.0083
- [28] *Brousmiche K. L., Heno T., Poulain C., Dalmieres A., Ben Hamida E.* Digitizing, Securing and Sharing Vehicles Life-cycle over a Consortium Blockchain: Lessons Learned // *2018 9th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, Paris, 2018. Pp. 1-5. DOI: 10.1109/NTMS.2018.8328733
- [29] *Zheng Z., Xie S., Dai H.-N., Chen X., Wang H.* Blockchain challenges and opportunities: a survey // *International Journal of Web and Grid Services*. 2018. Vol. 14, Issue 4. Pp. 352-



375. DOI: 10.1504/IJWGS.2018.095647
- [30] Verhoeven P, Sinn F, Herden T. Examples from Blockchain Implementations in Logistics and Supply Chain Management: Exploring the Mindful Use of a New Technology // *Logistics*. 2018. Vol. 2, Issue 3. Pp. 20. DOI: 10.3390/logistics2030020
- [31] Yuan Y, Wang F. Towards blockchain-based intelligent transportation systems // 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Rio de Janeiro, 2016. Pp. 2663-2668. DOI: 10.1109/ITSC.2016.7795984
- [32] Grefen P, Hofman W, Dijkman R, Veenstra A., Peters S. An Integrated View on the Future of Logistics and Information Technology. 2018 // arXiv:1805.12485 [cs.OH].
- [33] Tijan E., Aksentjević S., Ivanić K., Jardas M. Blockchain Technology Implementation in Logistics // *Sustainability*. 2019. Vol. 11, Issue 4. Pp. 1185. DOI: 10.3390/su11041185
- [34] Трегубов В. Н., Каткова М. А. Информационное пространство логистического кластера: теория и методология формирования на основе облачных технологий: монография. Саратов: СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2019. 160 с.
- Поступила 12.06.2019; принята в печать 15.08.2018; опубликована онлайн 30.09.2019.
- Об авторе:**  
**Трегубов Владимир Николаевич**, профессор кафедры коммерции и инжиниринга бизнес-процессов, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. (410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77), доктор экономических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7793-3605>, [tregubovvn@outlook.com](mailto:tregubovvn@outlook.com)
- Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.
- ## References
- [1] Chapter 2 - The Anatomy of the Internet of Things. In: T. Macaulay (Ed.) *RloT Control. Understanding and Managing Risks and the Internet of Things*. Morgan Kaufmann, Boston, 2017, pp. 27-55. (In Eng.) DOI: 10.1016/B978-0-12-419971-2.00002-9
- [2] Kafle V., Fukushima Y, Harai H. Connecting the world through trustable Internet of Things. In: *2015 ITU Kaleidoscope: Trust in the Information Society (K-2015)*, Barcelona, 2015, pp. 1-8. (In Eng.) DOI: 10.1109/Kaleidoscope.2015.7383646
- [3] Kupriyanovsky V., Namiot D., Drozhzhinov V., Kupriyanovskay J., Ivanov M. Internet of Things in industrial plants. *International Journal of Open Information Technologies*. 2016; 4(12):69-78. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27543361> (accessed 12.06.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [4] Kupriyanovsky V., Ishumuratov A., Namiot D., Yartsev D., Utkin N., Nikolaev D. Digital Economy and the Internet of Things - negotiating data silo. *International Journal of Open Information Technologies*. 2016; 4(8):36-42. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26404464> (accessed 12.06.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [5] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017–2022 White Paper - Cisco, 2019. Available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-738429.html> (accessed 12.06.2019). (In Eng.)
- [6] Greengard S. The Internet of Things. The MIT Press, 2019. (In Eng.)
- [7] Gladkov V. The Internet of Things in Logistics: Joint Report of DHL and Cisco. JSON TV, Cisco, 2015. Available at: [http://json.tv/tech\\_trend\\_find/internet-veschey-v-logistike-sovmestnyy-otchet-dhl-i-cisco-20160511113055](http://json.tv/tech_trend_find/internet-veschey-v-logistike-sovmestnyy-otchet-dhl-i-cisco-20160511113055) (accessed 12.06.2019). (In Russ.)
- [8] The Internet of Things and Its Importance for Industry. PwCIL, 2017. 16 pp. Available at: [https://www.pwc.ru/ru/publications/iot-for-industry\\_.pdf](https://www.pwc.ru/ru/publications/iot-for-industry_.pdf) (accessed 12.06.2019). (In Eng.)
- [9] The Internet of Things. PTC Inc, 2014. 12 pp. Available at: [http://pts-russia.com/download/J4036\\_SCP\\_eBook\\_FINAL\\_ru\\_web.pdf](http://pts-russia.com/download/J4036_SCP_eBook_FINAL_ru_web.pdf) (accessed 12.06.2019). (In Russ.)
- [10] Leonov A.V. The Internet of Things - security challenges. *Omskiy nauchnyy vestnik* = Omsk Scientific Bulletin. 2015; 2(140):215-218. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23876335> (accessed 12.06.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [11] Diwan M.A. Internet of Things in Logistics: Towards Autonomous Logistics & Smart Logistics Entities. In: The International Maritime Transport & Logistics Conference (MARLOG 5). Toward Smart Ports, 13 - 15 March 2016. Valencia Port Foundation, 2016, 13 pp. Available at: <https://marlog.aast.edu/archive/2016/pdf/Papers/s06p02.pdf> (accessed 12.06.2019). (In Eng.)
- [12] Gnimpieba Z.D.R., Nait-Sidi-Moh A., Durand D., Fortin J. Using Internet of Things Technologies for a Collaborative Supply Chain: Application to Tracking of Pallets and Containers. *Procedia Computer Science*. 2015; 56:550-557. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.procs.2015.07.251
- [13] Chen X.-Y., Jin Z.-G. Research on Key Technology and Applications for Internet of Things. *Physics Procedia*. 2012; 33:561-566. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.phpro.2012.05.104
- [14] Zhou W. RFID and item-level information visibility. *European Journal of Operational Research*. 2009; 198(1):252-258. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.ejor.2008.09.017
- [15] Domingos D., Martins F., Martinho R., Silva M. Ad-hoc changes in IoT-aware business processes. In: *2010 Internet of Things (IOT)*, Tokyo, 2010, pp. 1-7. (In Eng.) DOI: 10.1109/IOT.2010.5678432
- [16] Macaulay J., Buckalew L., Chung G. Internet of Things in Logistics. *DHL Trend Res*. 2015; 1(1):1-27. Available at: <https://discover.dhl.com/content/dam/dhl/downloads/interim/full/dhl-trend-report-internet-of-things.pdf> (accessed 12.06.2019). (In Eng.)
- [17] Sarac A., Absi N., Dauzere-Pères S. A literature review on the impact of RFID technologies on supply chain management. *International Journal of Production Economics*. 2010; 128(1):77-95. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.ijpe.2010.07.039
- [18] Autonomous Cooperation and Control in Logistics. Contributions and Limitations - Theoretical and Practical Perspectives. In: Hülsmann M., Scholz-Reiter B., Windt K. (Eds.) Berlin, Springer, 2011. 371 p. (In Eng.) DOI: 10.1007/978-





- 3-642-19469-6
- [19] Scholz-Reiter B., Windt K., Freitag M. Autonomous Logistic Processes, New Demands and First Approaches. In: Monostori L. (ed.): *Proc. 37th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems. Hungarian Academy of Science, Budapest, Hungaria, 2004*, pp. 357-362. (In Eng.)
- [20] Schuldt A. Multiagent Coordination Enabling Autonomous Logistics. Multiagent Coordination Enabling Autonomous Logistics. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. (In Eng.) DOI: 10.1007/978-3-642-20092-2
- [21] Schuldt A., Hribernik K.A., Gehrke J.D., Thoben K.D., Herzog O. Cloud computing for autonomous control in logistics. In: Fähnrich, K.P., Franczyk, B. (eds.) *40th Annual Conference of the German Society for Computer Science (GI 2010)*, LNI 175, Gesellschaft für Informatik, pp. 305-310. Leipzig, Germany, 27 Sept-1 Oct., 2010. (In Eng.)
- [22] Gehrke J.D., Herzog O., Langer H., Malaka R., Porzel R., Warden T. An Agent-based Approach to Autonomous Logistic Processes. *KI - Künstliche Intelligenz*. 2010; 24:137-141. (In Eng.) DOI: 10.1007/s13218-010-0027-1
- [23] Gath M. Optimizing Transport Logistics Processes with Multiagent Planning and Control. 2016. (In Eng.) DOI: 10.1007/978-3-658-14003-8
- [24] Schuhmacher J., Hummel V. Self-organization of changeable intralogistics systems at the ESB Logistics Learning Factory. *Procedia Manufacturing*. 2019; 31:194-199. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.promfg.2019.03.031
- [25] Yu J.J.Q., Lam A.Y.S. Autonomous Vehicle Logistic System: Joint Routing and Charging Strategy. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2018; 19(7):2175-2187. (In Eng.) DOI: 10.1109/TITS.2017.2766682
- [26] Fink P.W. et al. Autonomous Logistics Management Systems for Exploration Missions. In: *AIAA SPACE and Astronautics Forum and Exposition*, Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2017. (In Eng.) DOI: 10.2514/6.2017-5256
- [27] Kusumakar R., Buning L., Rieck F., Schuur P., Tillema F. INTRALOG - intelligent autonomous truck applications in logistics; single and double articulated autonomous rearward docking on DCs. *IET Intelligent Transport Systems*. 2018; 12(9):1045-1052. (In Eng.) DOI: 10.1049/iet-its.2018.0083
- [28] Brousmiche K.L., Heno T., Poulain C., Dalmieres A., Ben Hamida E. Digitizing, Securing and Sharing Vehicles Life-cycle over a Consortium Blockchain: Lessons Learned. In: *2018 9th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, Paris, 2018, pp. 1-5. (In Eng.) DOI: 10.1109/NTMS.2018.8328733
- [29] Zheng Z., Xie S., Dai H-N., Chen X., Wang H. Blockchain challenges and opportunities: a survey. *International Journal of Web and Grid Services*. 2018; 14(4):352-375. (In Eng.) DOI: 10.1504/IJWGS.2018.095647
- [30] Verhoeven P., Sinn F., Herden T. Examples from Blockchain Implementations in Logistics and Supply Chain Management: Exploring the Mindful Use of a New Technology. *Logistics*. 2018; 2(3):20. (In Eng.) DOI: 10.3390/logistics2030020
- [31] Yuan Y., Wang F. Towards blockchain-based intelligent transportation systems. In: *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Rio de Janeiro, 2016, pp. 2663-2668. (In Eng.) DOI: 10.1109/ITSC.2016.7795984
- [32] Grefen P., Hofman W., Dijkman R., Veenstra A., Peters S. An Integrated View on the Future of Logistics and Information Technology. 2018. *arXiv:1805.12485* [cs.OH]. (In Eng.)
- [33] Tijan E., Aksentijević S., Ivanić K., Jardas M. Blockchain Technology Implementation in Logistics. *Sustainability*. 2019; 11(4):1185. (In Eng.) DOI: 10.3390/su11041185
- [34] Tregubov V.N., Katkova M.A. *Informacionnoe prostranstvo logisticheskogo klastera: teoriya i metodologiya formirovaniya na osnove oblachnyh tekhnologij* [Information Space of a Logistic Cluster: Theory and Methodology of Formation Based on Cloud Technologies]. SSTU, Saratov, 2019. (In Russ.)

Submitted 12.06.2019; revised 15.08.2019;  
published online 30.09.2019.

#### About the author:

**Vladimir N. Tregubov**, Professor of the Department of Commerce and Business Process Engineering, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (77 Politekhnicheskaya Str., Saratov 410054, Russia), Dr. Sci. (Economics), Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7793-3605>, [tregubovvn@outlook.com](mailto:tregubovvn@outlook.com)

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

