

# Технологии цифровых близнецов в транспортных коридорах для морских и водных путей в России

В.П.Куприяновский, А.А.Климов, И.Г. Гоц, А.Б.Володин, М.Г.Жабицкий, Ю.В.Куприяновская

**Аннотация**— В статье рассматриваются цифровые двойники для транспортных коридоров, использующих морские и водные пути в России. Физическое развитие транспорта сегодня начинает группироваться вокруг развития транспортных коридоров. Наиболее известные из них – это международные транспортные коридоры. Замещение значительной части человеческого труда и связанного с ним фактора риска из управления, даже обычными магистралями, например, в Англии цифровыми методами приводит к мощным экономическим результатам. При этом на МТК эффекты могут быть и значительнее и глубже, так как они не только выполняют транспортные и новые функции, но и создают ранее не существовавшие технологические и бизнес-кластеры. Экономическая ценность МТК заключается не в построенных транспортных путях (это затраты), а в развитии и соединении экономических кластеров, включая как перемещение людей так и грузов. Такие, с разных сторон удачно найденные подходы и реализации МТК, привели сегодня к тому, что они начинают развиваться, как на уровне стран, так и на уровне городов, при этом цифровые решения начали быстро преобразовываться в технологии на базе цифровых близнецов, блокчейнов, физического интернета, интернета вещей, MASS и т.п.

**Ключевые слова**—цифровой двойник, водный транспорт.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Неумолимый рост населения земли очень остро ставит вопросы оптимизации использования всех имеющихся в распоряжении человечества ресурсов: земли, воды, воздуха. Это касается как строительства и реконструкции домов так и систем транспорта, задачи которого от простых перемещения людей и грузов из точки А в точку В стали гораздо более сложными. Для перемещения грузов людей это переход не просто к мультимодальности и синхромодальности, а создание совершенно новых экосистем, базирующихся на взрывных цифровых технологиях, физического

интернета и мобильности как сервиса, а также цифрового близнеца (двойника), в названии которых уже нет слова транспорт, но именно они начинают определять экономические параметры его развития.

Вместе с тем, физическое развитие транспорта в его наземной части начинает группироваться вокруг развития транспортных коридоров. Наиболее известные из них сегодня международные транспортные коридоры (МТК) [1, 2]. Замещение значительной части человеческого труда и связанного с ним фактора риска из управления, даже обычными магистралями, например, в Англии цифровыми методами приводит к поразительным экономическим результатам [3]:

«Решение, которое называется интеллектуальные автомагистрали (Smart Motorway), охватывает всего около 2% дорожной сети (основные дороги, автомагистрали и магистральные дороги), и обслуживает треть всего движения и две трети всех грузовых перевозок в английской дорожной сети». Человеческие способности, при всем уважении к людям, не могут быть использованы эффективно в сложных непрерывных процессах реального времени и требуют создания систем на базе киберфизических принципов.

При этом на МТК эффекты могут быть и значительнее и глубже, так как они не только выполняют транспортные и новые функции, но и создают ранее не существовавшие технологические и бизнес-кластеры. Такие, с разных сторон удачно найденные подходы и реализации МТК, привели сегодня к тому, что они начинают развиваться, как на уровне стран, так и на уровне городов, при этом цифровые решения и ранее в значительной мере определявшие их развитие начали быстро преобразовываться в технологии на базе цифровых близнецов, блокчейнов, физического интернета, интернета вещей, MASS и т.п. [4-14].

## II. КРАТКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ ДЛЯ МОРСКИХ И ВОДНЫХ ПУТЕЙ, В КОТОРЫХ РОССИЯ ПРИНИМАЕТ УЧАСТИЕ

В России к таким проектам МТК, в которых Россия принимает участие для морских и водных путей и составляет в них подавляющую часть, относятся международный транспортный коридор (МТК) «Север — Юг» (NS) и Северный Морской Транзитный Коридор (СМТК), пока не получивший статуса международного,

Статья получена 1 сентября 2020 года.

В.П.Куприяновский - РУТ (МИИТ) (email: v.kupriyanovsky@rut.digital)

А.А. Климов - РУТ (МИИТ) (email: aaklimov1961@gmail.com)

И.Г. Гоц - Ассоциация "Афанасий Никитин" (email:igor.gots61@gmail.com)

А.Б.Володин - РУТ (МИИТ) (email: ab.volodin@mail.ru)

М.Г.Жабицкий - Высшая инженеринговая школа НИЯУ МИФ (email: jabitsky@mail.ru)

Ю.В.Куприяновская - независимый исследователь (email: piccola@yandex.ru)

но являвшийся таковым по сути.

МТК Север — Юг, как транспортный коридор, призван обеспечить транспортную связь между странами Балтии и Индией через Иран. Основными преимуществами транспортного коридора «Север — Юг» перед другими маршрутами (в частности, перед морским маршрутом через Суэцкий канал) называются: сокращение в два и более раза расстояния перевозок, а также снижение стоимости перевозки контейнеров по сравнению со стоимостью транспортировки по морскому пути [15]. Протяжённость международного транспортного коридора составит 7.2 тысячи километров, преимущественно по водным и морским путям.

Маршрут МТК «Север — Юг» предполагает использование различных видов транспорта, которые необходимо интегрировать с целью оптимизации стоимости перевозки и взаимодействия с другими коридорами. Карта коридора приводится ниже на рисунке 1.



Рис. 1. Маршрут МТК «Север — Юг» [15]

Так как экономическая ценность МТК заключается не в построенных транспортных путях (это затраты), а в развитии и соединении экономических кластеров, включая как перемещение людей так и грузов и, следовательно, в удобном соединении их между собой, то мы приводим карту транспортных коридоров в России и примыкающей к России в европейской части системы TEN-T, основной зоне действия МТК Север-ЮГ, которая показана на рисунке 2 ниже.

К сожалению, в проекте МТК «Север — Юг» пока нет проработанных технико-экономических решений мы перейдем далее к проекту Северный Морской Транзитный Коридор (СМТК), в котором усилиями концерна Росатом и его партнерами активно прорабатывается концепция цифрового двойника.

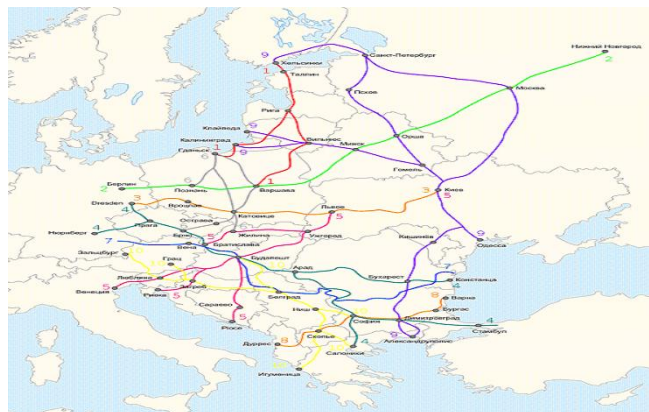


Рис. 2. Карта сети транспортных коридоров в Восточной Европе.

(источник:

[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B6%D0%B4%D1%83%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B4%D0%BE%D1%80](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B6%D0%B4%D1%83%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B4%D0%BE%D1%80))

Северный морской путь, Севморпуть (СМП), Северный морской транспортный коридор (СМТК) - кратчайший морской путь между Европейской частью России и Дальним Востоком; законодательством РФ определён как «исторически сложившаяся национальная единая транспортная коммуникация России в Арктике» [16]

Арктические маршруты могут сократить расстояние между Европой и Восточной Азией до 40% [17]. Более короткие расстояния и благоприятные условия окружающей среды приводят к экономии топлива и затрат и сокращение времени в пути и, таким образом, несколько стран пытаются извлечь выгоду из будущего потенциала полярных маршрутов и это полнокровная международные как сотрудничество так как коридоры должны взаимодействовать так и конкуренция (рисунок 3).

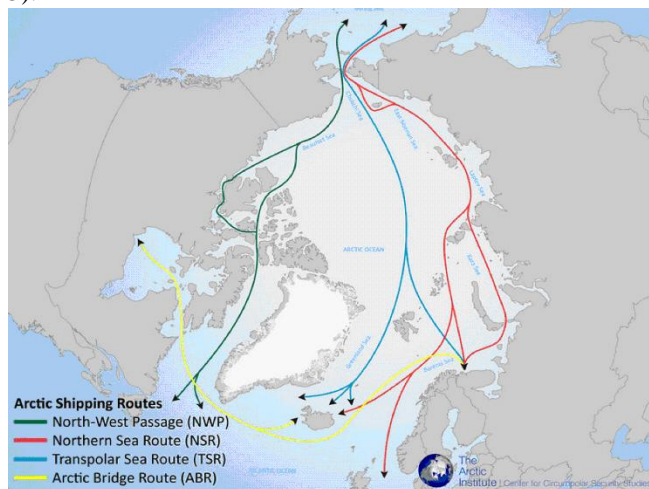


Рис. 3. Арктические судоходные маршруты [17]

Очень четко описал это состояние развития и конкуренции Президент России:

«Самый короткий путь между крупнейшими рынками Европы и Азиатско-Тихоокеанским регионом пролегает

через Арктику. Хочу подчеркнуть важность Северного морского пути как международной транспортной артерии, которая будет конкурировать с традиционными торговыми путями по стоимости услуг, безопасности и качеству. Государства и частные компании, выбравшие арктические торговые пути, несомненно, пожнут экономические преимущества». Президент В. Путин, Арктический форум 2011 [17].



Рис. 4. Схема движения крупнотоннажных судов по СМТК [23]

Северный Морской Транзитный Коридор (СМТК), хоть и пока не приобрёл статуса международного, но в силу упомянутых выше причин уже проектируется по самым строгим требованиям и технологиям, выдвигая как требования к его физической части и схемам движения (рисунок 4), так и цифровой (рисунок 5). Вместе они должны составить цифрового двойника СМТК.

Концерн Росатом твердо проводит линию на построение СМТК в виде цифрового двойника. Концерн уже выпустил публичную работу на тему цифрового двойника [26], и часть разделов программной работы Ростелекома [27] также относится к теме цифрового двойника. Также появились первые стандарты России на эту тему. Предлагаем читателю совсем небольшую подборку источников на эту тему [23 -27], отметив при этом работу [27] о цифровом двойнике для ветрогенерации в Арктике. Последняя свидетельствует и серьезных намерениях производства водорода в этих богатых запасами ветра местах, и возможных решениях по бункеровки судов водородом на СМТК. Это очень интересное решение могло бы стать очень изящным решением, как экологических, так и экономических задач на СМТК.



Рис. 5. Переход от моделей данных к цифровому двойнику [23]

### III. МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ КОРИДОРЫ И ТЕНТ

Международный транспортный коридор (транспортный коридор, МТК) - высокотехнологическая транспортная система, концентрирующая на генеральных направлениях наземного транспорта общего пользования (железнодорожный, автомобильный, речной) и цифровых решениях. МТК наиболее эффективно функционирует в условиях преференциального режима, включая единое таможенное или экономическое пространство что, собственно, и происходит в ЕС.

Высокая концентрация материальных, финансовых, технологических и информационных потоков в сочетании с высоким качеством обслуживания обеспечивают ускорение оборачиваемости капитала и синхронизации прохождения товаров и платёжных и других документов. В части работы с товарами уже успешно применяются технологии безбумажной торговли [18, 19], начато применение блокчейна и IoT, что, несомненно, является строительными блоками цифрового близнеца.

Внедрение безбумажной торговли это мировой цифровой локомотив торговли, развитие которого осуществляется организациями ООН, включая, конечно, нормативную базу. В работе [18], которая была написана одной из организаций ООН и Мировым экономическим форумом (WEF), что бывает не столь часто, сказано:

«Когда товары и услуги пересекают границы в международной торговле, информация должна быть передана между соответствующими сторонами, будь то частные компании или государственные органы, включая поставщиков, поставщиков логистических услуг, таможенных, нормативных агентств, продавцов и покупателей. Безбумажная торговля относится к оцифровке этих информационных потоков, включая то, что делает их доступными и позволяющими обмениваться данными, связанными с торговлей и документами в электронном виде. Менее формально можно думать об этом как о трансграничных торговых операциях с использованием электронных данных вместо бумажных»

документов.

Преобразование того, что традиционно было основано на бумаге или системы документации в электронный формат может ускорить торговлю и снизить затраты на ведение бизнеса в современном взаимосвязанном мире. Узкие места в управлении цепочками поставок и нормативная документация могут быть особенно сложными для небольших предприятий или электронных трейдеров с меньшим опытом и ресурсами. Безбумажная торговля, следовательно, служит многообещающим средством борьбы с логистическими проблемами электронной торговли и, в частности, небольшими поставками через границы. В целом, она быстро становится существенным компонентом правительственных усилий по улучшению эффективности таможенного контроля и управления процессами торговли и обеспечения конкурентоспособности торговли в быстро оцифровываемом мире».

Развитие безбумажной торговли отслеживается также организациями ООН и отчет по региону Европы можно посмотреть в публикации [19]. Очень важным шагом развития безбумажной торговли стал стандарт ООН на умный контейнер [42] и работа ООН по рассмотрению возможности практического применения блокчейна в торговых сделках [20,62], в ней уже детально рассматриваются в отдельных главах вопросы взаимодействия цифрового близнеца и блокчейна в рамках следующих этапов развития безбумажной торговли, в том числе, и на ее магистралях – транспортных коридорах.

Наиболее широкое развитие получили панъевропейские транспортные коридоры известные также как TEN-T. Трансъевропейская транспортная сеть (TEN-T) - это транспортная сеть автомобильных и железных дорог, аэропортов и водной инфраструктуры в Европейском Союзе. Сеть TEN-T является частью более широкой системы трансъевропейских сетей (TEN), включая телекоммуникационную сеть (eTEN) и предлагаемую энергетическую сеть (TEN-E или Ten-Energy). Европейская комиссия приняла первые планы действий по трансъевропейским сетям в 1990 году [21].

TEN-T предусматривает скоординированные улучшения основных автомобильных и железных дорог, внутренних водных путей, аэропортов, морских портов, внутренних портов и систем управления движением, обеспечивая интегрированные и интермодальные высокоскоростные маршруты на большие расстояния. Решение о принятии TEN-T было принято Европейским парламентом и Советом в июле 1996 г. [21]. ЕС работает над продвижением сетей путем сочетания лидерства, координации, выпуска руководящих принципов и финансовых аспектов развития.

Эти проекты технически и финансово управляются Исполнительным агентством по инновациям и сетям (INEA), которое 31 декабря 2013 года заменило Исполнительное агентство Трансъевропейской

транспортной сети (TEN-T EA). Десятый и самый новый проект - Страсбург-Дунай. Коридор, объявленный на финансовый период 2014–2020 г. Если стратегия TEN-T будет реализована успешно, то уже в 2050 году поездка по ЕС будет занимать в среднем полчаса, а новая транспортная сеть соединит 94 порта, 38 аэропортов, а также 15 тысяч километров модернизированных скоростных железных дорог. Развитие европейской транспортной сети принесет огромную выгоду как бизнесу, так и обычным гражданам, поскольку транспорт играет огромную роль в развитии экономики, стимулирует экономический рост и помогает создавать рабочие места [22].

Коридор Страсбург – Дунай (также известный как коридор Сена – Дунай) - номер 10 из десяти приоритетных осей Трансъевропейской транспортной сети и он очевидный наиболее близкий аналог МТК Север-ЮГ, так как в его основе лежат водные пути (ВВТ). Этот проект был запущен последним, и он находится в стадии реализации к 2030 году, тогда как многие из коридоров TEN-T уже начали частично работать. Заметим, что остальные 9 проектов базируются на железных дорогах и автомобильных шоссе.

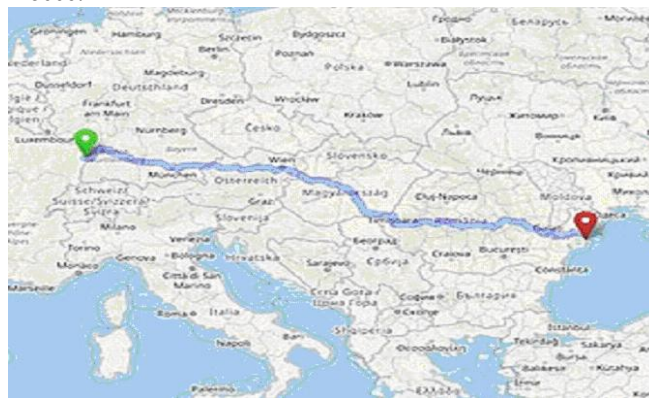


Рис. 5а. Трасса МТК Страсбург – Дунай или 10 коридора TEN-T (источник - TEN-T)

Между тем реки Рейн-Дунай и центрально европейская сеть каналов и рек (включая реки Везер, Эльбу и Одер), а также бассейны рек Рейн и Дунай (рисунок 6) являются крупнейшей европейской сетью водных путей по протяженности и объему перевозок, которая состоит из следующих путей [28]:

- E 10: Рейн, Сона и Рона с притоками на участке от Роттердама до Арля, а также связанные с ними каналы;
- E 80: ось Гавр–Кобленц–Майнц–канал Майн-Дунай–Дунай с притоками;
- E 70: ось Роттердам–Берлин–Гданьск, E 20–Эльба, притоки и связанные каналы;
- E 30: река Одер с притоками.

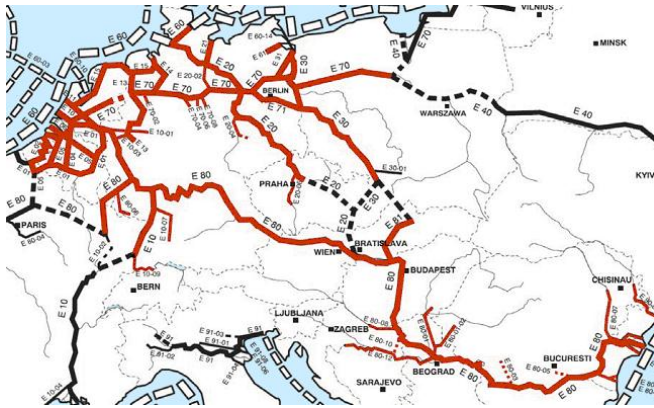


Рис. 6. Судоходная сеть в области Рейн-Дунай  
Источник: ЕЭК ООН [28]

Бассейны рек были полностью связаны в 1992 году с открытием канала Рейн-Майн-Дунай, строительство которого заняло 30 лет. Таким образом, были соединены между собой пути E 10 и E 80. Эти два речных бассейна составляют почти половину от общей протяженности водных путей СМВП - 14 360 км из 29 238 км, и они могут принимать суда большого тоннажа по классификации ЕКМТ [28].

На наш взгляд, именно это возможное расширение за счет ВВТ определяет потенциал развития 10 коридора TEN-T и именно так и стоит рассматривать поэтапное развитие МТК «Север-Юг» от простого и понятного участка коридора к его расширению на определённый кластер и образование естественных экономических транспортных и экономических сообществ. В очень интересной работе на эту тему [29] приводится пример такого рода сообществ (рисунок 7) в Европе вокруг морских, водных и железнодорожных узлов, привязанных в данном случае к портам.

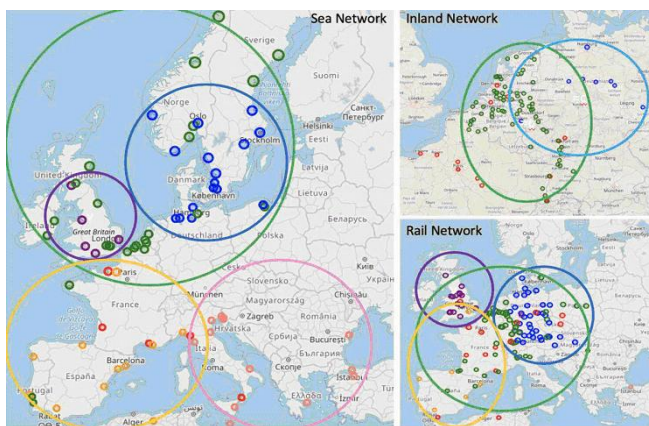


Рис. 7. Кластеры сети Hinterland в 2019 г. [29]

В этой работе [29] сказано, что « в то время как морская сеть представлена пятью различными сообществами, внутренняя сеть имеет только два отдельных сообщества из-за более узкого географического охвата. Географический охват распространяется только на все регионы Нидерландов и только на часть Германии и Франции. Более того, с точки зрения диаметра сети, внутренняя сеть имеет наибольший диаметр по сравнению с двумя другими

слоями, обратно пропорциональный ее географическому охвату».

Надо сказать, что в [29] рассматриваются как основные по товарной массе сообщества морских портов (порядка 80% перевозок ЕС), но с учетом того, что TEN-10 очень существенно может поменять эти позиции его развитие с учетом рисунка 6 и того, что его открытие есть, в том числе, экологическое и политическое решение ЕС. ЕС всячески поддерживает финансово, в том числе, проекты в части инновации на ВВТ, имея перед глазами удивительные успехи Китая в этом развитии ВВТ [56].

Так проект ЕС NOVIMOVE [32] Новые концепции внутреннего водного транспорта для эффективного перемещения грузов, начатый 1 июня 2020 г. и, фактически, посвященный улучшению грузового коридора Рейн-Альпы позволяет предполагать что он, в том числе, подготавливает расширение TEN-T № 10.

Способность портов обеспечивать эффективные перевозки грузов является центральным элементом их общей функции и важным фактором, влияющим на привлекательность портовых терминалов. В рамках проекта NOVIMOVE, финансируемого ЕС, будет проведено исследование того, как улучшить логистику этой транспортной системы. С консорциумом, состоящим из логистических операторов, портов, разработчиков систем и исследовательских организаций в Нидерландах, Бельгии, Германии, Швейцарии, Швеции и Норвегии, проект сократит время ожидания в морских портах за счет улучшения планирования и выполнения речных рейсов и обеспечения беспрепятственного проезда через мосты. и ворота каналов. Сосредоточившись на водном коридоре Рейн-Альпы от Роттердама / Антверпена до Базеля, он будет проверять свою новую технологию с помощью виртуального моделирования, испытаний масштабированных моделей и полномасштабных демонстраций.

Уже после защиты и выхода в свет докторской диссертации [29] 1 мая 2020 начал работать проект ЕС IW-NET - Совместная европейская сеть внутреннего водного транспорта, основанная на инновациях [30]. В нем по принятому ранее порядку отрабатываются общие для всего ЕС решения для внутреннего водного транспорта.

Использование внутреннего водного транспорта (ВВТ) является важным компонентом для достижения целей Европейской комиссии по сокращению выбросов парниковых газов от транспорта в ближайшие десятилетия. Сегодняшние автомобильные и железнодорожные сети, которые также обслуживают пассажирский транспорт, особенно в густонаселенных городских районах, уже достигли предела своей пропускной способности. В этом отношении ВВТ представляет собой не только экологически безопасную, но и экономически выгодную альтернативу. Видение финансируемого ЕС проекта IW-NET заключается в

создании «Инновационной совместной европейской сети внутреннего водного транспорта», следуя целостному подходу, который не только охватывает цифровизацию и мультимодальную интеграцию в ВВТ, но и предоставляет организационные и технологические решения для улучшения инфраструктуры, управления, а также для нового поколения экологических и инновационных судов, заявлено в [30].

Также на развитие TEN-T и 10 коридора на наш взгляд окажет выполнение другого проекта ЕС PLANET [31] который называется прогресс в направлении федеративной логистики за счет интеграции TEN-T в глобальную торговую сеть начавшийся 1 июня 2020 г.

Трансьевропейская транспортная сеть (TEN-T) состоит из сотен проектов, направленных на обеспечение сплоченности, взаимосвязи и функциональной совместимости всех видов транспорта в ЕС. Поскольку проекты TEN-T расположены в каждой стране-члене ЕС, с оценкой воздействия возникающих глобальных торговых коридоров на TEN-Ts связаны многочисленные проблемы. Проект PLANET, финансируемый ЕС, будет решать эту проблему, демонстрируя появляющиеся концепции физического Интернета и технологий, таких как Интернет вещей и блокчейн, в трех коридорах реального мира между ЕС и глобальным регионом (Китай – ЕС – США). В рамках проекта будут моделироваться, анализироваться, демонстрироваться и оцениваться глобальные сети T&L между членами ЕС (EGTN). Он предоставит симбиотический цифровой клон для сетей EGTN (фактический цифровой двойник), а также активный план и дорожную карту для их реализации.

PLANET решает задачи оценки воздействия возникающих глобальных торговых коридоров на сеть TEN-T и обеспечения эффективной интеграции Европы в глобальную сеть, сосредоточив внимание на двух ключевых направлениях НИОКР:

- Геоэкономический подход, моделирование и определение динамики новых торговых маршрутов и их воздействия на логистическую инфраструктуру и операции, с особым упором на TEN-T, включая периферийные регионы и развивающиеся страны, не имеющие выхода к морю;

- Поддержка глобальной сети ЕС с помощью революционных концепций и технологий (IoT, Blockchain и PI, 5G, 3D-печать, автономные транспортные средства / автоматизация, гиперцикл), которые могут формировать ее будущее и устранять недостатки в соответствии с концепцией федеративной сети DTLF платформ T&L.

PLANET выходит за рамки стратегических транспортных исследований и ИКТ для транспортных исследований, тщательно моделируя, анализируя, демонстрируя и оценивая их взаимодействие и динамику, тем самым, обеспечивая более реалистичное представление о возникающей среде T&L. В проекте задействованы 3 реальных коридора Living Labs Европейского Союза, включая морской и железнодорожный для межконтинентальных соединений, и обеспечивается экспериментальная среда

для разработки и использования будущих интегрированных зеленых глобальных сетей T&L, ориентированных на PI (физический интернет EGTN). Чтобы облегчить этот процесс, PLANET предоставляет симбиотический цифровой клон для сетей EGTN в качестве открытого инструмента совместного планирования для участников коридора TEN-T, специалистов по планированию инфраструктуры и отраслевых / технологических стратегов. PLANET также предоставляет активный план и дорожную карту, обеспечивая руководство и наращивание потенциала государственных и частных субъектов для реализации сетей EGTN и содействия развитию неблагоприятных регионов. В проекте участвуют основные заинтересованные стороны, связанные с транспортными и логистическими услугами, они вносят свой вклад, как в стратегию, так и в технологии и (что важно) имеют отраслевой вес и влияние, чтобы создать отраслевой импульс для федеративной логистики и интеграции TEN-T в глобальную сеть [30].

Нам представляется, что подобные подходы ЕС могут быть полезными и востребованным, как в проекте МТК Север-Юг, так и проекте СМТК.

#### IV. ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ КОРИДОРАМИ И ИХ РАЗВИТИЕ В СТОРОНУ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

Основой управления транспортными коридорами являются цифровые системы управления транспортом, обеспечивающие соблюдение единых правил и норм коридора, прохождение границ, синхромодальность и переход к физическому интернету ЕС к 2030 году. Эти системы сами развиваются в направлении цифрового двойника. Цифровые системы управления транспортными коридорами развивающиеся в сторону цифрового двойника.

Основой управления транспортными коридорами являются цифровые системы управления транспортом, обеспечивающие соблюдение единых правил и норм коридора, прохождение границ, синхромодальность и переход к физическому интернету (PI) целиком ЕС к 2030 году. Эти системы сами развиваются в направлении цифровых двойников инфраструктуры, движущегося средства, перевозимого груза, вместе составляющих цифровой двойник коридора, как сложную кибер-физическую систему систем.

Начнем с существующих ныне систем управления отдельными видами транспорта, и мы их приводим на рисунке 8, который отражает одну простую мысль, что все эти системы нужны для перевозки грузов, хотя на практике они же нужны и для перевозки пассажиров. Рабочее название интернет товаров на этом рисунке целесообразно сегодня считать физическим интернетом, завершение перехода на PI, который запланирован в ЕС на 2030 год [10,14]

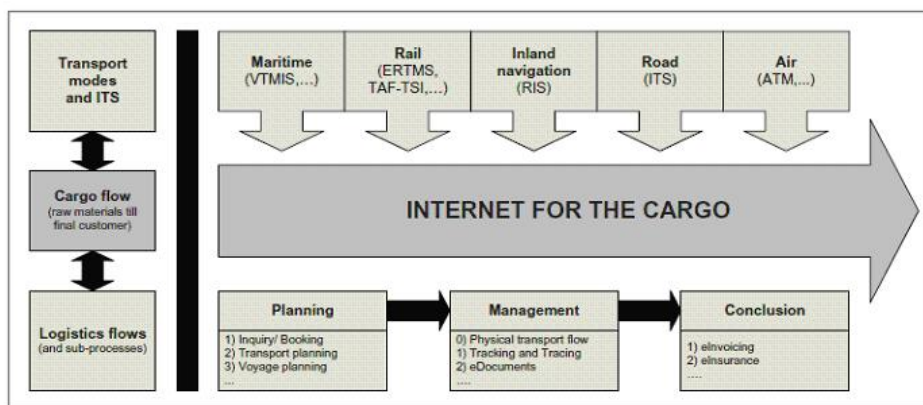


Рис. 8. Физический интернет (интернет товара, PI) с использованием цифровых технологий для оптимизации транспортных логистических потоков [33].

Целью любой системы речных информационных систем (RIS) является безопасная, эффективная и экологически безопасная транспортировка людей, материалов и техники по внутренним водным путям, включая каналы, озера и заводи. Транспорт должен быть безопасным, с минимальным количеством травм, смертельных исходов и несчастных случаев. Он должен эффективно максимизировать пропускную способность, эффективную пропускную способность водных путей и грузоподъемность судов, сокращать время и затраты в пути, а также обеспечивать эффективную связь между видами транспорта и терминалами. Следует избегать таких опасностей для окружающей среды, как выбросы загрязняющих веществ и разливы нефти из-за незаконных действий или ненормальной эксплуатации.

Информационные сервисы по внутренним водным путям (часто используется аббревиатура RIS от River Information Services) - это системы дорожной телематики для управления движением на внутренних водных путях, таких как реки и каналы. По функциям и структуре они похожи на систему управления воздушным движением, дополненную геоинформатикой реки.

RIS должен обеспечивать оптимальное использование транспортных мощностей и в то же время предоставлять информацию о транспортных процессах на воде в режиме реального времени. Техническая структура RIS состоит из центра управления и системы связи, через которые корабли и центры управления или другие соответствующие устройства или датчики обмениваются информацией. Эта информация может включать, например, информацию о местонахождении, данные о грузе, состоянии и движении судна, информацию о погоде или состоянии водного пути или информацию о шлюзах.

RIS являются важной частью долгосрочной транспортной программы Европейской комиссии, которая надеется, что оптимизация движения на водных путях приведет к экологически безопасному переносу автомобильного транспорта на воду.

Некоторые примеры европейских RIS, которые уже действуют или строятся в коридоре TEN-T № 10:

- Информационные службы реки Дунай - DoRIS для Дуная в Австрии
- BICS, голландская Binnenvaart Informatie & Communicatie Systeem
- Информационная система реки Рейн

Преимущества, которые предлагает RIS с точки зрения ЕС:

RIS можно разделить на различные уровни информации, такие как информация о фарватере, тактическая и стратегическая информация о движении, информация об управлении движением и транспортной логистикой, статистическая информация, информация о снижении опасности стихийных бедствий, информация о тарифах и информация для правоохранительных органов. Различные службы и их функции взаимосвязаны с множеством пользователей и различными уровнями работы. Благодаря этому информационный поток является многоуровневым для множества пользователей. В системах RIS персонал RIS оценивает различные данные и принимает решения на основе личного опыта и аналогичных деловых ситуаций, а затем распространяет информацию среди множества пользователей. Человеческие ошибки в такой ситуации могут привести к авариям с катастрофическими последствиями, такими как потеря бизнеса, потеря судов и даже гибель людей. В таких ситуациях компьютеризированные системы обработки информации могут сыграть значительную роль в повышении безопасности и на внутреннем водном транспорте (BBT). Здесь человеческий фактор заменен системой автоматизированных речных информационных сервисов (ARIS) [34]. Поскольку информационный поток в системах RIS является многоуровневым и существует множество пользователей, сложность обработки и распространения информации является более высокой. В качестве усовершенствования существующих систем RIS в контексте МТК Север Юг предлагается разработка автоматизированной системы речных информационных сервисов как часть цифрового двойника.

Это интерактивная система на основе программного обеспечения, предназначенная для принятия решений, собирая полезную информацию из необработанных

данных, документов и бизнес-моделей для выявления и решения проблем. В этой системе вмешательство человека заменяется системой искусственного интеллекта, которая полностью автоматизирована, что приводит к повышению эффективности и безопасности работы. Архитектура ARIS предназначена не только для существующих судов, но без такой системы невозможным окажется использования автономных (без

экипажей) судов. Это программное обеспечение окажется полезным в целом секторе ВВТ, особенно когда многие страны переходят на использование экологически чистых транспортных средств, уделяя приоритетное внимание внутреннему водному транспорту. Как будет работать эта часть цифрового двойника в части физического Интернета, мы схематически показали на рисунке 9.

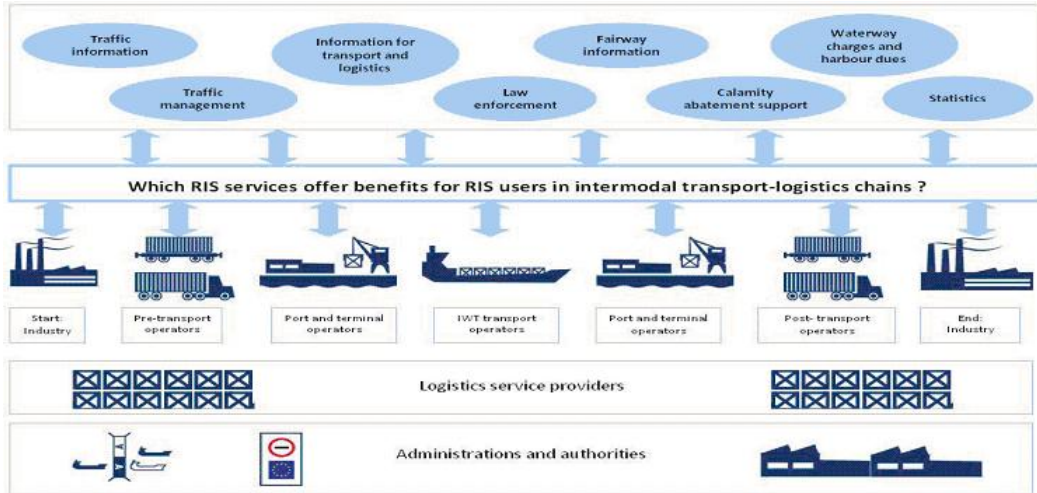


Рис. 9. Речная информационная система (ARIS) как основа создания цифрового двойника Коридора № 10 TEN-T Страсбург – Дунай в части перехода ВВТ к физическому Интернету [33]

Однако технические компоненты и задачи цифрового двойника МТК, как мы полагаем, гораздо шире современных представлений о таких системах как ARIS. На рисунке 10 мы приводим общую архитектуру цифрового двойника МТК.



Рис. 10. Общая архитектура цифрового двойника МТК. (источник - <https://www.change2twin.eu/digital-twin/>)

Рис. 10а Цифровой двойник корабля контролирует в реальном времени жизненно важные его параметры и вносит корректировки в свои действия, исходя из них и получаемой информации из береговой части цифрового двойника и иных систем [13].

Цифровой двойник судов и береговой части и их взаимодействие в рамках цифрового двойника достаточно подробно описаны в работах [11,12,13] и мы воспроизводим только два ключевых рисунка 10а и 11, чтобы не потерять логику изложения для читателя.



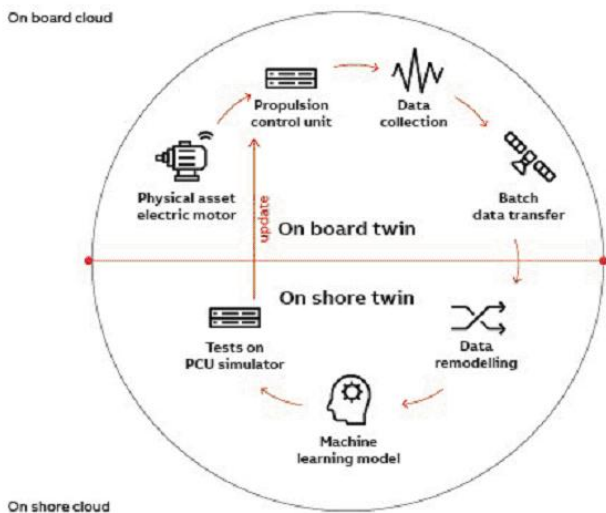


Рис. 11. Непрерывная связь берегового и судового цифровых двойников обеспечивает преимущества их внедрения [13]

В завершение этой части необходимо сказать, что системы RIS (ARIS) создаются под конкретную правовую регламентацию. Так как такую регламентацию надо будет создавать и в проекте МТК Север –Юг и СМТК, мы приводим некоторый набор таких нормативных требований ЕС для нашего читателя [35-40], который призван обеспечить возможности сквозного прохода судов BBT на территории ЕС. Этот список конечно не полный так он расширяется другими международными регламентами и национальными предписаниями. Однако без такой правовой базы цифровой двойник также не построишь, и о некоторых из них мы говорили выше.

#### У ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ДЛЯ МОРСКИХ И ВОДНЫХ КОРИДОРОВ – ЭКОНОМИКА И СТАНДАРТЫ

Помимо нормативных условий внедрения цифровых двойников для морских и водных коридоров существуют также финансово-экономические и страховые предпосылки, так как цифровые двойники МТК - это признанная возможность для улучшения экономики морского и водного секторов. Три области, которые, вероятно, выиграют от цифровых двойников, - это оптимизация флота, оптимизация портов, сквозная оптимизация цепочки поставок и повышение ситуационной осведомленности ключевых заинтересованных сторон, а также снижение ставок страхования судов, грузов и людей при использовании морского и водного транспорта.

Чтобы подготовиться к эре цифровых двойников, органы по стандартизации, такие как СЕФАКТ ООН, GS1, ВТамО (Всемирная таможенная организация) и DCSA (Цифровая ассоциация контейнерных перевозок - о ней можно прочесть в [14]), разработали различные строительные блоки в поддержку концепции цифрового двойника, а именно, модель данных смарт-контейнера СЕФАКТ ООН [42] и DCSA IoT и инфраструктуры связи. Для создания и полного развертывания цифровых

двойников по-прежнему необходимы дополнительные стандарты. Стандарты должны служить как для сегодняшних транзакций, так и для цифровых двойников будущего.

Особенно важны для развития цифровых двойников МТК упомянутые выше стандарты на IoT (IIOT) от цифровой ассоциации контейнерных перевозок (DCSA), нейтральной некоммерческой группы, созданной для дальнейшей цифровизации стандартов контейнерных перевозок которая опубликовала стандарты интерфейсов подключения IoT для транспортных контейнеров [43]. Стандарты могут быть внедрены операторами и владельцами судов, а также портами, терминалами, контейнерными станциями, поставщиками внутренней логистики и другими третьими сторонами для обеспечения взаимодействия между интеллектуальными контейнерными решениями на уровне радиointерфейса. Установив эти стандарты, перевозчики и участники цепочки поставок станут на один шаг ближе к обеспечению клиентов непрерывным потоком соответствующей информации о местонахождении контейнеров и статусе их содержимого в любой точке пути контейнера. Это одна из многих инициатив, выдвинутых DCSA для ускорения цифровизации за счет объединенных усилий отрасли [14].

Стандарт DCSA IoT для интерфейсов подключения шлюзов, который можно бесплатно загрузить с веб-сайта DCSA по ссылке [43], включает стандарты радиосвязи для шлюзов на судне, на суше, в местах проведения мероприятий и в портативных устройствах. Эти стандарты DCSA IoT предоставляют начальный набор рекомендаций по подключению, которые не зависят от поставщика и платформы, чтобы снизить инвестиционный риск, повысить операционную эффективность и способствовать инновациям. В конечном итоге стандарты DCSA IoT позволят операторам связи и другим участникам цепочки поставок сосредоточиться на предоставлении более ценных услуг и лучшего опыта для своих клиентов [45]. Разработка этих стандартов продолжается.

Новые стандарты являются первым из трех запланированных выпусков стандартов DCSA IoT, в которых рассматриваются требования к подключению рефрижераторных и сухих контейнеров, а также RFID-регистрация этих контейнеров. В будущих выпусках основное внимание будет уделено структуре данных и обработке, спецификациям физических устройств, а также безопасности и управлению доступом. Интернет вещей, как и в Индустрии 4.0 открывает новую эру эффективности в мировой торговле - цифровых двойников и это общий принцип построения цифровых двойников [26].

Еще один принцип Индустрии 4.0 Just-in-Time (JIT - точно-вовремя), ведущий к цифровым двойникам [26], начинает активно продвигаться в транспортном секторе России [4] (это статья Главного инженера ОАО РЖД - Кобзева С.А.). DCSA осуществил первую публикацию

стандарта [44] программы вызова порта DCSA Just-in-Time (JIT). Переходя от контейнерных перевозок к процессу захода в порт, стандарты JIT захода в порт DCSA позволят контейнеровозам оптимизировать скорость движения, тем самым, снизив расход топлива и выбросы CO<sub>2</sub>. Чтобы обеспечить глобальную отраслевую структуру, которая сохраняет существующие инвестиции, определения данных о заходе в порт DCSA соответствуют стандартам IMO и ITPCO Just In Time (JIT) Arrival Guide [46]. Это одна из многих инициатив, выдвинутых DCSA для ускорения цифровизации за счет объединенных усилий отрасли в переходе на цифровой двойник.

Определения данных вызовов портов DCSA можно бесплатно загрузить с веб-сайта DCSA по ссылке [44]. Определения позволят операторам связи, портам и терминалам единообразно обмениваться данными о событиях, обеспечивая цифровое планирование и операционную оптимизацию. Широкое распространение - это первый шаг на пути к созданию цифровой, глобальной, прозрачной и своевременной экосистемы вызовов портов [46].

#### VI LLOYD'S REGISTER (LR) И ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК . ВВЕДЕНИЕ ПРОГРАММЫ СЕРТИФИКАТОВ DIGITAL TWIN READY В LLOYD'S REGISTER (LR)

Пожалуй, самое поразительное в истории цифрового двойника МТК это введение программы сертификатов Digital Twin Ready в Lloyd's Register (LR) крупнейшего классификационного общества в мире начавшееся в 2018 году. Сам Lloyd's of London или просто Ллойд — известный рынок страхования, называемый иногда (ошибочно) страховой компанией во многом определяет пути развития страхования во всем мире и особенно в рассматриваемой нами теме. Ллойд представляет собой место, где встречаются андеррайтеры со страховыми брокерами для заключения договоров страхования и перестрахования.

Цифровой двойник, с точки зрения LR [47] - это динамическое цифровое представление объекта или системы, описывающее его характеристики и свойства в виде набора уравнений и цифровых моделей. Сложные процессы с участием множества участников часто представляют собой сложную среду принятия решений, которую лучше всего смоделировать в цифровом виде до начала действий. Цифровой двойник включает в себя как оборудование для сбора и обработки данных, так и программное обеспечение для представления этих данных и управления ими.

Цифровые двойники более мощные, чем модели и симуляции, потому что они используют потоки цифровых данных для преодоления барьера между физическим объектом и его представлением. Это означает, что аналитика цифровых двойников опирается на исторические данные (например, озеро данных) и потоки цифровых данных в реальном времени (например, данные, созданные IoT [47]), для анализа возможных результатов (рисунок 12). Цифровой

двойник - это общая модель ситуации, которая может быть адаптирована к конкретной ситуации путем указания соответствующих параметров, чтобы дать ответы на вопросы «что произойдет, если...» или «что произойдет, если этого не произойдет...» для поддержки принятия решений [47].

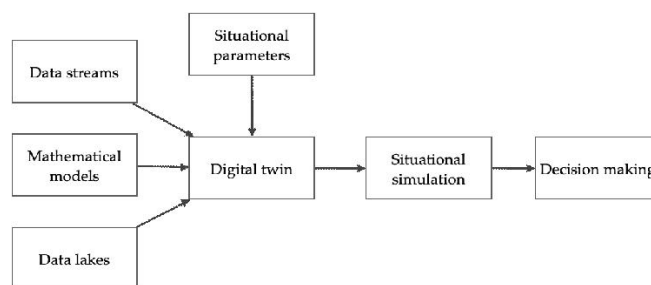


Рис. 12. Компоненты цифрового двойника МТК [47]

Цифрового двойника можно непрерывно калибровать на протяжении всего его жизненного цикла, интегрируя потоки цифровых данных в реальном времени. Это также означает, что модель можно непрерывно улучшать, чтобы она сходилась к очень точной модели реальности.

Цифровой двойник конструируется с помощью общих математических представлений многих компонентов (например, контейнерного крана, контейнера, механизма корабля и причала) и их взаимосвязи с другими компонентами (например, контейнерный кран, разгружающий контейнеровоз, использование причала для захода судов).

Тем группам, которые обладают глубокими знаниями каждого компонента, например, производителями кранов, проектировщиками портовой инфраструктуры и проектировщиками судов, необходимо разработать стандартную модель своего компонента или дать рекомендации по ее разработке. Стандартизированные цифровые модели всех компонентов в судоходной отрасли - это следующая волна стандартизации, если отрасль хочет достичь более высокого уровня производительности капитала за счет принятия операционных и стратегических решений на основе аналитики. Физические экземпляры всех компонентов должны иметь встроенные датчики, которые генерируют стандартизированный поток данных для калибровки связанной с ними цифровой модели. Текущие операции и будущие потребности могут определяться цифровыми двойниками, при условии сотрудничества морской отрасли для стандартизации потоков цифровых данных и моделей цифровых компонентов [47].

Руководствуясь такими, изложенными выше соображениями, в 2018 году LR объявила, что разработала первую в истории систему соответствия на основе данных для морской и оффшорной индустрии: «Цифровое соответствие» [48]. Было отмечено, что все более широкое использование и развитие цифровых двойников [48] предоставляет морским и оффшорным операторам значительные возможности с точки зрения улучшения аспектов их эксплуатационных

характеристик и режимов технического обслуживания, а также обеспечения большей прозрачности и повторяемости при демонстрации соответствия внутренним и внешним требованиям.

Компания LR разработала эту первую в отрасли структуру цифрового обеспечения, «Цифровое соответствие», в сотрудничестве с ведущими отраслевыми партнерами и в ответ на растущий интерес в отрасли.

Структура соответствия применяется через серию определенных уровней с поставщиком системы и оператором. Это укрепляет доверие к цифровому двойнику, который используется в системе цифрового управления состоянием или здоровьем (ДНМ) (рисунок 13 и [48]). LR оценит и признает возможности системного провайдера по созданию двойника для конкретного актива. Это, в свою очередь, дает оператору уверенность в том, что он доверяет информации, полученной с помощью цифровой системы управления состоянием здоровья на протяжении всего срока службы физического актива. Как этот подход используется далее страховыми компаниями можно посмотреть в [41].

LR будет повышать уровень доверия к системе ДНМ от этапа ввода в эксплуатацию до, в конечном итоге, выдачи описательной записки; «Цифровой двойник LIVE» - который предоставит кредит на исследовательскую деятельность через продемонстрированное функционирование двойника с течением времени.

Уровни соответствия цифровым технологиям LR следующие [48]:

#### - Цифровой двойник ГОТОВ

Гарантирует, что поставщик ДНМ и / или сервисный центр может разработать, развернуть, контролировать и поддерживать надежного цифрового двойника. Это одобрение на уровне поставщика для поставщика системы ДНМ, чтобы продемонстрировать уверенность в своих процессах и возможностях.

#### - Цифровой двойник УТВЕРЖДЕН

Гарантирует, что тип цифровой модели, которая будет использоваться для двойника, может представлять конкретный физический актив с достаточной надежностью и точностью. «Цифровой двойник УТВЕРЖДЕН» присуждается системному провайдеру за конкретный цифровой двойник, созданного для определенного актива.

#### - Цифровой двойник Введен в эксплуатацию

Он присуждается оператору актива, когда он начинает использовать утвержденного цифрового двойника от поставщика. При этом LR использует свою процедуру Digital Ships ShipRight (ранее называвшуюся «Cyber-enabled ShipRight»), чтобы гарантировать, что система была интегрирована в судно с точки зрения надежности и безопасности.

#### - Цифровой двойник LIVE

Со временем цифровому двойнику необходимо продемонстрировать, что он дает надежную и точную информацию. «Цифровой двойник LIVE» - это одобрение, которое выдается оператору, когда LR достигает этого уровня уверенности и передает определенные аспекты физического обследования в доверительное управление двойнику.

Цифровое соответствие в более широком контексте правил LR для сертификации показано на рисунке 14.

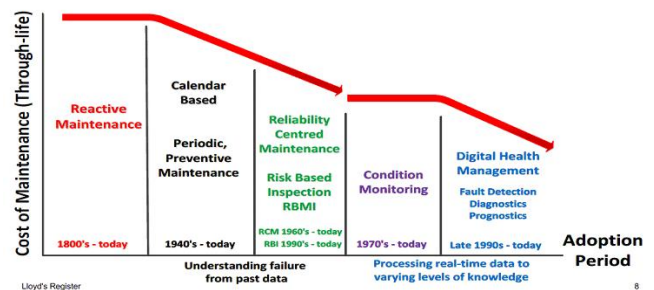


Рис. 13. Lloyd's Register (LR) и цифровой двойник как основа технология цифрового управления исправностью или здоровья (ДНМ) судна и других активов (источник - Lloyd's Register (LR))

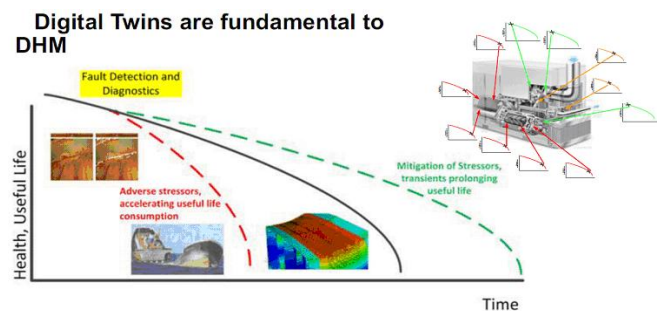


Рис. 14. Цифровое соответствие в более широком контексте правил LR для сертификации (источник - Lloyd's Register (LR))

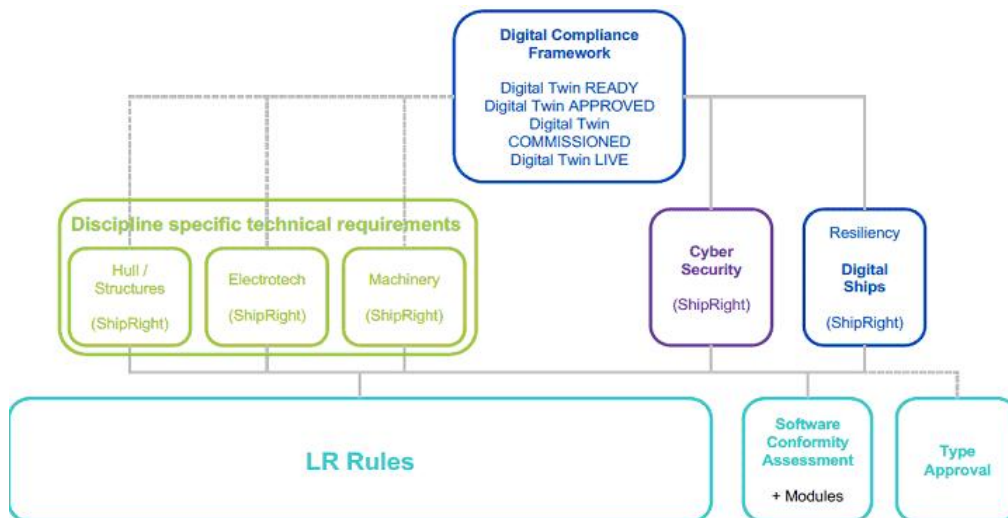


Рис. 15. Общая схема программы сертификатов Digital Twin Ready в Lloyd's Register (источник - Lloyd's Register (LR))

Цифровые двойники, отвечающие всем четырем этапам требований LR's Assurance of Digital - это надежные, надежные цифровые инструменты, которые обмениваются информацией в реальном времени, прогнозируют сбои и предоставляют технические данные для действий по улучшению. Компания LR стала пионером в обеспечении цифровых решений, опубликовав в сентябре 2018 года руководство по цифровому соответствию системам управления здравоохранением или состоянием активов. Общая схема программы сертификатов Digital Twin Ready в Lloyd's Register приведена на рисунке 15.

В соответствии с этой схемой судоходная компания Furuno Hellas была награждена в 2020 году сертификатом Digital Twin Ready от Lloyd's Register (LR) за внедрение HermAce, интеллектуальной бортовой системы, которая собирает и отслеживает данные о навигационном и коммуникационном оборудовании на мостике, активно поддерживает удаленное устранение неисправностей и устранение проблем. Мы считаем это событие очень важным и приводим для нашего читателя сразу две ссылки на него [49, 50], чтобы была возможность более детального анализа при необходимости.

HermAce, разработанный командой Hellas - производителя морского оборудования со штаб-квартирой в Японии, использует цифрового двойника в качестве виртуальной копии мостового оборудования на основе данных, передаваемых непосредственно с судна, что обеспечивает идентификацию, диагностику и решение проблем в реальном времени [50].

Используя HermAce, Furuno может удаленно контролировать, обслуживать и тестировать свое бортовое оборудование, и эта возможность позволит сократить расходы для клиентов-операторов судов, поскольку техническое обслуживание будет более предсказуемым, если требования тестирования будут удовлетворены в цифровом виде [50].

Это первый раз, когда сертификация Digital Twin

Ready была предоставлена разработчику Digital Health Management (DHM) в морской и оффшорной индустрии. Компания LR ранее выдавала GE, HHI и SERI одобрение принципов готовности к цифровому двойнику за завершение инженерного анализа жизненного цикла процессов и программных инструментов при разработке цифровых двойников [50].

Выдавая одобрение Furuno Hellas, LR оценила процессы жизненного цикла проектирования, рабочий процесс, задействованный в модели HermAce, разработку алгоритмов, соответствие программного обеспечения и практики, касающиеся информационной безопасности, в соответствии с требованиями LR Digital Twin Ready [50].

Удачная инновация Lloyd's Register не осталась незамеченной. Другая компания DNV GL - ведущее мировое классификационное общество и признанный советник в морской отрасли объявила в ноябре 2020 года новые правила DNV GL, которые определяют умную эксплуатацию и управление судном [51]. Для сравнения с подходом Lloyd's Register приводим ниже описание того, как его видит DNV GL.

Следуя [51] надо отметить, что морская отрасль претерпевает массовые изменения, поскольку суда превращаются в сложные сенсорные центры, генерирующие данные и соединяющиеся через спутники в расширяющейся взаимосвязанной сети. Чтобы обеспечить внедрение этих систем и разблокировать связанную с ними эффективность, DNV GL открывает новую главу в своих ведущих мировых правилах классификации судов: цифровые функции. Новая глава была запущена с тремя новыми нотациями (D-INF, DDV, REW) 28 октября и вступит в силу 1 января 2021 года. Кроме того, новая нотация смарт-судов (Smart) - основа для оценки и визуализации цифровых особенности судна - был представлен, говорится в сообщении компании.

Суда, их системы и компоненты в настоящее время все чаще подключаются к Интернету, что делает их доступными из любого места и частью сети морских онлайн-активов. Это дает отрасли доступ к данным в режиме реального времени, обеспечивая повышенную

автоматизацию, поддержку принятия решений, удаленный мониторинг и общее повышение безопасности и производительности. В то же время эти данные, собранные в облачном хранилище и используемые в качестве основы для цифровых двойников и других операционных, проектных и строительных симуляций, оказывают драматическое влияние на то, как отрасль смотрит на информацию, открывая новые бизнес-модели и риски [51].

Глава «Цифровые функции» (часть 6, глава 11) поддерживается двумя новыми руководящими принципами класса GL DNV и описывает основные характеристики интеллектуального судна и способы реализации новых цифровых решений для открытия новых возможностей и эффективности. Предлагаются три исходных обозначения: Инфраструктура сбора данных - «D-INF»; Проверка на основе данных - «DDV»; и Готовность / сеть и возможность удаленного наблюдения - «REW» [51].

Обозначение класса «D-INF» - Инфраструктура сбора данных и возможность соединения с судном устанавливает требования к полной инфраструктуре сбора данных, включая бортовой сервер данных, компонент ретрансляции данных и удаленный сервер данных, а также подключение к берегу. Это относится к бортовому оборудованию, поставляемому как верфью, так и владельцем, когда оно применяется для целей класса [51].

Принципы проверки на основе данных для удаленных обследований - «DDV», устанавливают требования к сбору, обработке и доставке собранных данных, чтобы гарантировать качество этих данных для использования при оценке класса. Это означает, что для указанных систем проверенные данные могут быть использованы при сертификации и классификации этих систем на морских и оффшорных судах. Обозначение охватывает несколько различных методов проверки, включая системы самопроверки и цифровых двойников [51].

Готовность к удаленному свидетельствованию в сети и возможности подключения - «REW», обеспечивает требования к системам и решениям, используемым в удаленном свидетельствовании. Для обеспечения удаленного взаимодействия с техническими экспертами в нотации обозначены бортовые устройства для прямой трансляции по всему судну. Два квалификатора указывают на функциональность для наблюдения в реальном времени, функций удаленного тестирования и совместного использования информации отображения системы (НМП), с или без удаленного управления системой [51].

Наконец, «умное судно» (Pt.6 Ch.5 Sec.24) - это добровольное обозначение, которое обеспечивает основу для оценки и визуализации цифровых характеристик судна. Три квалификатора (ОРМ, ОРН и ЕЕН) демонстрируют, что судно использует усовершенствования, которые улучшают работу, эффективность и снижают воздействие на окружающую среду [51].

## VII ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы ставили своей целью описать текущее состояние дел по цифровым двойникам для морских и водных МТК с участием России, чтобы извлечь полезное для их развития методами анализа и сравнения. С нашей точки зрения, и морские и речные МТК - это явления связанные одной общей средой, обеспечивающей экономное передвижение судов. Однако сегодня, когда происходят миграции инноваций с одного вида транспорта на другой, и даже их включение в новые бизнес-модели с исчезновением наименований, все сказанное в этой статье в части цифровых двойников может быть к ним применено. В развитии цифровых двойников на транспорте наступило время официальной стандартизации, сертификации и включения их как важного фактора страхования.

Цифровая экономика развивается быстрее аналоговой примерно в 5 раз и уже занимает десятки процентов в ВВП многих стран. В части МТК российские начинания находятся в условиях жесткой и уже цифровой конкуренции решений и, одновременно, возможного очень выгодного экономического сотрудничества в случае удержания и развития направления цифровых близнецов МТК. К счастью, новое Правительство РФ под руководством Мишустина М.В, очень оперативно создало правовые и экономические условия развития цифровых близнецов в России, и МТК в частности. Вот цепь Постановлений по этой теме:

1.Постановление Правительства РФ [52] «Об утверждении перечня технологий, применяемых в рамках экспериментальных правовых режимов в сфере цифровых инноваций» определило номенклатуру поддерживаемых цифровых решений как блоков вполне пригодных для сборки цифрового близнеца,

2.Постановления Правительства РФ [53] определило Правила предоставления субсидий российским организациям на возмещение части затрат на разработку цифровых платформ и программных продуктов в целях создания и (или) развития производства высокотехнологичной промышленной продукции соответствует цифровой части близнеца и

3.Постановление Правительства РФ [54] О внесении изменений в Правила предоставления субсидий для промышленной продукцией соответствует физической части близнеца.

Морское судоходство бурно развивается и служит инновационным примером для ВВТ, которое долгое время выглядело аутсайдером по отношению к другим видам транспорта . Пример TEN-T № 10 показывает эти изменения. В докторской диссертации 2020 года [55] детально прорабатываются вопросы инноваций для ВВТ Европы. В ней сказано:

«Европейское внутреннее судоходство обычно считается частью решения проблемы дорожных заторов. Также это вид транспорта с наименьшими внешними затратами. Следовательно, сильное и конкурентоспособное внутреннее судоходство может стать ключевым элементом в достижении целей в

области изменения климата для транспортного сектора. Чтобы оставаться конкурентоспособным и привлекательным, внутреннему судоходству необходимо вводить новшества в условиях быстро меняющейся глобальной логистической цепочки. Инновации во внутреннем судоходстве необходимы как для сохранения доли видов транспорта, так и для повышения производительности, а также для сохранения звания наиболее устойчивого вида транспорта. Альтернативные виды топлива, инновационные двигатели и силовые установки, проектирование судов, автоматизация и цифровые бизнес-приложения - это лишь несколько примеров возможных инноваций, которые могут дать ответ, привлекательный как для инвестора (с точки зрения

экономики промышленности), так и для общества (с точки зрения экономики благосостояния). Свою роль в этом играют частные субъекты; инновации часто представляют собой историю сотрудничества между государственными и частными субъектами в рамках многоуровневой сети для создания наилучших условий для успешных инноваций».

Иллюстрируя высказанное выше соображение о миграции инновационных решений по всем видам транспорта, приведем из работы [55] рисунок 16, который иллюстрирует переход всех видов транспорта на чистые энергоносители – крайне важную инновацию наряду с цифровыми технологиями.

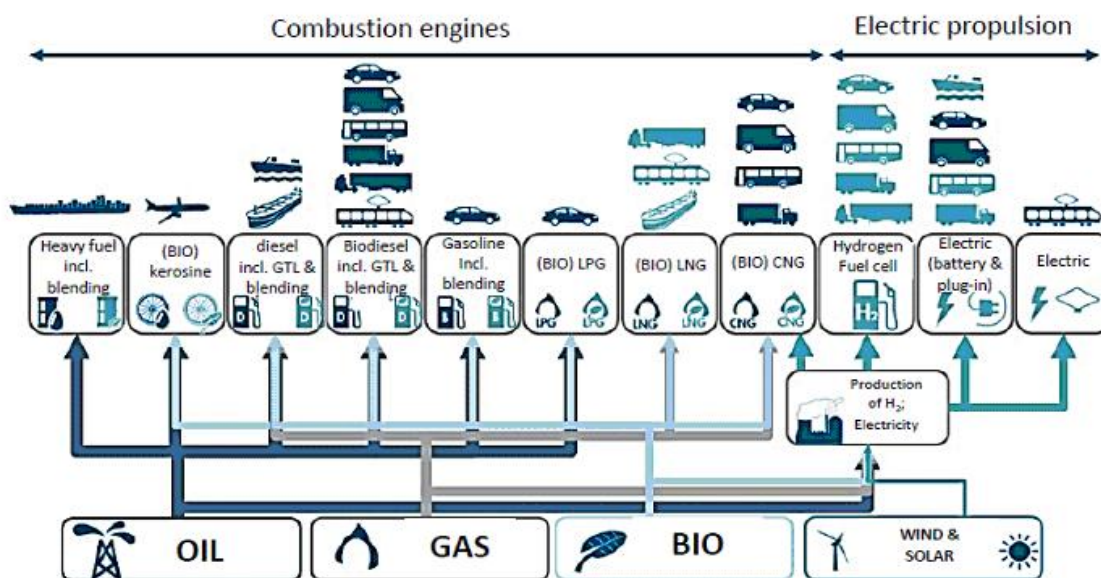


Рис. 16. Обзор трансформации энергоносителей в сегмента транспортного рынка [29].

В докторской диссертации 2020 года [55], посвященной инфраструктурам ВВТ США делаются примерно такие же выводы.

Наконец, завершая этот небольшой обзор инноваций ВВТ в Европе и США, приведем поразительные результаты, достигнутые Китаем в развитии ВВТ, в не менее солидной, чем приведенные выше диссертации, работе Мирового Банка [56] также от 2020 года:

«Большинство политиков с готовностью признают экономические, экологические и социальные преимущества перевозки грузов и пассажиров по водным путям. Однако почему многие страны не борются за развитие и возрождение внутреннего водного транспорта (ВВТ)? Одна из причин - недостаток успешных примеров возрождения ВВТ. За исключением США и Европы, которые были относительно успешными, опыт многих развивающихся стран свидетельствует об интенсивном использовании, за которым последовал полный крах сектора ВВТ. Однако сочетание социальных, экономических и экологических императивов побуждает к переоценке, поскольку страны

стремятся разработать устойчивые транспортные системы и ограничить выбросы парниковых газов в транспортном секторе. Опыт Китая похож на опыт многих стран и предлагает ценные уроки. Этот отчет является результатом углубленного ретроспективного исследования ВВТ в Китае и заполняет пробел в мировых знаниях. Из системы ВВТ, которая перевезла менее 150 миллионов тонн в 1978 году, ВВТ в Китае перевезли 3,74 миллиарда тонн грузов в 2018 году - в шесть раз больше, чем в Европейском союзе или Соединенных Штатах. Сейчас в Китае самая загруженная система ВВТ в мире. Лидерство Китая в развитии ВВТ началось с нескольких лет инвестиций в инфраструктуру, которая преобразовала водные пути низкого качества, позволив более крупным судам использовать водные пути, что привело к повышению эффективности перевозок и снижению затрат. Китай также инвестировал в развитие навыков и технических ноу-хау. На сегодняшний день в Китае насчитывается 127 000 км внутренних водных путей, которые имеют качественное судоходство и хорошие показатели безопасности. В период быстрого экономического развития Китай также принял или разработал признанные во всем мире технические новшества в

области классификации рек, замены судов, навигационных технологий и защиты окружающей среды. То, чего добился Китай, поучительно. В частности, то, как и почему Китай улучшил ВВТ, дает ценные уроки другим странам»

В 2020 году наметилось большое ускорение в развитии мировых подходов к теме стандартизации и онтологии цифровых близнецов. Так, в этом году создан консорциум цифровых двойников (Digital Twin Consortium) [57]. Консорциум цифровых двойников - это программа Object Management Group, направленная на повсеместное внедрение технологии цифровых двойников и ценностей, которые они обеспечивают. Object Management Group (OMG) создает программы и управляет ими более 30 лет. О применении формализованных онтологий в процессах стандартизации OMG можно посмотреть в работе [58]. Среди основных направлений работы консорциума цифровых двойников есть большая группа по транспорту [57].

Очевидно, что в этой группе будет участвовать BuildingSMART International, подписавший с этим консорциумом меморандум о взаимопонимании [59]. Об очень существенно продвижении в онтологической стандартизации транспортных инфраструктур можно посмотреть в публикации [60]. Обнародованные в 2020 году BuildingSMART International кандидаты в стандарты включают, в том числе, и кандидаты в стандарты инфраструктур ВВТ. Наконец, в 2020 году создана пользовательская организация "Industrial Digital Twin Association". Она мыслится как следующий шаг развития Индустрии 4.0, и она построена, как и DCSA, по принципу ведущих промышленных игроков по этой теме в мире без государственного участия. Она создана как пользовательская организация "Industrial Digital Twin Association" ведущими индустриальными

компаниями Германии и Европы [61].

Для создания успешных цифровых близнецов МТК и выполняя решение Правительства [62], крайне важно участвовать в работе перечисленных некоммерческих открытых начинаний. Тогда можно будет обеспечить совместимость российских решений по цифровым близнецам МТК с международными и выиграть начавшуюся гонку за новыми экономическими и техническими транспортными преимуществами. Все предпосылки, как нам представляется, у России для этого есть.

МТК «Север-Юг» является классическим примером «Развивающего» коридора призванного играть системообразующую роль в экономическом и социальном развитии территорий, прилегающих к его маршруту. МТК «Север-Юг» проходит по самым густонаселенным и экономически развитым регионам РФ, что открывает возможности реализации их мощного производственного, сельскохозяйственного и научного потенциала в виде экспорта товаров, транспортно-логистических и сервисных услуг, интеллектуальных продуктов.

В настоящее время силами российских ученых и специалистов с привлечением зарубежных экспертов ведется работа по созданию цифровой модели экосистемы МТК «Север-Юг» (ЦМЭКСЮ) (рис.17). Инициаторами разработки цифровой модели экосистемы МТК «Север-Юг» выступают Агрологистическая ассоциация «Афанасий Никитин», Центр геопространственного экономического анализа ЭФ МГУ имени М. В. Ломоносова, Центр цифровых высокоскоростных транспортных систем Российского университета транспорта.

Схематическая архитектура цифровой модели экосистемы МТК «Север-Юг»

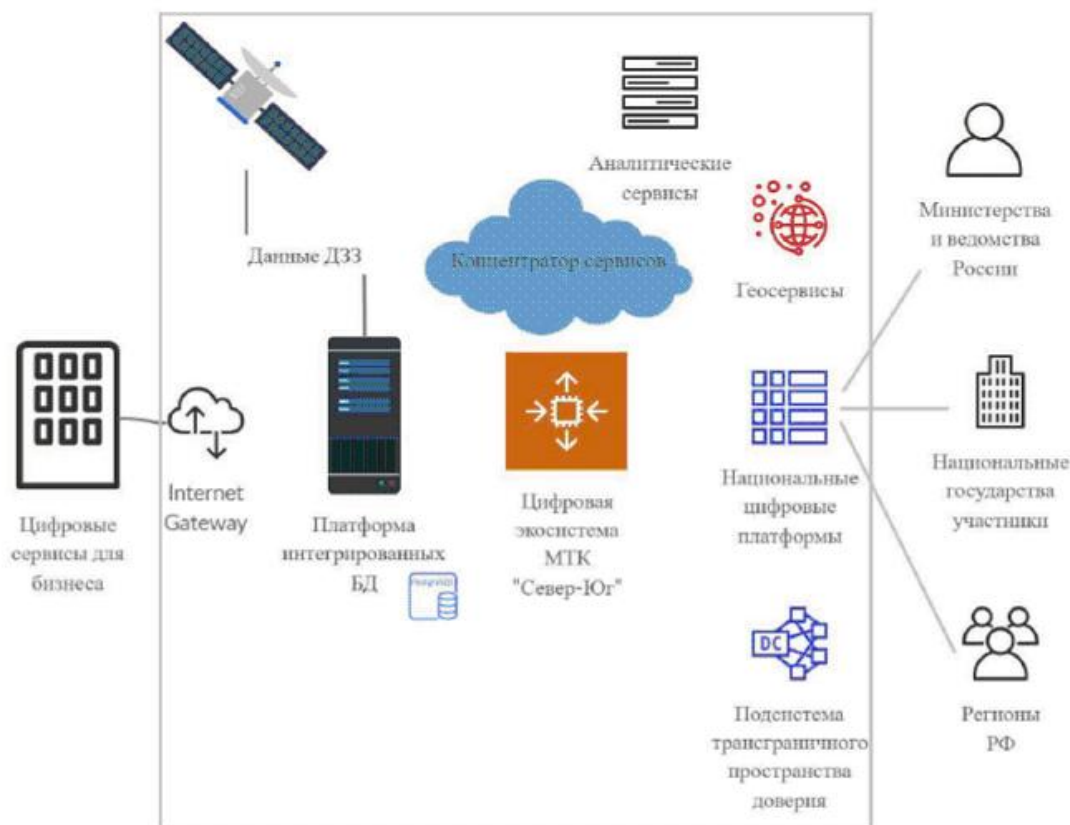


Рис.17. Экосистема МТК Север-Юг.

Целью ЦМЭКСЮ является обеспечение комплексного видения стратегических направлений, содействие участникам МТК и заинтересованным сторонам в совершенствовании инфраструктуры морских и внутренних водных магистралей, мультимодальных перевозок и операционной логистики. При этом будет решаться задача повышения конкурентоспособности коридора с точки зрения финансовых затрат, времени в пути и надежности.

Проект ЦМЭКСЮ будет охватывать три структурных части МТК: инфраструктура и сети; институционально-правовой слой; рыночно-операционный слой. Ситуационный анализ распространяется на альтернативные виды транспорта и маршруты и включает обзор недостающих инфраструктурных звеньев и всевозможных узких мест, препятствующих беспрепятственному прохождению товарных потоков по коридору.

При создании цифровой модели экосистемы МТК «Север-Юг» предполагается использовать передовой опыт проектов TRACECA (мастер-план «Логистические процессы и морские магистрали II»), DAPHNE (сбалансированное развитие портов Дуная), COREALIS (ЕС порты будущего), CANDELA (современные аналитические инструменты использования данных дистанционного зондирования Земли) и другие.

Предполагается также возможность интеграции модели с появляющимися прорывными технологиями,

которые могут использоваться портами, логистическими центрами и другими узлами МТК для отображения разворачивающейся инновационной структуры, включая Интернет вещей (IoT), аналитику данных, управление трафиком следующего поколения и новые сети 5G для решения предстоящих и будущих задач по пропускной способности, трафику, эффективности и охране окружающей среды.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] А.А.Климов, В.П.Куприяновский, П.В.Куренков, О.Н.Мадяр Цифровые транспортные коридоры для перевозок грузов и пассажиров //Вестник транспорта 10/2017 С. 26-30.
- [2] А.А.Климов, В.П.Куприяновский, П.В.Куренков, О.Н.Мадяр Цифровые транспортные коридоры для перевозок грузов и пассажиров //Вестник транспорта 11/2017 С. 15-28.
- [3] Pokusaev O. et al. BIM, Ontology and Asset Management Technologies on European Highways //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 6. – С. 108-135.
- [4] С.А. Кобзев Бережливая киберфизическая производственная система транспортной компании //Железнодорожный транспорт 2020 – №. 9.
- [5] Kupriyanovsky V. et al. On intelligent mobility in the digital economy //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 2. – С. 46-63.
- [6] Kupriyanovsky Y. et al. Smart container, smart port, BIM, Internet Things and blockchain in the digital system of world trade //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 3. – С. 49-94.
- [7] Namiot D. et al. Blockchain applications for transport industry //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 12. – С. 130-134.



- [8] Куприяновский В. П. и др. Интеллектуальная мобильность и мобильность как услуга в Умных Городах //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 12.
- [9] Kupriyanovsky V. et al. Digital supply chains and blockchain-based technologies in a shared economy //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 8. – С. 80-95.
- [10] Куприяновский В. П. и др. На пути к физическому интернету: индустрия, логистика и электронная коммерция 4.0. Европейский вариант //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. - Т. 7. – №. 5.
- [11] Kupriyanovsky V. et al. EU Digital Transport Corridors-5G, Platooning, ITS and MaaS //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – №. 8. – С. 70-86.
- [12] Kupriyanovsky V. et al. Digital twins based on the development of BIM technologies, related ontologies, 5G, IoT, and mixed reality for use in infrastructure projects and IFRABIM //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 3. – С. 55-74.
- [13] Klimov A. et al. On smart technologies in ports and shipping as linked digital twins for shore and ship in a multimodal environment //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 3. – С. 75-91.
- [14] Kupriyanovsky V. et al. Towards a physical Internet: industrial and logistics clusters, standardization of the digital container and implementation timeline //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 4. – С. 74-88.
- [15] Север Юг [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80\\_%E2%80%94%D0%AE%D0%B3](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80_%E2%80%94%D0%AE%D0%B3)
- [16] Северный морской путь [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9\\_%D0%BF%D1%83%D1%82%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D1%83%D1%82%D1%8C)
- [17] SEDNA D1.2 SEDNA Future Trends „SEDNA 30/11/18 <https://www.sedna-project.eu/media/1058/d12-arctic-shipping-future-trends.pdf>
- [18] Paperless Trading: How Does It Impact the Trade System? WEF October 2017
- [19] Упрощение процедур торговли с использованием устойчивых и цифровых технологий в регионе ЕЭК ООН Региональный доклад ЕЭК ООН 2019 года Организация Объединенных Наций Женева, 2020 год
- [20] White Paper on Blockchain in Trade Facilitation (ECE/TRADE/457) Published: September 2020
- [21] Trans-European Transport Network [https://en.wikipedia.org/wiki/Trans-European\\_Transport\\_Network](https://en.wikipedia.org/wiki/Trans-European_Transport_Network)
- [22] Speech: The Sea of Europe: Routing the map for economic growth [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/SPEECH\\_14\\_133](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/SPEECH_14_133)
- [23] Цифровое моделирование на примере проекта СМТК <https://dfnc.ru/ekspertnoe-mnenie/tsifrovoe-modelirovanie-na-primere-proekta-smtk/>
- [24] Цифровой двойник Арктики» позволит моделировать каждое судно на Севморпути 20 октября 2020 <https://portnews.ru/news/303508/>
- [25] Ученые РФ создадут цифровой двойник для строительства систем ветровой энергетики в Арктике [https://mobile.ruscable.ru/news/2020/4/1/Uchenye\\_RF\\_sozdadut\\_tsifrovoj\\_dvojniki\\_dlya\\_stroitelstva\\_sistem\\_vetrovoj\\_energetiki\\_v\\_Arktike](https://mobile.ruscable.ru/news/2020/4/1/Uchenye_RF_sozdadut_tsifrovoj_dvojniki_dlya_stroitelstva_sistem_vetrovoj_energetiki_v_Arktike)
- [26] Прохоров А., Лысачев М. Научный редактор профессор Боровков А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное. – М.: ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 стр.
- [27] Мировые тенденции, перспективные сценарии развития и использования технологий 5G в отраслях экономики Ростелеком 2020
- [28] Белая книга по развитию, достижениям и будущему устойчивого внутреннего водного транспорта © Организация Объединенных Наций, 2020 год
- [29] Edwin Verbergh Innovation in Inland Navigation: Failure and Success The European case Thesis submitted for the degree of Doctor in Applied Economics University of Antwerp Faculty of Business and Economics Department of Transport and Regional Economics, Antwerp, Belgium, © 2020 – Edwin Verbergh
- [30] IW-NET <https://cordis.europa.eu/project/id/861377>
- [31] PLANET <https://cordis.europa.eu/project/id/860274>
- [32] NOVIMOVE <https://cordis.europa.eu/project/id/858508> и <https://novimove.eu/>
- [33] Gerhard Schilka, Lukas Seemannb Transport Research Arena–Europe 2012 Use of ITS technologies for multimodal transport operations – River Information Services (RIS) transport logistics services, © 2012 Published by Elsevier Ltd
- [34] K.J. James, Vikas V. Shenoy, M. Bhasi, C.G. Nandakumar, Automated ICT Systems in Inland Waterways by Developing a Multi-flow River Information Services System, International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology, 10 (2), 2019, pp 389-402. <http://www.iaeme.com/IJARET/issues.asp?JType=IJARET&VType=10&ITType=2>
- [35] Commission Implementing Regulation (EU) 2019/1744 of 17 September 2019 on technical specifications for electronic ship reporting in inland navigation and repealing Regulation (EU) No 164/2010
- [36] Commission Implementing Regulation (EU) 2019/838 of 20 February 2019 on technical specifications for vessel tracking and tracing systems and repealing Regulation (EC) No 415/2007
- [37] Commission Implementing Regulation (EU) 2018/1973 of 7 December 2018 amending Implementing Regulation (EU) No 909/2013 on the technical specifications for the electronic chart display and information system for inland navigation (Inland ECDIS) referred to in Directive 2005/44/EC of the European Parliament and of the Council
- [38] Commission Implementing Regulation (EU) 2018/2032 of 20 November 2018 amending Commission Regulation (EC) No 416/2007 concerning the technical specifications for Notices to Skippers
- [39] Commission Regulation (EC) No 414/2007 of 13 March 2007 concerning the technical guidelines for the planning, implementation and operational use of river information services (RIS) referred to in Article 5 of Directive 2005/44/EC of the European Parliament and of the Council on harmonised river information services (RIS) on inland waterways in the Community
- [40] Directive 2005/44/EC of the European Parliament and of the Council of 7 September 2005 on harmonised river information services (RIS) on inland waterways in the Community
- [41] Куприяновский В. П. и др. Цифровая экономика-«Умный способ работать» //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 2.
- [42] BUSINESS REQUIREMENTS SPECIFICATION (BRS) Smart Containers Approved: UN/CEFACT Bureau on 30 September 2019 UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE UNITED NATIONS CENTRE FOR TRADE FACILITATION AND ELECTRONIC BUSINESS (UN/CEFACT)
- [43] IoT Container Standards ,IoT Standard for Gateway Connectivity Interfaces ,Version 1.0 DCSA 18 September 2020 [https://dcsa.org/wp-content/uploads/2020/09/DCSA-P2-Gateway-Connectivity-Interfaces-Standards\\_v1.0\\_FINAL.pdf](https://dcsa.org/wp-content/uploads/2020/09/DCSA-P2-Gateway-Connectivity-Interfaces-Standards_v1.0_FINAL.pdf)
- [44] Standards for a just-in-time port call, Standard data definitions as the first step towards a digital port call ecosystem for the container shipping industry, October 20, 2020, Version: 1.0 <https://dcsa.org/wp-content/uploads/2020/10/20201020-DCSA-P6-JIT-Port-Call-Publication-Release1-V1.0-FINAL-1.pdf>
- [45] DCSA Establishes IoT Standards for Container Connectivity 11.17.2020 <https://dcsa.org/dcsa-establishes-iot-standards-for-container-connectivity/>
- [46] DCSA launches Just-in-Time Port Call programme to facilitate vessel speed optimisation and reduce CO2 emissions Amsterdam, The Netherlands, October 20, 2020 <https://dcsa.org/dcsa-publishes-standard-data-definitions-to-enable-just-in-time-port-calls/>
- [47] Digital Twins for the Maritime Sector BY MIKAEL LIND 07-15-2020 08 <https://www.maritime-executive.com/editorials/digital-twins-for-the-maritime-sector>
- [48] Lloyd's Register Launches Pioneering Digital Assurance Framework BY THE MARITIME EXECUTIVE 09-03-2018 <https://www.maritime-executive.com/corporate/lloyd-s-register-launches-pioneering-digital-assurance-framework>
- [49] Digital Twin Ready certification awarded to Furuno 2020 September 17 18:05 <https://en.portnews.ru/news/301896/>
- [50] LR awards Digital Twin ready certification to Furuno HermAce Thursday, 17 September 2020 | Navigation, Autonomy & New Technologies <https://thedigitalship.com/home-2/item/6799-lr-awards-digital-twin-ready-certification-to-furuno-hermace>
- [51] New DNV GL rules drive smart ship operation and management 2 /11/ 2020 <https://en.portnews.ru/news/304129/>
- [52] Постановление Правительства РФ от 28.10.2020 N 1750 "Об утверждении перечня технологий, применяемых в рамках

экспериментальных правовых режимов в сфере цифровых инноваций"

- [53] Постановление Правительства РФ от 12 ноября 2020 г. № 1813 О внесении изменений в Правила предоставления субсидий российским организациям на возмещение части затрат на разработку цифровых платформ и программных продуктов в целях создания и (или) развития производства высокотехнологичной промышленной продукции
- [54] Постановление Правительства РФ от 12 ноября 2020 г. № 1813 МОСКВА О внесении изменений в Правила предоставления субсидий для промышленной продукцией Edwin Verberghт Innovation in Inland Navigation: Failure and Success The European case
- [55] BRIAN A. EICK , STRUCTURAL HEALTH MONITORING OF INLAND NAVIGATION INFRASTRUCTURE DISSERTATION degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2020 Urbana, Illinois
- [56] Aritua, Bernard; Cheng, Lu; van Liere, Richard; de Leijer, Harrie. 2020. Blue Routes for a New Era: Developing Inland Waterways Transportation in China. International Development in Focus. Washington, DC: World Bank. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34415> License: CC BY 3.0 IGO.
- [57] Digital Twin Consortium <https://www.digitaltwinconsortium.org/about-us/>
- [58] Elisa F. Kendall, Deborah L. McGuinness Morgan & Claypool Publishers, 26 апр. 2019 г.
- [59] buildingSMART International and Digital Twin Consortium Sign Memorandum of Understanding October 20, 2020 <https://www.buildingsmart.org/buildingsmart-international-and-digital-twin-consortium-sign-memorandum-of-understanding/>
- [60] Kupriyanovsky V. et al. BIM on the way to IFC5-alignment and development of IFC semantics and ontologies with UML and OWL for road and rail structures, bridges, tunnels, ports, and waterways //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 8. – С. 69-78.
- [61] User organization "Industrial Digital Twin Association" founded 25.09.2020 <https://www.plmportal.org/en/news-detail/user-organization-industrial-digital-twin-association-founded.html>
- [62] Распоряжение Правительства РФ от 29 февраля 2016 г. № 327-р Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года

# Technologies of digital twins in transport corridors for sea and waterways in Russia

Vasily Kupriyanovsky, Alexander Klimov, Igor Gots, Alexey Volodin, Mikhail Jabitsky, Julia Kupriyanovsky

**Abstract** — The article discusses digital twins for transport corridors using sea and waterways in Russia. The physical development of transport today begins to group around the development of transport corridors. The most famous of them are international transport corridors. Substituting a significant portion of human labor and the associated risk factor from management, even in conventional highways, for example in England, with digital methods, has powerful economic results. At the same time, the effects on the ITC can be both more significant and deeper, since they not only perform transport and new functions, but also create technological and business clusters that did not coexist before. The economic value of the ITC lies not in the constructed transport routes (these are costs), but in the development and connection of economic clusters, including both the movement of people and goods. Such approaches and implementations of MTC, successfully found from different angles, have led today to the fact that they are beginning to develop, both at the country level and at the city level, while digital solutions began to rapidly transform into technologies based on digital twins, blockchains, physical internet, internet of things, MASS, etc.

**Keywords** — digital twin, water transport.

## REFERENCES

[1] A.A. Klimov, V.P. Kupriyanovskij, P.V. Kurenkov, O.N. Madjar Cifrovye transportnye koridory dlja perevozok gruzov i passazhirov // Vestnik transporta 10/2017 S. 26-30.  
[2] A.A. Klimov, V.P. Kupriyanovskij, P.V. Kurenkov, O.N. Madjar Cifrovye transportnye koridory dlja perevozok gruzov i passazhirov // Vestnik transporta 11/2017 S. 15-28.  
[3] Pokusaev O. et al. BIM, Ontology and Asset Management Technologies on European Highways // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 6. – S. 108-135.  
[4] S.A. Kobzev Berezhlivaja kiberfizicheskaja proizvodstvennaja sistema transportnoj kompanii // Zheleznodorozhnyj transport 2020 – #. 9.  
[5] Kupriyanovsky V. et al. On intelligent mobility in the digital economy // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 2. – S. 46-63.  
[6] Kupriyanovsky Y. et al. Smart container, smart port, BIM, Internet Things and blockchain in the digital system of world trade // International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 3. – S. 49-94.  
[7] Namiot D. et al. Blockchain applications for transport industry // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 12. – S. 130-134.  
[8] Kupriyanovskij V. P. i dr. Intellektual'naja mobil'nost' i mobil'nost' kak usluga v Umnyh Gorodah // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 12.  
[9] Kupriyanovsky V. et al. Digital supply chains and blockchain-based technologies in a shared economy // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 8. – S. 80-95.  
[10] Kupriyanovskij V. P. i dr. Na puti k fizicheskomu internetu: industrija, logistika i jelektronnaja komercija 4.0. Evropejskij variant // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – T. 7. – #. 5.

[11] Kupriyanovsky V. et al. EU Digital Transport Corridors-5G, Platooning, ITS and MaaS // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – T. 7. – #. 8. – S. 70-86.  
[12] Kupriyanovsky V. et al. Digital twins based on the development of BIM technologies, related ontologies, 5G, IoT, and mixed reality for use in infrastructure projects and IFRABIM // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 3. – S. 55-74.  
[13] Klimov A. et al. On smart technologies in ports and shipping as linked digital twins for shore and ship in a multimodal environment // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 3. – S. 75-91.  
[14] Kupriyanovsky V. et al. Towards a physical Internet: industrial and logistics clusters, standardization of the digital container and implementation timeline // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 4. – S. 74-88.  
[15] Sever Jug  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80\\_%E2%80%94%D0%AE%D0%B3](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80_%E2%80%94%D0%AE%D0%B3)  
[16] Severnyj morskoy put' put'  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9\\_%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9\\_%D0%BF%D1%83%D1%82%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D1%83%D1%82%D1%8C)  
[17] SEDNA D1.2 SEDNA Future Trends .SEDNA 30/11/18  
<https://www.sedna-project.eu/media/1058/d12-arctic-shipping-future-trends.pdf>  
[18] Paperless Trading: How Does It Impact the Trade System? WEF October 2017  
[19] Uproshhenie procedur trgovli s ispol'zovaniem ustojchivyh i cifrovyh tehnologij v regione EJeK OON Regional'nyj doklad EJeK OON 2019 goda Organizacija Ob"edinennyh Nacij Zheneva, 2020 god  
[20] White Paper on Blockchain in Trade Facilitation (ECE/TRADE/457) Published: September 2020  
[21] Trans-European Transport Network Network  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Trans-European\\_Transport\\_Network](https://en.wikipedia.org/wiki/Trans-European_Transport_Network)  
[22] Speech: The Sea of Europe: Routing the map for economic growth [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/SPEECH\\_14\\_133](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/SPEECH_14_133)  
[23] Cifrovoe modelirovanie na primere proekta SMTK <https://dfnc.ru/ekspertnoe-mnenie/tsifrovoe-modelirovanie-na-primere-proekta-smtk/>  
[24] Cifrovoy dvojniki Arktiki» pozvolit modelirovat' kazhdoe sudno na Sevморputi 20 oktjabrja 2020 <https://portnews.ru/news/303508/>  
[25] Uchenye RF sozdadut cifrovoy dvojniki dlja stroitel'stva sistem vetrovoj jenergetiki v Arktike Arktike  
[https://mobile.ruscable.ru/news/2020/4/1/Uchenye\\_RF\\_sozdadut\\_tsifrovoy\\_dvojniki\\_dlya\\_stroite/](https://mobile.ruscable.ru/news/2020/4/1/Uchenye_RF_sozdadut_tsifrovoy_dvojniki_dlya_stroite/)  
[26] Prohorov A., Lysachev M. Nauchnyj redaktor professor Borovkov A. Cifrovoy dvojniki. Analiz, trendy, mirovoj opyt. Izdanie pervoe, ispravlennoe i dopolnennoe. – M.: OOO «Al'jansPrint», 2020. – 401 str.  
[27] Mirovye tendencii, perspektivnye scenarii razvitiya i ispol'zovanija tehnologij 5G v otrasljah jekonomiki Rostelekom 2020  
[28] Belaja kniga po razvitiyu, dostizhenijam i budushhemu ustojchivogo vnutrennego vodnogo transporta © Organizacija Ob"edinennyh Nacij, 2020 god  
[29] Edwin Verbergh Innovation in Inland Navigation: Failure and Success The European case Thesis submitted for the degree of Doctor in Applied Economics University of Antwerp Faculty of Business and Economics Department of Transport and Regional Economics, Antwerp, Belgium, © 2020 – Edwin Verbergh  
[30] IW-NET <https://cordis.europa.eu/project/id/861377>  
[31] PLANET <https://cordis.europa.eu/project/id/860274>  
[32] NOVIMOVE <https://cordis.europa.eu/project/id/858508> i <https://novimove.eu/>

- [33] Gerhard Schilka, Lukas Seemannb Transport Research Arena–Europe 2012 Use of ITS technologies for multimodal transport operations – River Information Services (RIS) transport logistics services, © 2012 Published by Elsevier Ltd
- [34] K.J. James, Vikas V. Shenoy, M. Bhasi, C.G. Nandakumar, Automated ICT Systems in Inland Waterways by Developing a Multi-flow River Information Services System, International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology, 10 (2), 2019, pp 389-402. <http://www.iaeme.com/IJARET/issues.asp?JType=IJARET&VType=10&IType=2>
- [35] Commission Implementing Regulation (EU) 2019/1744 of 17 September 2019 on technical specifications for electronic ship reporting in inland navigation and repealing Regulation (EU) No 164/2010
- [36] Commission Implementing Regulation (EU) 2019/838 of 20 February 2019 on technical specifications for vessel tracking and tracing systems and repealing Regulation (EC) No 415/2007
- [37] Commission Implementing Regulation (EU) 2018/1973 of 7 December 2018 amending Implementing Regulation (EU) No 909/2013 on the technical specifications for the electronic chart display and information system for inland navigation (Inland ECDIS) referred to in Directive 2005/44/EC of the European Parliament and of the Council
- [38] Commission Implementing Regulation (EU) 2018/2032 of 20 November 2018 amending Commission Regulation (EC) No 416/2007 concerning the technical specifications for Notices to Skippers
- [39] Commission Regulation (EC) No 414/2007 of 13 March 2007 concerning the technical guidelines for the planning, implementation and operational use of river information services (RIS) referred to in Article 5 of Directive 2005/44/EC of the European Parliament and of the Council on harmonised river information services (RIS) on inland waterways in the Community
- [40] Directive 2005/44/EC of the European Parliament and of the Council of 7 September 2005 on harmonised river information services (RIS) on inland waterways in the Community
- [41] Kuprijanovskij V. P. i dr. Cifrovaja jekonomika-«Umnyj sposob rabotat'» //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – T. 4. – #. 2.
- [42] BUSINESS REQUIREMENTS SPECIFICATION (BRS) Smart Containers Approved: UN/CEFACT Bureau on 30 September 2019 UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE UNITED NATIONS CENTRE FOR TRADE FACILITATION AND ELECTRONIC BUSINESS (UN/CEFACT)
- [43] IoT Container Standards ,IoT Standard for Gateway Connectivity Interfaces ,Version 1.0 DCSA 18 September 2020 [https://dcsa.org/wp-content/uploads/2020/09/DCSA-P2-Gateway-Connectivity-Interfaces-Standards\\_v1.0\\_FINAL.pdf](https://dcsa.org/wp-content/uploads/2020/09/DCSA-P2-Gateway-Connectivity-Interfaces-Standards_v1.0_FINAL.pdf)
- [44] Standards for a just-in-time port call, Standard data definitions as the first step towards a digital port call ecosystem for the container shipping industry, October 20, 2020, Version: 1.0 <https://dcsa.org/wp-content/uploads/2020/10/20201020-DCSA-P6-JIT-Port-Call-Publication-Release1-V1.0-FINAL-1.pdf>
- [45] DCSA Establishes IoT Standards for Container Connectivity 11.17.2020 <https://dcsa.org/dcsa-establishes-iot-standards-for-container-connectivity/>
- [46] DCSA launches Just-in-Time Port Call programme to facilitate vessel speed optimisation and reduce CO2 emissions Amsterdam, The Netherlands, October 20, 2020 <https://dcsa.org/dcsa-publishes-standard-data-definitions-to-enable-just-in-time-port-calls/>
- [47] Digital Twins for the Maritime Sector BY MIKAEL LIND 07-15-2020 08 <https://www.maritime-executive.com/editorials/digital-twins-for-the-maritime-sector>
- [48] Lloyd's Register Launches Pioneering Digital Assurance Framework BY THE MARITIME EXECUTIVE 09-03-2018 <https://www.maritime-executive.com/corporate/lloyd-s-register-launches-pioneering-digital-assurance-framework>
- [49] Digital Twin Ready certification awarded to Furuno 2020 September 17 18:05 <https://en.portnews.ru/news/301896/>
- [50] LR awards Digital Twin ready certification to Furuno HermAce Thursday, 17 September 2020 | Navigation, Autonomy & New Technologies <https://thedigitalship.com/home-2/item/6799-lr-awards-digital-twin-ready-certification-to-furuno-hermace>
- [51] New DNV GL rules drive smart ship operation and management 2 /11/ 2020 <https://en.portnews.ru/news/304129/>
- [52] Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 28.10.2020 N 1750 "Ob utverzhdenii perechnja tehnologij, primenjaemyh v ramkah jeksperimental'nyh pravovyh rezhimov v sfere cifrovych innovacij"
- [53] Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 12 nojabrja 2020 g. # 1813 O vnesenii izmenenij v Pravila predostavlenija subsidij rossijskim organizacijam na vozmeshhenie chasti zatrat na razrabotku cifrovych platform i programmnyh produktov v celjah sozdanija i (ili) razvitiya proizvodstva vysokotekhnologichnoj promyshlennoj produkcii
- [54] Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 12 nojabrja 2020 g. # 1813 MOSKVA O vnesenii izmenenij v Pravila predostavlenija subsidij dlja promyshlennoj produkcij Edwin Verbergh Innovation in Inland Navigation: Failure and Success The European case
- [55] BRIAN A. EICK , STRUCTURAL HEALTH MONITORING OF INLAND NAVIGATION INFRASTRUCTURE DISSERTATION degree of Doctor of Philosophy in Civil Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, 2020 Urbana, Illinois
- [56] Aritua, Bernard; Cheng, Lu; van Liere, Richard; de Leijer, Harrie. 2020. Blue Routes for a New Era: Developing Inland Waterways Transportation in China. International Development in Focus. Washington, DC: World Bank. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34415> License: CC BY 3.0 IGO.
- [57] Digital Twin Consortium <https://www.digitaltwinconsortium.org/about-us/>
- [58] Elisa F. Kendall, Deborah L. McGuinness Morgan & Claypool Publishers, 26 apr. 2019 g.
- [59] buildingSMART International and Digital Twin Consortium Sign Memorandum of Understanding October 20, 2020 <https://www.buildingsmart.org/buildingsmart-international-and-digital-twin-consortium-sign-memorandum-of-understanding/>
- [60] Kuprijanovskij V. et al. BIM on the way to IFC5-alignment and development of IFC semantics and ontologies with UML and OWL for road and rail structures, bridges, tunnels, ports, and waterways //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 8. – S. 69-78.
- [61] User organization "Industrial Digital Twin Association" founded 25.09.2020 <https://www.plmportal.org/en/news-detail/user-organization-industrial-digital-twin-association-founded.html>
- [62] Rasporjzhenie Pravitel'stva RF ot 29 fevralja 2016 g. # 327-r Strategija razvitiya vnutrennego vodnogo transporta Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda