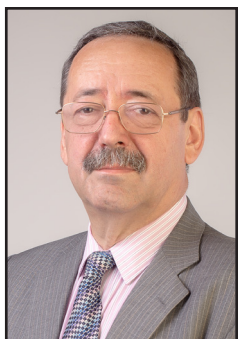
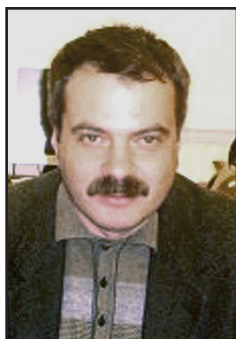




Физический интернет и транспортно-логистические системы цифровой экономики

**Василий КУПРИЯНОВСКИЙ****Дмитрий НАМИОТ****Олег ПОКУСАЕВ**

Куприяновский Василий Павлович – Российский университет транспорта, Москва, Россия.
Намиот Дмитрий Евгеньевич – Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия.
Покусаев Олег Николаевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия*.

В работе рассматриваются вопросы развития транспортно-логистических систем с учётом развития физического интернета. Широкое признание получило определение физического интернета как глобальной открытой логистической системы, основанной на принципах физической, цифровой и операционной взаимосвязи, стандартных и свободных «интерфейсах» и «протоколах», по аналогии с цифровым интернетом [1; 2]. Он построен на базе типизации как контейнеров для перевозки грузов, так и средств их обработки и доставки. Это позволяет фактически создать новую отрасль, в которой отправитель груза не указывает вид транспорта, а система работает по принципам цифрового интернета, маршрутизируя контейнеры (аналоги пакетов в цифровом интернете) и собирая их в нужном месте в нужное время. Концепция физического интернета направлена на реализацию полной взаимосвязанности в части информационных, физических и финансовых потоков, нескольких сетей грузовых перевозок и логистических услуг, а также их готовность к беспрепятственному использованию в качестве одной боль-

шой логистической сети. Беспрепятственное физическое, цифровое и финансовое соединение логистических сетей будет включать операции транспортировки, хранения и физической обработки грузовых единиц (контейнеров, съёмных кузовов, поддонов и т.д.) [3]. Иными словами – это физические объекты, что и даёт название всей системе – физический интернет. Естественно, что в такой системе неизбежно встаёт вопрос о стандартизации таких физических объектов (по аналогии со стандартизацией пакетов). Отсюда и появляются так называемые π -контейнеры – специальные унифицированные контейнеры для хранения, грузообработки, транспортировки материальных объектов в системе физического интернета. На данный момент физический интернет существует уже не только как теоретическая концепция. Его внедрение осуществляется во многих странах. Есть уже и первые российские компании, которые начали продвижение этой концепции. Целью статьи является обзор текущего состояния этой логистической модели в России и мире на основе анализа источников и практических реализаций.

Ключевые слова: логистика, транспортно-логистические системы, физический интернет, контейнеры, грузовые перевозки, маршрутизация.

*Информация об авторах:

Куприяновский Василий Павлович – заместитель директора Научно-образовательного центра «Цифровые высокоскоростные транспортные системы» Российской открытой академии транспорта (НОЦ ЦВТС) Российского университета транспорта, Москва, Россия, ✉ v.kupriyanovsky@rut.digital.

Намиот Дмитрий Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории открытых информационных технологий факультета вычислительной математики и кибернетики (ВМК) Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия, dnamiot@gmail.com.

Покусаев Олег Николаевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры высокоскоростных транспортных систем, директор Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта, Москва, Россия, o.pokusaev@rut.digital.

Статья поступила в редакцию 23.03.2020, актуализирована 15.01.2021, принята к публикации 26.02.2021.

For the English text of the article please see p. 101.

ВВЕДЕНИЕ

Роль транспорта и логистики в экономике растёт крайне быстро, и эта тенденция только ускорилась при переходе к цифровой экономике, которая порождает создание новых парадигм в транспортно-логистическом секторе, которые базируются во многом на разнообразных расширениях интернета, использовании новых возможностей. Уже появились термины «интернет поездов, самолётов, судов».

Однако происходит и объективное усложнение процессов организации грузовых перевозок и логистики как в мире, так и в отдельных регионах, например, в ЕС [4]. Эти тенденции не миновали и Россию, которая является важной частью мирового транспортно-логистического пространства.

В связи с растущими потребностями в транспорте и логистике выходом видится постепенный подход к физическому интернету (Physical Internet/ PI / π) – глобальной открытой логистической системе, основанной на принципах физической, цифровой и операционной взаимосвязи, стандартных и свободных «интерфейсах» и «протоколах», по аналогии с цифровым интернетом [1; 2].

Как ранее указывалось исследователями, в том числе и авторами статьи, концепция PI направлена на реализацию полной взаимосвязанности (информационных, физических и финансовых потоков) нескольких (частных) сетей грузовых перевозок и логистических услуг и их готовность к беспрепятственному использованию в качестве одной большой логистической сети [3]. Беспрепятственное физическое, цифровое и финансовое соединение логистических сетей будет включать операции транспортировки, хранения и физической обработки грузовых единиц, таких как контейнеры, съёмные кузова, поддоны и т.д. [3]. Барьеры для того, чтобы стать частью сети, предоставляющей доступ к частным услугам, ресурсам, доступным в сети PI, должны быть очень низкими. В долгосрочной перспективе различные сетевые операторы и поставщики услуг, вероятно, предложат подключение по принципу «включай и работай» заинтересованным сторонам цепочки поставок. Будет обеспечена полная видимость и управление цепочками поставок для каждого участника в соответствии с его

операциями [3]. Более детально технические подробности этого подхода изложены в [4].

Общими этапами этого перехода к PI, по мнению большинства исследователей, являются:

- взаимосвязанная логистика – концепция развития цепей поставок, подразумевающая общедоступность и унификацию распределительных центров, хабов, транспортных средств и тары;
- π -контейнеры – специальные унифицированные контейнеры для хранения, грузообработки, транспортировки материальных объектов в системе физического интернета.

В итоге должна заработать схема соединения физического и цифрового мира, создающая цифрового двойника физической транспортной единицы, реализующая этапы и возможности перехода к физическому интернету, тесно связанному с цифровым интернетом.

Вопросам физического интернета в настоящее время в мире посвящается множество работ, из числа которых исключительно в порядке иллюстрации многовекторности ведущихся исследований можно упомянуть [6–10].

С практической точки зрения, внедрение решений, основанных на физическом интернете, является важным этапом реализации транспортно-логистических проектов, в том числе в региональном масштабе.

Например, в ЕС эволюцию транспортно-логистических связей во многом обуславливают развитием международных транспортных коридоров (МТК) TEN-T [5], достаточно давно исходя из простых соображений – надо внедрять инновации (в том числе и цифровые) там, где они принесут максимальную пользу. Как будет показано далее, на определённом этапе предусматривается использование физического интернета. Уже сегодня в ЕС складывается практика реального построения МТК, в некоторых вопросах выходящая за пределы употребляемой в научном обиходе научной терминологии. Программа TEN-T действует довольно давно и предусматривает взаимодействие практически всех видов транспорта (мультиmodalность). К ней нормативно относятся девять основных европейских коридоров [5], которые финансируются по разным схемам. Срок полной реализации



Технологическая эволюция: развитие «физического» интернета

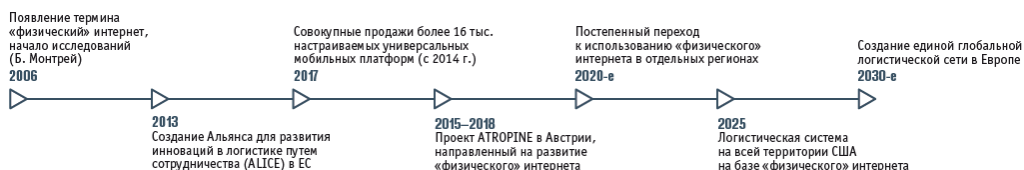


Рис. 1. Технологическая эволюция: развитие физического Интернета [13].

программы развития ТЕН-Т установлен на 2030 год. Ещё более амбициозные задачи по развитию транспортной системы намечено решить к 2050 году [5].

С точки зрения общих инновационных транспортно-логистических решений ЕС по МТК можно выделить следующие этапы:

Первый этап. Мульти-modalность (уже является нормативным требованием), которая означает для логистических цепей, в том числе, сопряжения инфраструктурной сети видов транспорта в определённых точках или узлах.

Второй этап. Синхромодальность (является текущей практикой реализации), которая означает синхронизацию расписаний нескольких видов транспорта для исключения потерь и улучшения экономических показателей.

Наиболее важным с точки зрения предмета нашего обзорного исследования является переход к *третьему этапу* — развёртыванию с 2030 года физического интернета. Один из его ключевых принципов — типизация.

Физический интернет построен на базе типизации как контейнеров для перевозки грузов, так и средств их обработки и доставки. Это позволяет фактически создать новую отрасль, в которой отправитель груза не указывает вид транспорта, а система работает по принципам цифрового интернета, маршрутизируя контейнеры (пакеты в цифровом интернете) и собирая их в нужном месте в нужное время. Реализация физического интернета даст весьма существенные с точки зрения экономики результаты.

Таким образом, используя материалы ЕС, можно построить общую идеологию развития МТК на базе имеющихся практик и решений, добиться существенной экономии средств при развитии коридора и обеспечить в необходимой мере стыковку с теми коридорами ТЕН-Т, развитие которых уже вышло за пределы ЕС.

Необходимо отметить, что, например, в случае с МТК «Север—Юг» подразумевается использование естественных (природных) транспортных водных путей Волги и Каспийского моря, и аналогичные проекты по использованию естественных транспортных путей в коридорах уже развиваются в ЕС. Имеется цепь проектов, использующих Дунай и Чёрное море, в которых уже провозглашено использование физического интернета [11–12].

С этой точки зрения несомненный интерес представляет эволюция подходов к физическому интернету в России, вследствие чего целью статьи является обзор текущего состояния и перспектив развития этой логистической модели в России на основе *методов* контент-анализа спектра научных публикаций и других информационных источников, а также практических реализаций.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Физический интернет в России — история вопроса

До недавнего времени изучение физического интернета проходило в России не достаточно активно и ограничивалось совсем небольшим числом публикаций. Так, в [13] была приведена в целом справедливая временная шкала по технологическому развитию PI (рис. 1).

При этом была дана оценка уровня развития этой технологии в России, подчёркивающая наличие «белых пятен» и существенное отставание от мирового уровня (по состоянию на 2018 год) [13]. В 2019 году в работе [14] был приведён развёрнутый анализ связи современного транспорта и логистики с физическим интернетом, заслуживающий того, чтобы привести его достаточно подробно. В частности, было указано, что «современная глобальная логистика — это всё больше «физический интернет», сеть предоставляемых услуг,

Гиперсвязанное производство

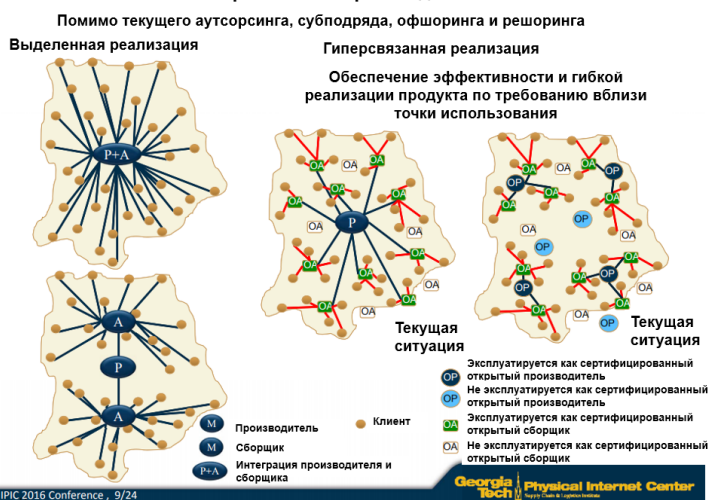


Рис. 2. Гиперсвязанное производство и физический интернет (IPIP 2016) [16].

которая поддерживает физическое перемещение товаров как внутри страны, так и за её пределами. Логистика – это целый комплекс, который включает в себя не только транспортировку, но и складирование, брокерские услуги, экспресс-доставку, терминалы. Международные игроки рынка логистических услуг предлагают широкий спектр диверсифицированных решений для торговли и производителей товаров, генерируя оборот, превосходящий 4,3 трлн долларов США. По показателям информационного развития Российской Федерации нам есть куда расти, ведь будущее в логистическом секторе – за информационными технологиями и интенсивным ростом пропускной способности инфраструктурных объектов... Согласно данным Всемирного банка, Россия занимает 75-е место в рейтинге стран по индексу логистической эффективности в 2018 году, улучшив свои показатели по сравнению с 2016 годом. ...Безусловно, есть ряд направлений в развитии инфраструктуры, в которых Россия в числе лидеров, – наличие уникального ледокольного флота, уникальной системы организации грузового движения по железной дороге, высокая пунктуальность междугородного сообщения как по железной дороге, так и по воздуху. Однако следует отметить, что по уровню развития информационных технологий игрокам российского рынка есть куда расти, чтобы повысить национальный уровень конкурентоспособности» [14].

Физический интернет на Иннопром-2017

На международной промышленной выставке «Иннопром-2017» в Екатеринбурге произошли, казалось бы, очень важные для судьбы российского PI события. С докладом выступил автор концепции физического Интернета и всемирно признанный учёный в области транспорта и логистики Бенуа Монтрёй [7; 9; 10; 15]. В формате мероприятия был подписан ряд соглашений на эту тему. Ряд российских компаний представил информацию о практическом внедрении PI в свою деятельность.

Несколько слайдов из выступления Бенуа Монтрёя [16] в концентрированной форме отражают текущее состояние развивающейся теории PI. Гиперсвязанное производство и физический интернет – две темы, самое тесное взаимодействие которых между собой продемонстрировано на рис. 2. PI-контейнеры как дерево связанных ярусов показаны на рис. 3. Наконец, PI-контейнеры для транспорта перемещения и складирования можно увидеть на рис. 4.

Ассоциация цифровых контейнерных перевозок (DCSA)

Громкий публичный старт в Екатеринбурге не привёл к кардинальному изменению ситуации с развитием физического интернета в России. Причины этому, по нашему мнению, могут лежать в плоскости нечётко сформулированных политических и экономических задач, недостаточных



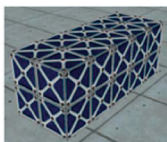
П-Контейнеры: Три структурных уровня

Транспортный контейнер

Модульная установка в пи-сертифицированное транспортное средство

$$D^T = \{12; 6; 4,8; 3,6; 2,4; 1,2\}$$

D : Ширина, длина, высота, выраженная только в показательных размерах



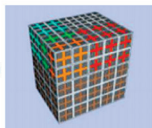
T – контейнер
Мировой стандарт
Лёгкий в транспортировке и погрузке
Способен выдерживать сложные внешние условия
Используется в качестве грузовых контейнеров

Перегрузочный контейнер

Модульная установка в транспортный контейнер

$$D^H = \{2,4; 1,2; 0,6; 0,48; 0,36; 0,24; 0,12\} - G^{TH}$$

G^{TH} : Внутренняя разница между T и H контейнером



H – контейнер, пи-букс
Мировой стандарт
Лёгкий в транспортировке и погрузке
Способен выдерживать сложные внешние условия
Складной минимум 2, 4 метра

Упаковочный контейнер

Модульная установка в перегрузочный контейнер

$$D^P = D^H - G^{PH}$$

G^{PH} : Внутренняя разница между H и P контейнером



P – контейнер, пи-пак
Мировой стандарт
Лёгкий в погрузке и выгрузке
Способен защищать товары
Складной минимум 1,2 метра

Рис. 3. P1-контейнеры, как дерево связанных ярусов [16].

компетенций в области современной стандартизации и отрицания необходимости прохождения логически обоснованных этапов развития транспорта и логистики, показанных выше. Как и в случае цифрового интернета при отсутствии стандартов магистральных линий связи и, собственно, самих этих линий, цифровой интернет невозможен. В сегменте логистики, связанном с контейнерными перевозками, физический интернет фактически уже существует. И именно в этом сегменте, в первую голову и происходят события, которые кардинально влияют на развитие мирового PI. Как и в случае цифрового интернета возможно существование локальных решений на его принципах, но это никак не будет тем явлением, которое мы называем мировой паутиной.

Традиционно данные в сфере логистики всегда были полностью разобраны, что кардинально ограничивало развитие цифровых технологий [3; 17–19]. Иными словами, компании хранят данные в любых удобных именно для них формах и местах, что приводит к фрагментации экосистемы, порождает явную неэффективность и затрудняет оцифровку операций. Одна из преобладающих тенденций в области логистических технологий в 2020 году, по нашему мнению, указывает на то, что указанный выше подход к хранению данных больше не будет устраивать компании, которые хотят идти в ногу с меняющимися условиями [3].

Например, в сфере контейнерных перевозок новые стандарты данных создаются благодаря появлению в 2019 году Ассоциации цифровых контейнерных перевозок (DCSA) [5]. Её миссия состоит в создании общих стандартов информационных технологий для оцифровки и функциональной совместимости, чтобы сделать логистический сектор более эффективным как для клиентов, так и для перевозчиков. Спустя всего несколько месяцев после начала работы организация представила свой первый проект, в котором подробно описывались предлагаемые новые отраслевые стандарты для процессов обработки данных, используемых при доставке контейнеров. Перечень принятых DCSA стандартов к настоящему времени достаточно обширен [3; 20].

Как ранее указывалось авторами [3], DCSA эффективна во всех областях, в которых оператору одному работать сложно. К этим сферам относятся защита от кибератак, отслеживание контейнеров, технологические процессы работы портов и многое другое. За короткий срок с момента учреждения DCSA смогла привлечь в свой состав девять из десяти ведущих судоходных компаний. По сути, это означает включение в сферу её деятельности до 70 % глобальной контейнерной ёмкости. Статус неправительственной организации позволил привлечь в рабочие группы более 80 экспертов, разрабатывающих IT-решения. Все разработанные решения размещены с открытым

π- Контейнеры: технологии транспортировки, обработки и хранения

Переосмысление современных технологий, таких как грузовики, суда, железнодорожные вагоны, подъемные механизмы, конвейеры, сортировщики и стеллажи в пользу стандартных модулей умных пи-контейнеров



Рис. 4. π-контейнеры для перевозки, перемещения и складирования [16].

исходным кодом на сайте DCSA, что делает разработанные DCSA стандарты доступными для широкого круга заинтересованных сторон, позволяет обмениваться информацией, в том числе с ассоциациями, действующими в данной сфере, а также с клиентами их членов. Так как все судоходные компании имеют разные ИТ-системы, то фактически именно предложенная схема стандартизации, опирающаяся на единое мнение ключевых мировых экспертов, а не на административные решения, показала себя наиболее успешной и соответствующей реалиям цифровой экономики.

На подобных принципах сегодня строится стандартизация интернета (W3C), бизнес-процедур и инженерии (OMG), строительства и эксплуатации зданий и сооружений (buildingSMART), геоинформационных систем (OGC) и многих других направлений современной экономики. При этом из-за сформированной изначально общности подходов также очень быстро решаются вопросы совместимости и взаимного использования онтологических формализаций [3].

Что касается физического интернета, то представители DCSA, выступая на IPIC-2019 (ежегодной конференции по физическому интернету), предложили всем участникам этого рынка равноправное сотрудничество. Сам факт появления DCSA и её быстрого развития можно считать ключевым фактором, способствующим ускоренному созданию транспортно-логистических парт-

нёрств, кластеров, совместному использованию транспортных коридоров и развитию городской логистики. Это обусловлено тем, что основная товарная масса в мире перемещается именно в контейнерах, и усилиями DCSA именно в этом ключевом сегменте начинает вырисовываться набор стандартов и правил [3].

DCSA определяет три физических интернет-элемента [3]:

1. π-контейнеры, которые определяются размерами по трём измерениям (от 0,12 м до 12 м);

2. π-узлы – места, включая виртуальные, где работают с π-контейнерами. Соответственно, здесь есть π-системы, π-склады, π-хабы и т.д.;

3. π-транспорт (π-перевозчики). Соответственно, здесь есть π-самолёты, π-суда, π-локомотивы, π-вагоны и т.д.

DCSA реализует пять ключевых целей [3], в числе которых:

1. разработка стандартов ИТ и бизнеса;
2. упрощение и гармонизация цепочек поставок;
3. представление вовне отрасли контейнерных перевозок;
4. обеспечение эффективных, безопасных и защищённых операций;
5. поддержка инноваций и прорывных технологий.

Активный выпуск нормирующих документов DCSA начался с сентября 2019 года с общих позиций по отрасли, описанных онтологически формализованным обра-



зом¹, а ко всем остальным документам прилагается отдельный документ – руководство по чтению². Эти документы обеспечивают должное понимание процессов. Отраслевой план DCSA включает в себя процессы, связанные с перемещением контейнера/оборудования из одного места в другое; с отгрузкой/бронированием; процессы, которые считаются критическими для успешной деятельности по переводу в цифровую форму и стандартизации работы отрасли; наконец, процессы, которые не рассматриваются как коммерчески важные или дающие конкурентные преимущества.

Основные стандарты, разработанные DCSA [3], приводятся ниже.

- Стандарт интерфейса – для отслеживания³ и контроля документации⁴, создан для того, чтобы все члены и партнёры в отрасли контейнерных перевозок могли основывать свои интерфейсы на общем понимании данных и процессов для обеспечения согласованности, простоты и своевременности принятия решений, поддержания совместимости процессов контейнерных перевозок [3].

- Глоссарий терминов DCSA⁵ способствует согласованию терминов между всеми заинтересованными сторонами DCSA в сфере контейнерных перевозок. Первая версия глоссария была опубликована на веб-сайте DCSA летом 2019 года в контексте упомянутого выше проекта DCSA [3].

- Руководства по чтению для информационной модели DCSA 1.0⁶ и стандарта интерфейса DCSA⁷ должны помочь правильно интерпретировать инициативы

DCSA. Руководства дают представление о различных концепциях и методах, используемых при подготовке и составлении документов, и предлагают способы использования документов в качестве основы для будущей деятельности [3].

- Соглашение об именовании событий DCSA 1.0⁸ и определении структуры событий 1.0⁹ служит целям стандартизации систем мониторинга. Решения для отслеживания состояния перевозимых грузов стали широко распространённой услугой в индустрии контейнерных перевозок. Однако из-за отсутствия общепризнанной терминологии и способов работы каждый перевозчик в отдельности, а также и причастные к перевозкам третьи стороны разработали свои собственные предложения (системы), которые представляются на веб-сайтах перевозчиков. Чтобы достичь в отрасли согласованной позиции, DCSA разработала соглашение об именах, которое устанавливает стандарты именования, а также общее понимание в отношении процессов отслеживания событий, с которыми сталкиваются клиенты [3].

За счёт этих стандартов понимание всех событий одинаково интерпретируется во всей отрасли (рис. 5).

Поскольку каждая структура может использоваться для объединения большого количества различных событий, необходим набор правил, чтобы гарантировать, что никакие комбинации не создают нелогичных событий.

Особого внимания заслуживает информационная модель DCSA, которая была создана для предоставления целостного обзора информации, согласованной в рамках стандартов процессов, определённых в отраслевом проекте DCSA, и в соответствии с определениями, задокументированными в глоссарии терминов DCSA.

Путём стандартизации используемых терминов и документирования соответствующих данных информационная модель призвана обеспечить основу, которая может быть использована в текущей работе по стан-

¹ Industry Blueprint – Container Shipping 1.0 September 2019, Copyright 2019 Digital Container Shipping Association (DCSA).

² Industry Blueprint – Container Shipping 1.0 Reading guide September 2019, Copyright 2019 Digital Container Shipping Association (DCSA).

³ DCSA Interface Standard for Track and Trace 1.0 27 January 2020, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).

⁴ DCSA Interface Standard for Track and Trace 1.0 Reading Guide 27 January 2020, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).

⁵ Glossary of terms 1.1 Industry Blueprint – Container shipping 1.0 January 2020.

⁶ Information Model 1.0 Data and Interface Standards, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).

⁷ DCSA Information Model 1.0 Reading Guide 27 January 2020.

⁸ Event naming convention and Structure 1.0 January 2020, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).

⁹ Event Structure Definitions 1.0 Customer-facing Track and Trace Version 1.0 27 January 2020, Copyright 2020 Digital Container Shipping Association (DCSA).



Рис. 5. Последовательность событий в стандарте DCSA (источник – DCSA).

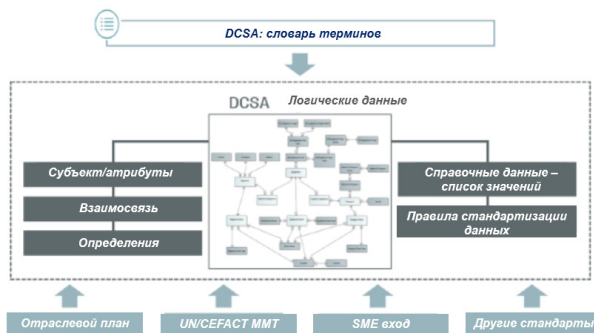


Рис. 6. Обзор содержимого информационной модели DCSA (источник – DCSA).

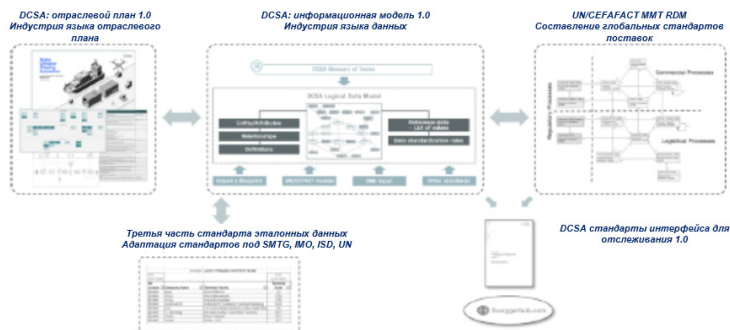


Рис. 7. Информационная модель DCSA в качестве переводчика (источник – DCSA).

дартизации интерфейса и для будущих инициатив. DCSA признаёт, что сегодня существует множество других стандартов, и стремится использовать существующие ресурсы там, где они соответствуют контексту индустрии контейнерных перевозок. Некоторые из этих существующих стандартов более широко приняты, чем другие. Например, модель эталонных данных мультимодального транспорта (MMT RDM) СЕФАКТ ООН. Предполагается, что информационная модель DCSA будет постоянно оцениваться на основе этих и других стандартов.

Информационная модель DCSA была разработана для поддержания общего

понимания концепций, терминов и правил в отрасли судоходства. Принципы, лежащие в основе создания модели, заключались в том, чтобы учитывать текущие стандарты, используемые в отрасли, и повторно использовать эти стандарты там, где это уместно, или предлагать новые стандарты, если невозможно найти применимый стандарт. Обзор содержимого информационной модели DCSA приводит на рис. 6. Таким образом, информационная модель DCSA приобретает свойство выступать в качестве переводчика между разными системами в отрасли (рис. 7).



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Физический интернет имеет огромное значение для реализации как потенциала развития России, так и своего богатого потенциала применительно к транспортной отрасли. Построить систему физического интернета в России возможно, только учитывая (принимая в разработку) существующие стандарты, соответствующие характеру цифровой экономики, и при безусловном участии государства. Роль государства должна проявиться в создании как правил развития транспортной инфраструктуры, которые будут соответствовать экономическим реалиям завтрашнего дня, так и таких же нормативных правил в отношении физического интернета. Нам представляется, что у нас есть все возможности для этого.

ЛИТЕРАТУРА

- Palmer, A. The Physical Internet. [Электронный ресурс]: <https://gbievents.com/blog/The-Physical-Internet>. Доступ 15.01.2021.
- Тушин Н. А., Тимухин К. М., Писарева Р. В. Физический интернет и математическое моделирование // *Инновационный транспорт*. – 2017. – Т. 3. – № 25. – С. 32–35. DOI: 10.20291/2311-164X-2017-3-32-35. Доступ 15.01.2021.
- Куприяновский В. П., Климов А. А., Володин А. Б., Покусаев О. Н., Намиот Д. Е., Липунов Ю. П., Лысогорский А. А. На пути к физическому интернету: промышленные и логистические кластеры, стандартизация цифрового контейнера и сроки внедрения // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2020. – Т. 8. – № 4. – С. 74–88. [Электронный ресурс]: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42748929_33036630.pdf. Доступ 15.01.2021.
- Куприяновский В. П., Климов А. А., Покусаев О. Н., Намиот Д. Е., Катцын Д. В. На пути к Физическому Интернету: индустрия, логистика и электронная коммерция 4.0. Европейский вариант // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2019. – Т. 7. – № 5. – С. 89–104. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/na-puti-k-fizicheskomu-internetu-industriya-logistika-i-elektronnaya-kommertsiya-4-0-evropeyskiy-variant/pdf>. Доступ 14.11.2020.
- Климов А. А., Куприяновский В. П., Куренков П. В., Мадяр О. Н. Цифровые транспортные коридоры для перевозок грузов и пассажиров // *Вестник транспорта*. – 2017. – № 10. – С. 26–30; № 11 – С. 15–28. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30684678>. Доступ 14.11.2020.
- Treiblmaier, H., Mirkovski, K., Lowry, P. B., Zacharia, Z. G. The physical internet as a new supply chain paradigm: a systematic literature review and a comprehensive framework. *The International Journal of Logistics Management*, 2020, Vol. 31, No. 2, pp. 239–287. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLM-11-2018-0284>. Доступ 14.11.2020.
- Pan, S., Ballot, E., Huang, G. Q., Montreuil, B. Physical Internet and interconnected logistics services: research and applications. *International Journal of Production Research*, 2017, Vol. 55, Iss. 9, pp. 2603–2609. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1302620>. Доступ 14.11.2020.
- Sternberg, H. S., Norrman, A. The Physical Internet – review, analysis and future research agenda. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2017, Vol. 47(5). DOI: 10.1108/IJPDLM-12-2016-0353. Доступ 14.11.2020.
- Crainicac, T. G., Montreuil, B. Physical Internet Enabled Hyperconnected City Logistics. *Transportation Research Procedia*, 2016, Vol. 12, pp. 383–398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.074>. Доступ 14.11.2020.
- Montreuil, B., Rougès, J.-F., Cimon, Y., Poulin, D. The physical internet and business model innovation. *Technology Innovation Management Review*, 2012, Vol. 2, Iss. 6, pp. 32–37. DOI: 10.22215/timreview/566. Доступ 14.11.2020.
- DAPhNE D.5.4.4 Danube Ports and the Physical Internet, DAPhNE 2018. [Электронный ресурс]: http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_public/0001/27/d88b902e8212830e5053180efa00e75ce3be3075.pdf. Доступ 14.11.2020.
- DAPhNE Output 5.1 Port investments guidelines & New markets studies DAPhNE 2018. [Электронный ресурс]: http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_output/0001/33/b5ac2ff08ca128ca96ada6ab2f4263825dfb5d57.pdf. Доступ 14.11.2020.
- Глобальные технологические тренды тренд-леттер # 1 Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2018. [Электронный ресурс]: <https://issek.hse.ru/trendletter/>. Доступ 14.11.2020.
- Цифровизация контейнерных перевозок. Влияние современных технологий на логистику Коммуникационная Группа «АВТОР», 2019. [Электронный ресурс]: https://transweek.ru/18/Digitization_of_container_shipments.pdf. Доступ 14.11.2020.
- Montreuil, B. Towards a physical internet: Meeting the global logistics sustainability grand challenge. *Logistics Research*, 2011, Vol. 3, Iss. 2–3, pp. 71–87. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12159-011-0045-x>. Доступ 14.11.2020.
- «Физический Интернет» как новый способ организации грузоперевозок. [Электронный ресурс]: <https://glonassgps.com/fiziceskij-internet-kak-novyy-sposob-organizacii-gruzoperevozok>. Доступ 14.11.2020.
- Соколов И. А., Куприяновский В. П., Намиот Д. Е. и др. Государство, инновации, наука и таланты в измерении цифровой экономики (на примере Великобритании) // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2017. – № 6. – С. 33–48. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvo-innovatsii-nauka-i-talanty-v-izmerenii-tsifrovoy-ekonomiki-na-primere-velikobritanii/>. Доступ 14.11.2020.
- Куприяновский В. П., Намиот Д. Е., Синягов С. А., Добрынин А. П. О работах по цифровой экономике // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. – 2016. – Т. 12. – № 1. – С. 243–249. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=34340381>. Доступ 14.11.2020.
- Montreuil, B., Meller, R. D., Ballot, E. Towards a Physical Internet: the Impact on Logistics Facilities and Material Handling Systems Design and Innovation, 2010. [Электронный ресурс]: <https://pdfs.semanticscholar.org/a907/08526f1c787bda1bceb8f8492583b7ef668d4.pdf>. Доступ 14.11.2020.
- Becha, H. [et al]. Global data exchange standards: The basis for future smart container digital services. In: *Maritime Informatics*. Springer, Cham, 2021, pp. 293–307. First Online: 15 November 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-50892-0_18. Доступ 15.01.2021.