

УПРАВЛЕНИЕ И БИЗНЕС

УДК 004.9460

*Д. Чишич, А.Д. Антони,
В.Ф. Лукиных, Ю.В. Лукиных*

DOI: 10.36718/2500-1825-2020-2-30-45

КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕГРАЦИИ УСИЛЕННОЙ ЛОГИСТИКИ И ФИЗИЧЕСКОГО ИНТЕРНЕТА

*D. Cistic, A.D. Antoni,
V.F. Lukinykh, Yu.V. Lukinykh*

THE CONCEPT OF AUGMENTED LOGISTICS AND PHYSICAL INTERNET INTEGRATION

В данной статье представлены основы интеграции функционалов усиленной логистики и физического интернета, сопоставимые с использованием приложений в цифровом интернете. Усиленная логистика основана на концепции роста эффективности товародвижения путем разделения информации и физических операций в цепи поставок. Право собственности на ресурсы и контроль над ними достигаются с помощью информационных приложений в интернете, а не физического присутствия. Это предположение устраняет многочисленные эксплуатационные ограничения и позволяет более эффективно использовать общие ресурсы, даже при сохранении преимуществ однопользовательского контроля. Симбиоз концепций физического интернета, логистики и информационных коммуникаций предполагает новый подход к перемещению товаров по всей логистической сети поставок. Для интеграции усиленной логистики и физического интернета авторы предполагают создать устойчивую модель системы физического интернета. Ее структура будет разделена на три различных домена: глобальный (мировой), региональный (европейский, азиатский или иной) и локальный (пользовательская сеть), которые должны будут гармонично взаимодействовать между собой. Предлагаемая в работе структура будет использоваться для развития возможностей, необходимых для реализации ключевых концепций товародвижения, создания различных сценариев развития логистики, использования потенциала мониторинга данных, повышения безопасности перемещения грузов и цифровых данных.

Ключевые слова: интеграция, логистика, система, физический интернет, виртуальность, сети, уровни потоков, концепция, домен, управление, бизнес-модель, цепь поставок.

The study presents the basics of integrating functionality of augmented logistics and physical Internet, comparable to the use of applications on digital Internet. Augmented logistics is based on the concept of increasing the efficiency of product movement, by separating information and physical operations in the supply chain. Ownership and control of resources are obtained through information applications on the Internet instead of physical control. This assumption eliminates numerous operational constraints and allows more efficient use of shared resources even though maintaining the advantages of single-user control. The symbiosis of the concepts of physical Internet, logistics and virtuality implies a new approach to the movement of goods across the entire logistics network and supply chain. To integrate augmented logistics and the physical Internet, it is proposed to create a stable model of physical Internet system. Its structure will be divided into three different domains: global (world), regional (European, Asian or other) and local (user network), which will have to interact harmoniously with each other. Proposed structure will be used to develop the capabilities needed to implement key concepts of commodity movement, create various scenarios for logistics development, use the potential of the data monitoring, and improve the safety of cargo and digital data movement.

Keywords: integration, logistics, system, physical Internet, virtuality, networks, flow levels, concept, domain, management, business model, supply chain.



Введение. Интернет изменил способ организации бизнеса в мире. Сегодня меняются все виды деятельности – от физических и аналоговых до цифровых. Интернет как самая глобальная сеть – это по сути инфраструктура, включающая в себя различные информационные ресурсы. Однако только когда появилось множество сервисов и приложений, интернет начал свой экспоненциальный рост.

Логистика – это основа управления перемещением ценностей в современных условиях. В настоящее время логистика и управление цепями поставок медленно трансформируются из-за насущных экологических неизбежностей и социальных потребностей, но одновременно ускорение развития коммуникационных технологий порождает новые изменения в структуре мировой экономики. И хотя эти новые изменения несколько противоречивы, они направлены на повышение эффективности логистических практик. Кроме того, экологические и социальные огра-

ничения накладывают свои ограничения на использование логистических ресурсов.

Радикальный способ решения социальных, экологических и экономических задач предлагается в концепции физического интернета [Montreuil, Meller, & Ballot, 2012]. Эта концепция в основном представляется как идея преобразования логистических сетей на основе принципов интернета. Интересно, что впервые термин «физический интернет» был упомянут в журнале *Economist* [«The physical internet», 2006], где он использовался только в качестве заголовка для обзора логистических тенденций. Физический интернет очень похож на цифровой интернет, который позволяет доставлять информационный контент путем разделения его на небольшие пакеты, каждый из которых отправляется по собственному маршруту, а затем пакеты собираются в оригинальный контент на месте доставки. Таким образом, основные модули физического интернета представляют собой интеллектуальные модульные контейнеры, называемые л-контейнерами.

Контейнеризация грузов в логистике не является новой концепцией, поскольку мировые интермодальные перевозки основаны на стандартных 20- и 40-футовых контейнерах, но физический интернет предлагает создание мировых стандартных, экологически чистых (зеленых) и модульных интеллектуальных контейнеров, которые включали бы в себя все физические товары. Еще одной фундаментальной задачей физического интернета является универсальное подключение, позволяющее л-контейнерам «обеспечивать их быстрый, дешевый, легкий и надежный ввод, хранение, составление, разложение, мониторинг, защиту и вывод с помощью интеллектуальной, устойчивой и бесшовной автоматизации и обработки» [Montreuil, Ballot, & Fontane, 2012]. Основной предпосылкой для физического интернета является глобальная стандартизация, которая позволит направлять л-контейнеры в глобальную логистическую сеть точно так же, как цифровые интернет-пакеты направляются в глобальные информационные сети.

Физический интернет был представлен в научных работах [Furtado, Fakhfakh, Frayret, & Biard, 2013; Montreuil, Meller, et al., 2012]; применение инвентаризации – в работах [Pan, Nigrelli, Ballot, Sarraj, & Yang, 2015; Peng, Ji, & Ji, 2019; Venkatadri, Krishna, & Ülkü, 2016] и производство [Ji, Peng, & Luo, 2019; Peng et al., 2019]. Физические интернет-контейнеры были описаны в работах [Chargui, Bekrar, Reghioui, & Trentesaux, 2019; Gontara, Boufaied, & Korbaa, 2019; Landschützer, Ehrentraut, & Jodin, 2015; Meller, Lin, & Ellis, 2012; Sallez, Pan, Montreuil, Berger, & Ballot, 2016]. Также представлен всесторонний обзор литературы в публикации [Sternberg & Norrman, 2017], в котором подчеркивалось, что, хотя все большее число стратегий используется для физического интернета, нет никаких универсальных разработанных моделей, которые позволили бы перейти от укоренившихся логистических бизнес-моделей к физическо-

му интернету. Существуют недостатки в понимании бизнес-моделей, которые могут привлечь внимание заинтересованных сторон в целях повышения эффективности реализации концепции физического интернета.

В данный момент следует вспомнить историю интернета. Интернет и его основные части существовали за несколько лет до того, как резко возросло их использование. В то время интернет был похож на другие цифровые системы и даже не был самой ведущей из них. Большой сдвиг начался, когда был изобретен первый веб-браузер, создающий ценность для пользователя и позволивший сделать приложения для них базовыми инструментами.

Аналогично авторы статьи предлагают обозначить прикладной уровень физического интернета термином «усиленная логистика», поскольку множество цифровых, информационных и материальных логистических услуг и ресурсов в потоках ценностей дополняют физические логистические системы.

Усиленная логистика посредством физического интернета позволяет реализовывать эффект масштаба в товаропотоках за счет совместного использования интернет-ресурсов (виртуализированных ресурсов), гибкого их распределения и комплексного управления цепями поставок. В усиленной логистике информационные, физические и имущественные аспекты рассматриваются отдельно друг от друга, преобразуя ресурсы в услуги и виртуализируя (переводя в интернет-пространство) контроль над потоками товаров, информации, финансов и услуг [Clarke, 1998].

Сущность усиленной логистики заключается в том, что, как правило, основные логистические элементы, такие как транспортные средства, склады и активы – запасы или товары, существуют в реальном мире, но фундаментальной логистической потребностью является доступность актива, когда он необходим. При этом физические характеристики и право собственности на активы или товары являются несущественными, если необходимые активы или товары доступны, когда они востребованы. Это означает, что когда нужен грузовик для перевозки грузов, то неважно, как выглядит грузовик и кто его владелец, так как основным спросом является перевозка.

Усиленная логистика – это согласие на отделение физических ресурсов от процессов и операций и одновременное отделение информационных действий от физического распределения. Физический актив, например транспортное средство, рассматривается как товар, не имеющий отношения к его источнику, марке или владельцу. Это может быть сделано с использованием общего доступа к информации о логистических ресурсах, а также путем интеграции запасов, транспорта и производства с целью контроля и поддержания доступности продукции. Это не только устраняет многочисленные эксплуатационные ограничения,

но и позволяет более эффективно проектировать логистические системы.

Отметим, что подходы к реализации усиленной логистики, основанной на виртуальности, обсуждались в работах [Crowley, 1998; Dai, 2001] и [Cisic, Mohović, & Perić, 2006]. Внедрение виртуальной логистики в автомобильную промышленность обсуждалось в трудах [Schneider, 2007], в сельское хозяйство – [Yao, Xu, Cui, & Wang, 2008] и в транспорт – [He & Fu, 2019; Sundar, Garg, & Ramanayya, 2002; Zhuang, Lu, & Su, 2018].

Результаты исследования и их обсуждение. В усиленной логистике предполагается интеграция и трансформация существующих элементов и концепций логистики с новыми услугами, технологиями, бизнес-моделями и стандартами, что является основной задачей настоящего исследования. Кроме того, гармонизированные логистические системы и логистические ресурсы должна быть интегрированы в физический интернет с тем, чтобы обеспечить больший потенциал для обращения с ними, как с общими товарами и ресурсами.

Для исследования интеграции усиленной логистики и существующего физического интернета предлагается создать новую устойчивую модель физического интернета. Более того, в новой структуре предполагается, что в качестве инфраструктуры или протокола для будущих операций в цепи поставок будут созданы базовые логистические уровни, аналогичные модели OSI¹ или TCP/IP², включая протоколы и методы для базовых операций.

Структура исследования разделена на три различных домена: глобальный (мировой), региональный (европейский) и локальный (пользовательская сеть).

Глобальный – мировой домен будет использоваться для определения принципов координации и сотрудничества в глобальной сети поставок. Для определения тенденций и общих выводов будут созданы различные сценарии. Сценарии улучшают осведомленность об изменениях, проливая свет на сложное взаимодействие основных факторов и критических неопределенностей и повышая чувствительность к слабым и ранним сигналам о предстоящих значительных изменениях. Они способствуют взаимному пониманию и совместным действиям, предоставляя различным заинтересованным сторонам общие языки и концепции в неопасном контексте, тем самым открывая пространство для создания надежных, эффективных и новаторских стратегических вариантов с участием многих заинтересованных сторон. Физическая среда интернета также будет включать различные принципы и требования к существую-

¹ Модель взаимного соединения открытых систем – это концептуальная модель, которая характеризует и стандартизирует коммуникационные функции телекоммуникационной или вычислительной системы без учета ее базовой внутренней структуры и технологии.

² Протокол управления передачей – интернет-протокол, представляет собой набор коммуникационных протоколов, используемых для соединения сетевых устройств в интернете.

щим и новым маршрутам движения, особенно в условиях экономических, социальных и экологических ограничений. Глобальный домен будет использоваться для изучения и определения изменений, которые необходимы для их включения в глобальную физическую экосистему интернета.



Рис. 1. Основные структурные элементы исследования

Региональный – европейский домен будет использоваться для оптимизации цифровых и физических потоков, а также для изучения коридоров, хабов и синхромодальности¹. Для понимания требований к синхромодальным перевозкам будут созданы инструменты для большего количества данных и географического прогнозирования, а также будет предложена конструкция синхромодальных цепей поставок, чтобы создать бесшовные и прозрачные услуги грузовых перевозок, поддерживаемые модульной технологией погрузки и разгрузки. Динамическое отображение потребностей пользователей будет использоваться для создания более гибкого распределения виртуальных ресурсов по спросу. Это также позволит создавать гибридные каналы для параллельного распространения. Хабы будут играть особую роль в физической экосистеме интернета. Они станут основными пунктами во всей системе, поскольку им придется оптимизировать выравнивание цепей поставок при синхромодальных либо мультимодальных перевозках.

¹ Единого определения для синхромодальных перевозок пока не существует, но в данном предложении используется определение, адаптированное к платформе синхромодальности: синхромодальность – это оптимально гибкое и устойчивое распределение груза по различным видам и маршрутам в сети под руководством поставщика логистических услуг, так что заказчику (грузоотправителю или экспедитору) предлагается комплексное решение для его (внутреннего) транспорта.

Будут созданы децентрализованные и распределенные системы поддержки принятия решений, а также автоматические операционные управленческие системы. Усиленная логистика позволит разработать математические модели многоцелевой, многопериодной интермодальной/ синхромодальной работы хаба и его местоположения (в частности, звездообразных сетевых структур). Такие модели будут представлять собой крупномасштабные математические модели, для которых будут разрабатываться алгоритмы решения задач товародвижения в физическом интернете. Кроме того, эта структура будет использовать математические модели для надежного проектирования многопериодной сети обслуживания с учетом входных данных с верхнего уровня и возможной обратной связи с нижнего уровня, но также будет решать проблемы с неопределенностью в спросе и предложении услуг. Полученные модели будут представлять собой мультимодальные, многопериодические стохастические модели программирования маршрутов с учетом перевалки (промежуточных объектов) и синхромодальности, а также мер по охране окружающей среды и устойчивости товародвижения. Факторы перегруженности и уровня обслуживания также будут интегрированы в моделях.

Локальный домен будет использоваться для развертывания информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в качестве интегрирующих технологий для создания новых бизнес-моделей в региональном пространстве, которые возможно будет формировать на основе новых логистических технологий и новых концепций цепи поставок. Эти бизнес-модели будут включать оценку и применение интеллектуальных объектов, интеллектуальных устройств, интернета вещей, интеллектуальных транспортных систем, анализа данных, интеллектуальных узлов цепей поставок, физической поддержки интернета, а также систем планирования, виртуализации и дематериализации активов. Новые бизнес-модели будут включать в себя, помимо прочего, цифровые подсистемы, интегрированные цепи поставок, производственные структуры, такие как сервис, хабы, играющие роль элементов цепи поставок и производство комплектующих.

Концепция и методология. Подлинно интегрированная система устойчивой и эффективной логистики должна базироваться на физическом интернете как открытой и глобальной системе транспортных и логистических активов, узлов, ресурсов и услуг, эксплуатируемых в открытой среде и рамочных условиях.

Физический интернет можно рассматривать как копию интернета в транспортном домене, и поэтому можно проводить сравнения между обеими системами. Некоторое время интернет существовал как компьютерная сеть, включавшая в себя коммуникационные протоколы, но его внезапное развитие и расширение было обусловлено появлением приложений, которые использовали его в качестве основы. Физический интернет, хотя и не полностью созданный, будет иметь свою ценность в це-

пи поставок и логистической области только тогда, когда будут созданы «приложения» в виде усиленной логистики для использования ее преимуществ. В отличие от классических цифровых коммуникаций цепь поставок и логистические услуги имеют множество других основных движущих факторов [Qiao, Pan, & Ballot, 2020].



Рис. 2. Концепция структуры интеграции усиленной логистики и физического интернета

Координация логистики, транспорта, инфраструктуры и сетей снабжения направлена на перемещение, хранение, поставку и использование физических объектов по всему миру таким образом, чтобы они были экономически, экологически и социально эффективными, безопасными и устойчивыми. Эта система будет основана на физической, цифровой и операционной взаимосвязанности, обеспечиваемой посредством модульности и стандартизации интерфейсов и протоколов.

Полная реализация концепции физического интернета означает, что логистические активы и услуги перестают быть дифференцирующим фактором, поскольку они полностью стандартизированы, интегрированы и совместно используются на глобальном уровне. Иными словами,

сети и цепи поставок снабжения станут товаром, доступным любому отправителю и получателю. Кроме того, усиленная логистическая концепция добавит виртуальность к активам, дифференцируя информационные, физические и имущественные характеристики, что позволит полностью перевести в интернет (виртуализировать) активы. В этом окончательном сценарии конкуренция больше не будет основываться на собственных и индивидуально оптимизированных цепях поставок. Более сложные логистические функции, такие как планирование сети на основе спроса, послепродажное обслуживание и оптимизированное распределение запасов, будут стимулировать конкуренцию между лидерами цепи поставок.

Структурная концепция разделена на три части: усиленная логистика, физический интернет, а затем интеграция усиленной логистики и физического интернета, как показано на рисунке 2.

Интеграция усиленной логистики и физического интернета. Концепция предлагаемой в исследовании структуры заключается в создании интеграции усиленной логистики и физического интернета. Задача состоит в том, чтобы создать новые функциональные возможности логистических систем таким образом, чтобы в полной мере использовать потенциал как физического интернета, так и усиленной логистики. Главным понятием в рамках этой системы будет координация и сотрудничество в рамках глобальной сети поставок. Цепи поставок становятся все более глобальными, и поэтому системы логистики в региональной и локальной средах требуют системной модернизации при объединении концепций усиленной логистики и физического интернета. Следовательно, структура имеет три различных домена, которые будут гармонично взаимодействовать между собой и передавать результаты друг от друга. Там, где глобальная перспектива слишком сложна, приложения и модели будут создаваться и тестироваться в последующей области (локальной или региональной), а затем применяться в глобальной структуре. Будут определены и исследованы принципы горизонтального и вертикального сотрудничества, позволяющие всем заинтересованным сторонам использовать их в новых сценариях и бизнес-моделях.

В рамках этой программы будут определены ключевые глобальные тенденции с использованием демографии, экономики, ресурсов, окружающей среды и технологий в качестве движущих сил глобальной торговли. Кроме того, определение, исследование и трансформация существующих и новых маршрутов движения в новой физической среде интернета станут основной темой этой глобальной задачи.

Будущие сети снабжения требуют создания синхронной транспортной системы, в рамках которой перевозки осуществляются в основном автоматически и оптимально. Процесс оптимизации должен учитывать множество понятий одновременно. Адаптивная стратегия синхро-

модальных перевозок в глобальной и европейской транспортной инфраструктуре будет определена для оказания помощи глобальным цепям поставок и производственным предприятиям в качестве конечных пользователей.

Для использования потенциала интеллектуального анализа данных и технологий машинного обучения будет создана целостная модель анализа данных. Параллельные и распределенные системы будут созданы для улучшения не только прогнозирования и планирования, но и обеспечения устойчивого маршрута в будущих цепях поставок.

Оптимальный переход к физической модели интернета.

Для интеграции усиленной логистики и физического интернета в структуре исследования будет создана устойчивая модель физического интернета. Несмотря на то что физический интернет в этой структуре считается инфраструктурой или кодексом поведения для будущих операций цепи поставок, будут определены базовые логистические уровни, сопоставимые с моделью OSI или TCP/IP, включая процедуры и методы для базовых операций (см. рис. 1). Первый уровень логистической взаимосвязи будет отвечать за цифровые и физические потоки [Montreuil, Ballot et al., 2012]. Физические потоки, включая модульную упаковку, будут определяться звездообразной сетью для всех видов транспорта. Этот уровень также позволит грузоотправителям (производителям, розничным торговцам), перевозчикам и другим поставщикам логистических услуг подключаться к физическому интернету и оптимизировать согласование между цепями поставок и транспортными услугами.

Транспортный уровень будет обеспечивать передачу товаров в сети от узла к узлу, предоставляя такие услуги, как управление потоком, контроль перегрузки и надежность линий связи. Он также будет отвечать за оптимальные синхромодальные перевозки. Сетевой уровень будет служить для управления маршрутизацией во всей сети. Этот уровень должен учитывать, что перевозчики должны оптимизировать работу между различными альтернативными маршрутами в своих сетях, минуя хабы или предпринимая другие маршруты. Поэтому эта структура должна создать систему поддержки принятия решений, которая позволит оптимизировать все протоколы маршрутизации и точную доставку заказов. Система поддержки принятия решений будет параллельной и распределенной с дополнительными концепциями искусственного интеллекта и машинного обучения.

Особое внимание в рамках всей системы будет уделено управлению данными, конфиденциальности и безопасности, поскольку они будут наиболее важными факторами в процессе физического внедрения интернета.

Создание условий для интеграции усиленной логистики с физическим интернетом. Для интеграции усиленной логистики с

физическим интернетом необходимо определить и использовать концепции усиленной логистики.

Как правило, основное предположение в логистике состоит в том, что активы, запасы или транспортные средства, например, должны существовать материально и быть различимы как отдельные объекты, подлежащие использованию. Тем не менее важно то, что актив доступен, когда это необходимо, а его местоположение, владение и демонстрация имеют меньшее значение¹. Виртуализация ресурсов и активов позволит отделить доступность от физической формы и соответственно разделить информационные и физические характеристики. Это обеспечивает исключительную гибкость в использовании активов, а также в проектировании систем. Благодаря интернету, и особенно физическому интернету, виртуализация ресурсов может создать много новых эффективных потенциалов в проектировании логистических систем, а также возможности для значительного повышения эффективности.

Кроме того, применение новых и благоприятных технологий, таких как интернет вещей (IoT)², аналитика и мониторинг данных, искусственный интеллект, машинное обучение и блокчейн позволят заинтересованным сторонам в области транспорта и логистики более экономично интегрировать свои операции, управлять проблемами своих сетей поставок и улучшить использование активов с более низкими социальными и экологическими последствиями, используя упрощение и стандартизацию, пересмотр деловой практики и гармонизацию бизнес-процессов.

Трансформация существующих бизнес-моделей в усиленной логистике обеспечивает рост за счет новых технологий и это заключается в том, чтобы делать новые вещи новыми способами, которые создают новую ценность для сотрудников, клиентов, граждан и деловых партнеров. На рынках появляются массовые инновации в сфере транспорта и логистики. Например, динамика платформенных компаний, таких как Uber и Lyft, создают ценность, облегчая обмены между заинтересованными сторонами, но они угрожают массово консолидировать прибыль отрасли. Точно так же бизнес-модель Apple, которая контролирует цепь поставок аутсорсинговой китайской производственной компании, трансформирует производство как основной бизнес на формат обслуживания.

Новые технологии и цифровизация в логистике и транспорте создают и будут создавать множество инновационных бизнес-моделей. Новые технологические тенденции позволяют не только создавать новые бизнес-модели, но и изменять цепи поставок, как это происходит се-

¹ Это означает, что вам не нужно конкретное транспортное средство, принадлежащее Джону Доу, но когда нам нужно перевозить товары, можно использовать любое транспортное средство, способное перевозить необходимое количество товаров в требуемое время и с требуемым качеством.

² Иногда интернет вещей (IoT) рассматривается как синоним PhI; это две очень разные вещи. IoT – это сеть устройств, которые создают и обмениваются данными, а PhI – это сеть транспортных средств, транспортных маршрутов и узлов.

годня. Интеллектуальные объекты будут взаимодействовать не только с людьми, но и с другими интеллектуальными объектами для автоматизации взаимодействий и создания автономного поведения. Интеллектуальные объекты, такие как интеллектуальные транспортные средства, будут основными драйверами для физического интернета.

Заключение. Концепция физического интернета предполагает новый подход к перемещению товаров к клиентам по всей логистической сети и цепям поставок. Этот принцип предполагает транспортировку грузов от узла к узлу до достижения конечного пункта назначения.

Мы предлагаем здесь основу для интеграции принципов усиленной логистики в физическом интернете. Усиленная логистика основана на концепции виртуальности, добавленной к основным принципам логистики, путем разделения информационных и физических частей операций цепи поставок. Это предположение устраняет многочисленные операционные ограничения и позволяет более эффективно использовать общие ресурсы даже при сохранении преимуществ однопользовательского управления.

Предложенная в исследовании концепция усиленной логистики порождает новую логистическую парадигму за счет виртуализации ресурсов, интеллектуализации объектов и формирования новых бизнес-моделей, что ускоряет развитие физического интернета за счет создания базовой информационной инфраструктуры и разработки логистических продуктов, включая системы маршрутизации и поддержки принятия решений.

Координация и сотрудничество в глобальной сети поставок являются основным понятием в рамках этой системы. Цепи поставок становятся все более глобальными, и поэтому исследования логистики в региональной и локальной средах приводят к выводам о необходимости объединения концепций усиленной логистики и физического интернета путем создания трехуровневой системы на базе таких основных доменов, как глобальный (мировой), региональный (европейский) и локальный, что приведет к созданию цифровой системы в совместной экосистеме. Эта структура будет использоваться для развития возможностей, необходимых для реализации ключевых концепций, создания различных сценариев развития логистики, использования потенциала анализа данных, повышения безопасности грузов и данных, создания самоорганизующихся логистических активов и обеспечения горизонтальной и вертикальной интеграции.

Литература

1. *Chargui, T., Bekrar, A., Reghioui, M., & Trentesaux, D.* (2019). Proposal of a multi-agent model for the sustainable truck scheduling and containers

- grouping problem in a Road-Rail physical internet hub. *International Journal of Production Research*. DOI:10.1080/00207543.2019.1660825.
2. *Cisic, D., Mohović, R., & Perić, J.* (2006). *Virtual logistic warehousing*. Paper presented at the MIPRO 2006 – 29th International Convention Proceedings: Digital Economy – 3rd ALADIN, Information Systems Security and Business Intelligence Systems.
 3. *Clarke, M.P.* (1998). Virtual logistics: An introduction and overview of the concepts. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28(7), 486-507. DOI:10.1108/09600039810247461.
 4. *Crowley, J. A.* (1998). Virtual logistics: Transport in the marketspace. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28(7), 547-574. DOI:10.1108/09600039810247470.
 5. *Dai, Y.* (2001). Virtual logistics in supply chain and its application in Internet. *Shanghai Haiyun Xueyuan Xuebao/Journal of Shanghai Maritime University*, 22(4), 36.
 6. *Furtado, P., Fakhfakh, R., Frayret, J. M., & Biard, P.* (2013). Simulation of a Physical Internet - Based transportation network.
 7. *Gontara, S., Boufaied, A., & Korbaa, O.* (2019). Routing the Pi-Containers in the Physical Internet using the PI-BGP Protocol.
 8. *He, P., & Fu, Q.* (2019). Collaborative Development Modes of Ocean Logistics Companies Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation. *Journal of Coastal Research*, 94(sp1), 712-716. DOI:10.2112/SI94-141.1.
 9. *Ji, S.F., Peng, X.S., & Luo, R.J.* (2019). An integrated model for the production-inventory-distribution problem in the Physical Internet. *International Journal of Production Research*, 57(4), 1000-1017. DOI:10.1080/00207543.2018.1497818.
 10. *Landschützer, C., Ehrentraut, F., & Jodin, D.* (2015). Containers for the Physical Internet: requirements and engineering design related to FMCG logistics. *Logistics Research*, 8(1). DOI:10.1007/s12159-015-0126-3.
 11. *Meller, R.D., Lin, Y.H., & Ellis, K.P.* (2012). The impact of standardized metric Physical Internet containers on the shipping volume of manufacturers.
 12. *Montreuil, B., Ballot, E., & Fontane, F.* (2012). An open logistics interconnection model for the physical internet.
 13. *Montreuil, B., Meller, R. D., & Ballot, E.* (2012). Physical internet foundations.
 14. *Pan, S., Nigrelli, M., Ballot, E., Sarraj, R., & Yang, Y.* (2015). Perspectives of inventory control models in the Physical Internet: A simulation study. *Computers and Industrial Engineering*, 84, 122–132. DOI:10.1016/j.cie.2014.11.027.
 15. *Peng, X. S., Ji, S. F., & Ji, T. T.* (2019). Promoting sustainability of the integrated production-inventory-distribution system through the Physical Internet. *International Journal of Production Research*. DOI:10.1080/00207543.2019.1687953.

16. The physical internet. (2006). *Economist*, 379(8482), 3–4.
17. Qiao, B., Pan, S., & Ballot, E. (2020). Revenue optimization for less-than-truckload carriers in the Physical Internet: dynamic pricing and request selection. *Computers and Industrial Engineering*, 139. DOI:10.1016/j.cie.2018.12.010.
18. Sallez, Y., Pan, S., Montreuil, B., Berger, T., & Ballot, E. (2016). On the activeness of intelligent Physical Internet containers. *Computers in Industry*, 81, 96-104. DOI:10.1016/j.compind.2015.12.006.
19. Schneider, M. (2007). Virtual logistics in the automobile industry. *ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 102(3), 164–168. DOI:10.3139/104.101121.
20. Sternberg, H., & Norrman, A. (2017). The Physical Internet – review, analysis and future research agenda. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 47(8), 736–762. DOI:10.1108/IJPDLM-12-2016-0353.
21. Sundar, D.K., Garg, S., & Ramanayya, T.V. (2002). Integrated virtual logistics network for quick responses. Paper presented at the Proceedings of the Conference on Traffic and Transportation Studies, ICTTS.
22. Venkatadri, U., Krishna, K.S., & Ülkü, M.A. (2016). On Physical Internet Logistics: Modeling the Impact of Consolidation on Transportation and Inventory Costs. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(4), 1517–1527. DOI:10.1109/TASE.2016.2590823.
23. Yao, X., Xu, G., Cui, Y., & Wang, X. (2008). Virtual logistics organization of agricultural products based on swarm intelligence. Paper presented at the Proceedings of the 8th International Conference of Chinese Logistics and Transportation Professionals – Logistics: The Emerging Frontiers of Transportation and Development in China.
24. Zhuang, Y., Lu, J., & Su, Z. (2018). Research on vehicles and cargos matching model based on virtual logistics platform. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.

Literatura

1. Chargui, T., Bekrar, A., Reghioui, M., & Trentesaux, D. (2019). Proposal of a multi-agent model for the sustainable truck scheduling and containers grouping problem in a Road-Rail physical internet hub. *International Journal of Production Research*. DOI:10.1080/00207543.2019.1660825
2. Cisic, D., Mohović, R., & Perić, J. (2006). Virtual logistic warehousing. Paper presented at the MIPRO 2006 – 29th International Convention Proceedings: Digital Economy – 3rd ALADIN, Information Systems Security and Business Intelligence Systems.
3. Clarke, M.P. (1998). Virtual logistics: An introduction and overview of the concepts. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28(7), 486-507. doi:10.1108/09600039810247461.

4. *Crowley, J.A.* (1998). Virtual logistics: Transport in the marketpace. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28(7), 547-574. DOI:10.1108/09600039810247470.
5. *Dai, Y.* (2001). Virtual logistics in supply chain and its application in Internet. *Shanghai Haiyun Xueyuan Xuebao/Journal of Shanghai Maritime University*, 22(4), 36.
6. *Furtado, P., Fakhfakh, R., Frayret, J. M., & Biard, P.* (2013). Simulation of a Physical Internet - Based transportation network.
7. *Gontara, S., Boufaied, A., & Korbaa, O.* (2019). Routing the Pi-Containers in the Physical Internet using the PI-BGP Protocol.
8. *He, P., & Fu, Q.* (2019). Collaborative Development Modes of Ocean Logistics Companies Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation. *Journal of Coastal Research*, 94(sp1), 712-716. DOI:10.2112/SI94-141.1.
9. *Ji, S. F., Peng, X. S., & Luo, R. J.* (2019). An integrated model for the production-inventory-distribution problem in the Physical Internet. *International Journal of Production Research*, 57(4), 1000-1017. DOI:10.1080/00207543.2018.1497818.
10. *Landschützer, C., Ehrentraut, F., & Jodin, D.* (2015). Containers for the Physical Internet: requirements and engineering design related to FMCG logistics. *Logistics Research*, 8(1). DOI:10.1007/s12159-015-0126-3.
11. *Meller, R. D., Lin, Y. H., & Ellis, K. P.* (2012). The impact of standardized metric Physical Internet containers on the shipping volume of manufacturers.
12. *Montreuil, B., Ballot, E., & Fontane, F.* (2012). An open logistics interconnection model for the physical internet.
13. *Montreuil, B., Meller, R. D., & Ballot, E.* (2012). Physical internet foundations.
14. *Pan, S., Nigrelli, M., Ballot, E., Sarraj, R., & Yang, Y.* (2015). Perspectives of inventory control models in the Physical Internet: A simulation study. *Computers and Industrial Engineering*, 84, 122-132. DOI:10.1016/j.cie.2014.11.027.
15. *Peng, X. S., Ji, S. F., & Ji, T. T.* (2019). Promoting sustainability of the integrated production-inventory-distribution system through the Physical Internet. *International Journal of Production Research*. DOI:10.1080/00207543.2019.1687953.
16. The physical internet. (2006). *Economist*, 379(8482), 3-4.
17. *Qiao, B., Pan, S., & Ballot, E.* (2020). Revenue optimization for less-than-truckload carriers in the Physical Internet: dynamic pricing and request selection. *Computers and Industrial Engineering*, 139. DOI:10.1016/j.cie.2018.12.010.
18. *Sallez, Y., Pan, S., Montreuil, B., Berger, T., & Ballot, E.* (2016). On the activeness of intelligent Physical Internet containers. *Computers in Industry*, 81, 96-104. DOI:10.1016/j.compind.2015.12.006.

19. *Schneider, M.* (2007). Virtual logistics in the automobile industry. *ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 102(3), 164–168. DOI:10.3139/104.101121.
20. *Sternberg, H., & Norrman, A.* (2017). The Physical Internet – review, analysis and future research agenda. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 47(8), 736–762. DOI:10.1108/IJPDLM-12-2016-0353.
21. *Sundar, D. K., Garg, S., & Ramanayya, T. V.* (2002). Integrated virtual logistics network for quick responses. Paper presented at the Proceedings of the Conference on Traffic and Transportation Studies, ICTTS.
22. *Venkatadri, U., Krishna, K. S., & Ülkü, M. A.* (2016). On Physical Internet Logistics: Modeling the Impact of Consolidation on Transportation and Inventory Costs. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(4), 1517–1527. DOI:10.1109/TASE.2016.2590823.
23. *Yao, X., Xu, G., Cui, Y., & Wang, X.* (2008). Virtual logistics organization of agricultural products based on swarm intelligence. Paper presented at the Proceedings of the 8th International Conference of Chinese Logistics and Transportation Professionals – Logistics: The Emerging Frontiers of Transportation and Development in China.
24. *Zhuang, Y., Lu, J., & Su, Z.* (2018). Research on vehicles and cargos matching model based on virtual logistics platform. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.

