International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 8, no.5, 2020

BIM на железных дорогах мира – развитие, примеры, стандарты

В.П.Куприяновский, О.Н.Покусаев, А.А.Климов, А.П.Добрынин, В.С.Лазуткина, И.П. Потапов

***Аннотация*— В данной статье речь идет об использовании BIM в проектировании и эксплуатации железных дорог. В настоящее время, у пассажирского и грузового железнодорожного транспорта, история которого насчитывает почти 200 лет, начался новый этап быстрого роста, связанный, как с его востребованностью, так и возможностями, открывшимися с внедрением инновационных технологий и подходов. Сегодня появление нового технологического уклада сопровождается одновременным развитием цифровых технологий, что способствует повышению эффективности национальной и мировой экономики. Основной причиной внедрения цифровых технологий является стремление повысить скорость принятия решений и качество управления основными бизнес-процессами. В Европе одним из предвестников цифровой экономики было решительное внедрение технологий информационного моделирования зданий (BIM). В этом нелёгком процессе внедрения инноваций BIM в практику очень заметную роль сыграл самый большой тогда строительный проект в Европе Crossrail или ныне маршрут в Лондоне, известный как линия Элизабет, который был запущен осенью 2019 года. В работе также рассматриваются BIM проекты на железных дорогах Южной Кореи, Китая, Северной Европы. Также рассмотрен проект IFC Rail buildingSMART создания международных стандартов для строительства, реконструкции и эксплуатации железнодорожных инфраструктур.**

***Ключевые слова*—транспорт, BIM.**

I. ВВЕДЕНИЕ ИЛИ МИРОВЫЕ БАНКИ И ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ

В 21 веке у пассажирского и грузового железнодорожного транспорта, история которого насчитывает почти 200 лет, начался новый этап быстрого роста, связанный, как с его востребованностью, так и возможностями, открывшимися с внедрением инновационных технологий и подходов. Востребованность железнодорожного транспорта связана с ростом городов (половина населения земли уже живет в них), ростом мобильности людей, отличными экономическими характеристиками этого вида транспорта из расчета затрат на одного пассажира и экологических показателей электрифицированных линий, в то время как электричество как движущую силу только начали осваивать другие виды транспорта. Поэтому вклад современных железных дорог в улучшение качества жизни людей стал предметом исследований, в том числе, крупнейших общественных банков мира, таких как Мировой банк(WB) и Азиатский банк развития (ADB), имеющих большой опыт финансирования железнодорожных проектов по всему миру [1-9,20,22].

Для иллюстрации сказанного мы выбрали только два издания из приведенного выше перечня, которые уже носят характер объемных справочников, что свидетельствует о высоком достигнутом уровне развития темы.

Так, в весьма объемном (566 страниц 2020 год ADBI – институт ADB) справочнике по высокоскоростным железным дорогам и качеству жизни [6], изложен мировой опыт развития высокоскоростных железных дорог, включая их строительство, воздействие и планирование, с особым акцентом на странах, которые планируют внедрение ВСМ в ближайшее десятилетие. Высокоскоростная железнодорожная инфраструктура может принести значительные социально-экономические выгоды, которые не могут быть оценены с помощью только эконометрического моделирования. Таким образом, анализ истинных воздействий требует как скалярной, так и временной линзы. Исследования в этом справочнике обсуждают проекты транспортной инфраструктуры различного географического масштаба и описывают основные сложности разработки системы инфраструктуры, уделяя особое внимание аспектам, которые могут повысить качество жизни [6].

Конечно, в [6], как и во многих других работах нашего списка, внимательно исследуется выдающийся опыт Китая в строительстве и эксплуатации ВСМ, которые также обладают вокзалами и станциями. Впрочем, это тема отдельного исследования, пока мы ограничимся цитированием [11], чтобы наглядно показать читателю достигнутый уровень скоростных железных дорог в Китае:

«В рамках национальной инициативы Китая по строительству железных дорог и подготовке к проведению в Пекине зимних Олимпийских игр 2022 года в провинции Хубэй на северо-востоке Китая строится скоростная железная дорога Пекин-

Статья получена 11 апреля 2020.

В.П. Куприяновский - РУТ (МИИТ) (email: v.kupriyanovsky@rut.digital)
О.Н. Покусаев - РУТ (МИИТ); buildingSmart Россия (email: o.pokusaev@rut.digital)
А.А. Климов - РУТ (МИИТ) (email: aaklimov1961@gmail.com)
А.П.Добрынин – МГУ имени М.В. Ломоносова (email: andrey.p.dobrynin@gmail.com)
В.С.Лазуткина - РУТ (МИИТ) (email: v.lazutkina@rut.digital)
И.П. Потапов - РУТ (МИИТ) (email: i.potapov@rut.digital)

Чжанцзякоу. Железная дорога протяженностью 174 км протяженностью и стоимостью 53,5 млрд. юаней станет первой в мире высокоскоростной железнодорожной линией с расчетной скоростью 350 километров в час. Это сократит время в пути между двумя городскими местами проведения Олимпийских игр с трех часов до 50 минут. Это новая 71-я скоростная линия Китая». Эта дорога уже в эксплуатации.

В другом даже более объемном справочнике (797 стр. Мировой банк сентябрь 2018 года) собраны практические рекомендации по развитию городских железных дорог [1].

В этом справочнике рассказывается о лицах, принимающих решения по каждому этапу процесса разработки проекта, и выделяются ключевые решения по риск-вознаграждению на каждом этапе и доступные методы (и необходимые ресурсы), чтобы ответить на них. Другие главы освещают ключевые темы и представляют инструменты, которые применимы на протяжении всего процесса разработки проекта. То, как отдельные читатели могут использовать это руководство, зависит от того, где они находятся в процессе принятия решений и разработки проекта.

Эти две работы показывают, что сегодня на мировом железнодорожном рынке наиболее востребованы решения по скоростным железным дорогам и городским железным дорогам, которые могут органично сочетать возможности друг друга, что и подтверждают маркетинговые исследования [45]. Быстрое развитие железных дорог дополняется отличными возможностями гибкой интеграции со всеми видами транспорта для пассажиров, что открывает путь к мультимодальным и синхромодальным системам и широкому применению цифровых технологий.

Сегодня появление нового технологического уклада сопровождается одновременным развитием цифровых технологий, что способствует повышению эффективности национальной и мировой экономики. Основной причиной внедрения цифровых технологий является стремление повысить скорость принятия решений и качество управления основными бизнес-процессами. Например, в отчете «Цифровые дивиденды» упомянутый выше Всемирный банк подчеркивает, что цифровые технологии помогают фирмам повышать производительность, помогать людям находить работу и расширять возможности, а также помогают правительствам предоставлять гражданам более качественные государственные услуги. Однако влияние использования цифровых технологий зависит от улучшения делового климата, эффективности систем образования и здравоохранения и существующих методов управления. Эти обстоятельства способствуют изменению ролей, выполняемых каждым участником экономических отношений, в том числе государством, в процессе экономических преобразований [12].

В том же Отчете о мировом развитии 2016 года «Цифровые дивиденды», Всемирный банк отметил, что цифровая революция может генерировать новые, удобные для потребителей бизнес-модели, но не тогда, когда существующие компании контролируют процесс входа; и технологии могут повысить производительность труда работников, но не тогда, когда им не хватает навыков и знаний для их использования [12]. Все сказанное, конечно, относится и к развитию железных дорог мира.

Развивающиеся страны-члены Азиатского банка развития (ADB) в Азиатско-Тихоокеанском регионе имеют огромные и амбициозные инвестиционные планы по строительству, расширению и возрождению своих национальных железных дорог. Основное внимание уделяется соединению национальных железных дорог, а также строительству и расширению городских железнодорожных систем.

ADB признает значительные преимущества от внедрения решений управления информацией здания (BIM) в рамках этих проектов, от доставки до эксплуатации. В ADB технологии BIM были уже в работе с 2014 года, как минимум, и BIM был предложен банком как одна из важных технологий развития стран в работе [13].

Преимущества широкого применения BIM, с точки зрения Royal HaskoningDHV [14] для финансистов, включают в себя:

(i) сохранение крупных железнодорожных инвестиций в течение их предполагаемого жизненного цикла

(ii) снижение общей стоимости владения для национальных железных дорог и / или органов общественного транспорта, и

(iii) эффективное использование этих железнодорожных систем для максимизации доходов; и для того чтобы перевести движение с автомобильного на железнодорожное и сделать их транспортным средством выбора для пассажиров и промышленности.

Целью участия Royal HaskoningDHV является внедрение и продвижение эффективных решений BIM для железнодорожных проектов ADB. К ним относятся развитие инфраструктуры, внедрение железнодорожной системы, стратегии и устойчивые схемы эксплуатации и технического обслуживания железных дорог. BIM позволит странам-членам ADB устойчиво и с минимальными затратами достичь своих бизнес-целей от этапа поставки до текущей эксплуатации.

В рамках своей консультативной роли Royal HaskoningDHV [14] подготовил комплексное обследование текущего применения BIM на железных дорогах мира и представил результаты на Азиатско-Тихоокеанском инновационном форуме 21 мая 2019 года (Asia-Pacific Rail Innovation Forum [15]). На рисунке 1 мы приводим карту крупных BIM проектов на железных дорогах в Азиатско-Тихоокеанском регионе и Европе из выступления сотрудника Royal HaskoningDHV Jugal Makwana на этой конференции. Опыт некоторых из этих проектов будет изложен далее.

Рис. 1. Карта крупных BIM проектов на железных дорогах в Азиатско-Тихоокеанском регионе и Европе [15].

II. BIM НА CROSSRAIL (ЛИНИЯ ЭЛИЗАБЕТ) И ЕГО РОЛЬ

В Европе одним из предвестников цифровой экономики было решительное внедрение технологий информационного моделирования зданий (BIM, в России в Градостроительном кодексе названо информационное моделирование) правительством Великобритании [16,17,18]. После кризиса 2008 года и Правительство этой страны, и общество пребывали в тяжелых раздумьях на тему - не станет ли их страна второстепенным игроком на мировой арене.

Именно тогда решили поставить на таланты британских строителей, инженеров и математиков, после оценки той области где страна может получить наибольший эффект как внутри страны так и в росте экспортного потенциала. Было выбраны тогда еще не очень известные информационные технологии BIM, при этом основной упор был сделан на стандартизацию и организацию управления процессом, а в качестве основного рычага был выбран пул строительных заказов, как центрального правительства, так и Англии, Шотландии, Уэльса и Северной Ирландии, который составлял на ту пору порядка 30% рынка. Конечно, в этом случае именно закупки и стали основным рычагом постепенного внедрения обязательности применения BIM, начиная с самых больших по объему заказов. Политика мягких посадок (SoftLanding (GSL) смягчала естественное сопротивление весьма костной (как и везде) строительной среды, и это была политика кнута и пряника.

В этом нелёгком процессе внедрения инноваций BIM в практику очень заметную роль сыграл самый большой тогда строительный проект в Европе Crossrail или ныне маршрут в Лондоне, известный как линия Элизабет, который был запущен осенью 2019 года (рисунок 2). Это один из самых трудных и сложных инфраструктурных проектов, когда-либо предпринятых в Великобритании.

Рис. 2. Карта маршрута Crossrail (источник: Crossrail Ltd)

Сегодня можно найти довольно много публикаций как по роли BIM в этом проекте [19], так и солидные исследования всего строительства [20]. Это крупнейший в Европе инфраструктурный проект с железнодорожной линией длиной более 100 км, проходящей через 40 станций из Хитроу и Рединга на западе, в Эбби Вуд и Шенфилда на востоке через 42 км новых туннелей под центральным Лондоном. Линия Элизабет (Elizabeth)предназначена для увеличения пропускной способности лондонских железных дорог на 10%, что является крупнейшим увеличением после Второй мировой войны, и вдвое сократить время, необходимое для поездки из аэропорта Хитроу в деловой район Кэнэри-Уорф [19].

По оценкам, 200 млн. пассажиров будут ежегодно пользоваться новой линией метро, и это также добавит в экономику Великобритании около 42 млрд. фунтов стерлингов [19]. London Crossrail - это проект, который демонстрирует потенциал цифровой инженерии. Строительство началось в 2009 году, сразу после кризиса 2008 года, и на протяжении всего 10-летнего процесса его завершения оно всегда немного опережало свое время, когда Crossrail переходил на цифровые решения. Таким образом, в 2011 году, когда новая стратегия строительства правительства Великобритании, которая требовала, чтобы все проекты, реализованные после 2016 года, соответствовали уровню 2 BIM, вышла, эти решения уже внедрялись на Crossrail, и это не повлияло на его ход его реализацию даже когда он был на полпути к финалу проекта, а скорее помогло правительству, получившему крайне положительный пример одновременного создания физической и цифровой железной дороги, который служил отличной иллюстрацией правильности его решений.

Строить комплексный проект такого масштаба прямо в центре города, столь занятого, как Лондон, несет большой риск. Первоначально Crossrail рассматривал способ доставки проект как сборку, передавая риск подрядчикам. Однако такое предложение было отклонено, поскольку оно могло значительно увеличить расходы из-за неопределенности. Вместо этого Crossrail следовал за управлением строительством традиционным методом, который включал детальное проектирование для основных структур проекта и тендеры на строительство для определенных пакетов. Компания удерживала непредвиденные расходы для управления и снижения рисков и уделяла особое внимание процессу закупок [20]. Были утверждены обязательные для всех участников проекта решения, например, [21-23], и одним из них стало руководство BIM [21].

Для обеспечения беспрепятственного сотрудничества и успешной оцифровки новой железной дороги компания Crossrail установила строгие руководящие принципы и стандарты и потребовала от всех подрядчиков, работающих над проектом, использовать процессы и программные системы Crossrail. В начале проекта все вовлеченные компании часто хотят использовать свои собственные процессы и программное обеспечение. В таком случае, однако, информация должна быть совместимой, что является дорогостоящим и рискованным [20].

Реализация BIM в проекте Crossrail имела много значительных преимуществ для проекта [19], и оно состоит в том, что он:

Гарантирует создание виртуальных активов, что помогает одновременно построить физическую и цифровую железную дорогу.

Интегрирует данные для всех этапов жизненного цикла.

Предлагает совместное управление всеми типами данных.

Становится единственным источником правды, к которому легко обращаться.

Непосредственные преимущества, которые BIM помог предоставить, состояли в том, что обеспечивались:

Уменьшенные потери (минимизация столкновений)

Повышение эффективности (более быстрые согласования в сотрудничестве)

Снижение потери информации (при использовании только самых последних документов / чертежей)

Повышенная безопасность (визуализация модели ведет к повышению осведомленности)

Снижение программного риска (через 4D анализ)

Улучшенная производительность (связывание моделей с картографированием через ГИС)

Совместная передача модели от дизайнера к подрядчику

Инновационное управление активами (связывание моделей непосредственно с нашей базой данных активов).

Для достижения наилучшего возможного синергизма между цифровой и физической моделями и для стимулирования инноваций Crossrail создал «Информационную академию Crossrail-Bentley» в рамках технологического партнерства с Bentley Systems. Академия была первой такого рода организацией в Великобритании.

Масштаб информационной активности проекта для Crossrail может быть проиллюстрирован следующим: в отличие от других подобных инициатив, Академия была не местом обучения продуктам, а пространством для продвижения процессов, стандартов и отраслевых примеров. Цифровизация, как в производстве, так и в обработке и согласовании процессов, открывает новые возможности, и она в состоянии изменить способ работы отрасли. Проблема принятия BIM не в технологии, а всегда в людях. Академия является нейтральным пространством, которое дает всем заинтересованным сторонам возможность подумать, что они хотят сделать, как они собираются это сделать, и привлекает всех на борт [20]. В проекте Crossrail было использовано:

- более 5 миллионов документов,
- более 450 000 чертежей,
- сформировано около 660 000 активов,
- было 8 250 пользователей информационной базы данных,
- в коллективной работе участвовало 450 пользователей САПР.

На базе этого опыта Crossrail было сформулирован подход, сегодня известный как цифровой близнец [29], который состоит из различной информации, которая нужна заинтересованным сторонам для принятия решений в нужное время и нужном месте. Когда модель Crossrail создана, ее можно было использовать для поддержки принятия решений и ответов на вопросы. Например, при техническом обслуживании модели данных, прогнозирующие возможный сбой активов, имеют решающее значение. Трехмерные визуализации эффективны для обслуживания, поскольку они обеспечивают непосредственное пространственное понимание местоположения объекта [20] . В Crossrail определи и использовали идеи технологий BIM как тотального применения информации в жизненном цикле проекта (рисунок 3) в нужное время и нужном месте.

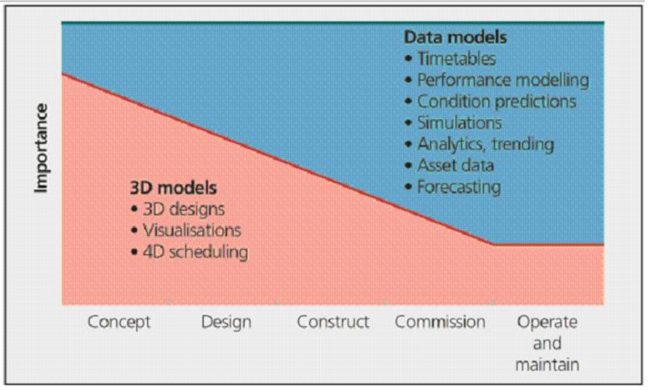

Рис. 3. Моделирование информации на протяжении жизненного цикла проекта (источник: Crossrail Ltd)

Имея такой выдающийся флагман как Crossrail, запланированные показатели снижения стоимости строительства, уменьшения времени создания домов и сооружений, снижения экологических выбросов и увеличения экспортного потенциала страны были достаточно быстро достигнуты Правительством Великобритании [16,17,18]. Когда стало понятны выдающиеся экономические результаты оцифровки домов (BIM), в правительстве решили что теперь это может стать основой для решений в жизненном цикле зданий и сооружений с еще более интересной экономикой, а также дальнейшего развития экономических показателей за счет применения промышленных принципов (рисунок 4) и связи с производством (Индустрия 4.0).

Чрезвычайно простое соображение, что города состоят из домов, привело к направлению умного города (рисунок 5). В результате чего на определенном этапе правительство Великобритании объявило о переходе к цифровой экономике [16,17], и все три названия: информационное моделирование (BIM), умный город и цифровая экономика стали употребляться в практической деятельности, как в России, так и во всем мире.

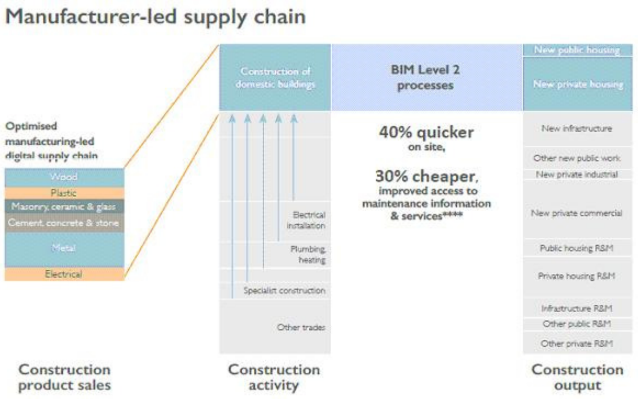

Рис. 4. Потенциал для оптимизированной производственной цепочки поставок и реализации процессов BIM для обеспечения значительных затрат, времени и эффективности использования ресурсов [24].

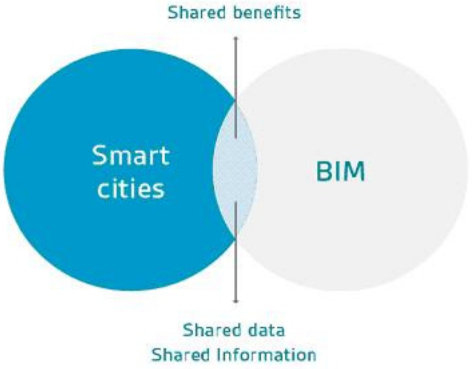

Рис. 5. Умный город и информационное моделирование (BIM) общая информация и данные - общие выгоды (источник – Bsi)

Заметим, что в базе успехов, конечно, лежал правильно использованный бизнес-интерес работать с государственными структурами, выполняя их требования, выраженные в процедурах и правилах закупки. Для того чтобы показать читателю некоторые детали того, как это организованно и продолжает, кстати, работать мы взяли документы Северной Ирландии. Они интересны тем, что строительные услуги закупает Министерство финансов (как и многие другие). Третья версия руководства по закупкам BIM было опубликовано в пролом году Министерством финансов Северной Ирландии [25]. Как и в политике мягких посадок (SoftLanding (GSL) [26], основным новшеством стало включение требований стандарта ISO 19650, обеспечивающих обмен информации между стадиями жизненного цикла зданий и сооружений. Принципы этого стандарта фактически уже также были отработаны на Crossrail.

Процедуры закупок, например, в Северной Ирландии также определены по стадиям их жизненного цикла как в Crossrail (рисунок 6). Раздел политики сайта CPD (www.dfpni.gov.uk/cpd) предоставляет подробное объяснение государственной политики закупок для Северной Ирландии (NI), по согласованию с исполнительной NI. На этом сайте также указано, в каких случаях закупки проходят по правилам ЕС. И хотя сегодня Великобритания находится на пути выхода из ЕС, эти правила остаются верными для оставшихся в ЕС государств. Как и в случае с BIM действуют правила денежного объема закупок.

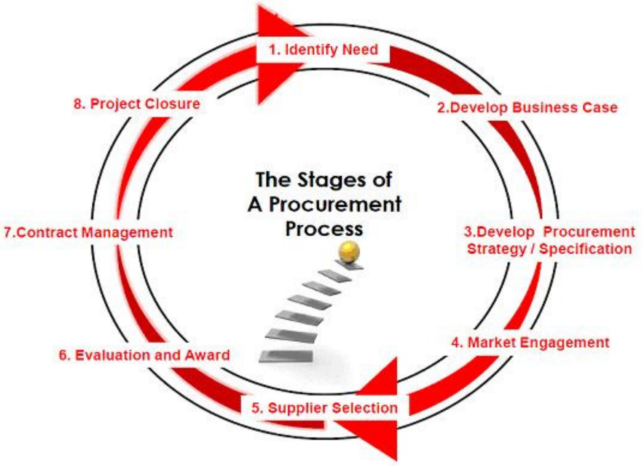

Рис. 6. Жизненный цикл закупок (источник – Central procurement directorate (cpd) department of finance UK)

Технологии BIM после оглушительного успеха в Великобритании начали развиваться как в сторону расширения применения разных инноваций, из которых мы выделим увеличение применение формализованных онтологий [27,28], так и стали широко применяться в создании и реконструкции всех объектов инфраструктуры в разных странах. Так BIM стал стержнем выдающихся строительных инфраструктурных проектов в мире и не только на железных дорогах.

III. ДОРОЖНЫЕ КАРТЫ И ПОДХОДЫ РАЗВИТИЯ BIM ТЕХНОЛОГИЙ В СТРАНАХ – КИТАЙ, ЮЖНАЯ КОРЕЯ И ГЕРМАНИЯ

Нам представлялось крайне важным показать читателю. как страны переходят от применения BIM отдельных железнодорожных проектов к развертыванию информационного моделирования для своих национальных железнодорожных сетей.

На момент написания этой статьи авторам было известно три таких ярких документа – в Германии о внедрении BIM в инфраструктурном дивизионе немецких железных дорог (DB) [30], действующий на базе IFC BIM стандарт на инфраструктуру железных дорог Китая [34] (о его развитии далее) и железнодорожная дорожная карта BIM 2030 из Южной Кореи [31], что дает возможность показать нашему читателю, как выглядят развитие использования BIM на железных дорогах на уровне страны.

Германия

Направление немецких железных дорог (DB) по применению BIM, состоящая в управлении качеством, стоимостью и сроками с самого начала проекта очень четкая [32]. Процитируем [32], в части позиции DB по внедрению BIM:

«Информационное моделирование зданий (BIM) предполагает планирование проекта, проектирование и строительство железнодорожных линий - со всеми мостами, туннелями, станциями и техническим оборудованием - от первоначальной идеи до эксплуатации и технического обслуживания. На этапе проектирования и строительства BIM сочетает 3D-дизайн с информацией о стоимости и сроках. Строительство происходит сначала в цифровом виде, затем в реальной жизни. Этот метод выявляет конфликты в строительном процессе задолго до начала работ на строительной площадке. Будучи крупнейшим европейским оператором инфраструктуры, Deutsche Bahn (DB) продвигает цифровое строительство, потому что оно улучшает качество, помогает лучше управлять затратами и сроками, и в конечном итоге снижает нагрузку на проектирование, строительство, эксплуатацию и обслуживание».

Подход DB, во многом следующий опыту Crossrail, мы проиллюстрируем на представлении о фазе 3 BIM - цифровое преобразование [30]. На этапе 3 внедрения методология BIM должна быть полностью использована для проектирования, строительства и эксплуатации – совместно и в цифровом виде. Дальнейшее развитие цифровых средств иметь центральное значение. Фаза 3 была поэтому обозначен термином «цифровое преобразование» (рисунок 6). Заметим, что в центре решения этапа цифровое преобразования находится подход цифровых близнецов [29]. Заметим, что цифровой близнец находится в центре рисунка 6а.

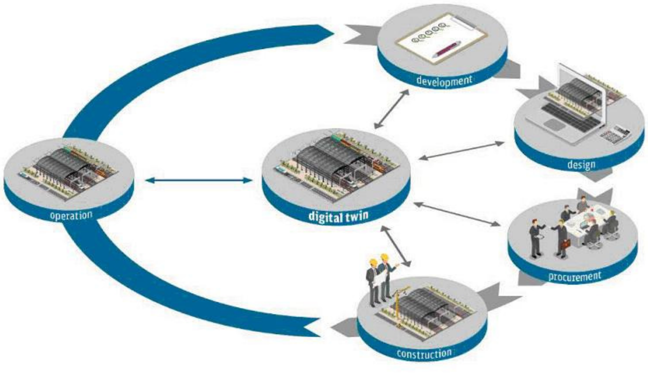

Рис. 6а. BIM - это основанный на модели метод совместной работы для цифрового дизайна, реализации и управления активами в течение всего их жизненного цикла [30].

Скорость, масштаб и сложность внесенных изменений от BIM и цифровизации требуют постоянного стратегического руководство и поддержки, подходящей для реализации организации, полагают в DB[30]. Это обеспечит стратегические решения и координация отдельных стратегий на уровне группы внедрения на практике. BIM может быть успешно реализован, если эффективные формы сотрудничество также принимаются в процессе его внедрения. Совместное выполнение проекта является центральным фактором успеха. Открытость, прозрачность и цель и подход, ориентированный на решение должны стать основные ценности всей деятельности в инфраструктуре площадь - как внутри DB, так и во всей цепочке поставок.

BIM предполагает также готовность железнодорожных компаний осуществлять культурные изменения. Основное внимание уделяется внедрению совершенно новых концепции и переходу от статус-кво к цифровым технологиям. Это также вызывает для изменения в том, как мы имеем дело друг с другом, как инициативы, поддерживаются и практикуются членами команды и руководством правлений и менеджерами компаний. BIM может получить полный эффект, только если атмосфера открытости и прозрачность преобладает между всеми участниками проекта, полагают в DB.

Цифровое проектирование и строительство будут стандартными в части использования BIM во всех крупномасштабных проектах правительства Германии, начиная с 2020 года. Для подготовки к этому ранее Федеральное министерство транспорта и цифровой инфраструктуры предоставило финансирование для 13 пилотных проектов в DB с 2016 года, которые использовались для разработки BIM как стандарта для сложных инфраструктурных проектов на железной дороге Германии [32].

Сегодня (на 05.04.2020) в DB Engineering & Consulting (https://referenzen.db-engineering-consulting.de/en) в работе еще 14 сложных BIM проектов, представляющие самые разные части железнодорожных инфраструктур в Германии, что свидетельствует о готовности DB выполнить решение правительства о внедрении BIM с 2020 года.

Южная Корея

Дорожная карта Rail BIM 2030 [31] Южной Кореи была разработана совместно Корейским научно-исследовательским институтом железных дорог, Университетом Йонсей и Управлением железнодорожной сети Кореи под руководством известного ученого профессора Ганг Ли (Ghang Lee), директора Группы строительной информатики (BIG) на кафедре архитектуры и архитектурного проектирования в университете Йонсей в Сеуле, Южная Корея В этой дорожной карте объясняются пять этапов внедрения и распространения стратегий информационного моделирования (BIM) в период с 2018 по 2030 год для развития железнодорожной отрасли Южной Кореи в 4-м индустриальном веке («Индустрия 4.0»).

В написании дорожной карты также участвовало корейское железнодорожное сетевое управление (KR) , оно является правительственным агентством, которое контролирует и управляет всем жизненным циклом железной дороги, включая высокоскоростную, обычную и городскую железнодорожную инфраструктуру. Учитывая, что первый крупный публичный проект BIM в Южной Корее был организован в 2008 году, KR приняла BIM относительно рано; KR осуществил свой первый проект BIM в 2009 году и еще восемь до 2018 года. Тем не менее, не так много людей в KR знали об этих проектах BIM, потому что они проводились на уровне проекта, а не на уровне компании. Знания и опыт, полученные в результате реализации проектов, испарились, потому что они выполнялись не согласованно, без хорошей дорожной карты и стратегий.

Чтобы преодолеть эту проблему, университету Йонсей было предложено разработать Дорожную карту Rail BIM 2030 для KR совместно с Корейским институтом железнодорожных исследований (KRRI) в рамках проекта Rail BIM, финансируемого Министерством наземной инфраструктуры и транспорта Кореи (MoLIT). Основное различие между предыдущими дорожными картами и дорожной картой Rail BIM 2030 состоит в том, что дорожная карта Rail BIM 2030 классифицирует фазы BIM по способу использования BIM, тогда как другие дорожные карты BIM классифицируют каждую фазу по размеру проекта (например, площадь пола или проект или стоимость), представлению (чертежи САПР в сравнении с моделями IFC, файлами COBie) и так далее. Заметим, что служба закупок Южной Кореи сделала обязательным использование BIM для всех проектов стоимостью более 50 миллионов долларов США и для всех проектов государственного сектора с начала 2016 года, так что вопрос для железных дорог стал уже таким, как сделать этот процесс оптимальным.

Дорожная карта Rail BIM 2030 основана на модели уровня использования BIM (BUL), которая была разработана после исследований BIM, продолжавшихся более десяти лет. Когда [33] разрабатывали план действий, два из важнейших вопросов заключались в том, как определить, достиг ли KR следующего уровня, и как осуществить проект, который позволит накапливать все больше знаний о BIM и впоследствии делиться ими. Последние два раздела дорожной карты Rail BIM 2030 посвящены этим вопросам. Окончательная версия дорожной карты была выпущена в августе 2018 года на английском и корейском языках и доступна для бесплатной загрузки [31]. Основные принципы дорожной карты железнодорожного BIM Южной Кореи мы приводим на рисунке 7, и так как она основана, как и в DB, на разнообразном использовании данных и технологий мы приводим ниже то, как эти данные и технологии участвуют в железнодорожных проектах. Три главные основы: люди процессы и технологии являются базой железнодорожного BIM Южной Кореи (рисунок 7), но не только они. В этой дорожной карте также рассматриваются и информационные взаимодействия с внешними системами.

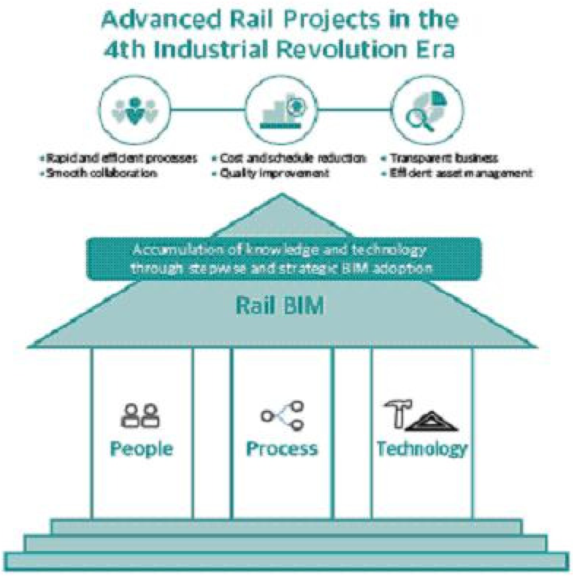

Рис. 7. Основные принципы дорожной карты железнодорожного BIM Южной Кореи [31].

Кадастровые данные являются неотъемлемой частью любого железнодорожного проекта. Если планировщик, проектировщик или подрядчик не сможет согласовать проект железной дороги с существующими кадастровыми картами, проект не только будет отложен, но и столкнется с серьезными проблемами, связанными с бюджетом. Благодаря технологиям «BIM на ГИС» [31,33] модель железнодорожной инфраструктуры BIM может быть наложена на модель ГИС для проверки потенциальных пространственных столкновений и проблем конструктивности, а также жалоб гражданских лиц на ранней стадии проекта. Неудивительно, что интеграция BIM-GIS является одной из целей этапа 1.0 Дорожной карты Rail BIM 2030 [33]. Как предусмотрено в [31] модели BIM могут быть наложены на ГИС и кадастровые данные, чтобы на ранних стадиях этапа проектирования можно было рассмотреть проектирование, чтобы рассмотреть визуализацию, окружение и кадастровые ситуации.

3D визуализация играет главную роль в проекте, так как основной способ использования BIM - общественные слушания и координация проекта. Становится нормой использование 3D-визуализаций проектов на встречах и публичных слушаниях путем показа модели BIM на большом экране или использования технологии виртуальной реальности или дополненной реальности. Эти технологии 3D визуализации также часто используются в выставочном зале проекта, чтобы помочь людям лучше понять проект и в конечном итоге снизить социальные издержки и огромные финансовые затраты, которые могут возникнуть в дальнейшем в проекте [31,33].

В проекте BIM крайне важно обновлять информацию модели BIM путем отражения любых изменений, сделанные на месте строительства (сайте). Это часто называют «синхронизацией модели и сайта». Если модель BIM не отражает фактические условия на месте, все координационные встречи становятся бессмысленными. Трехмерное сканирование, такое как лазерное сканирование или фотограмметрия, часто используется для сбора данных на площадке строительства, а беспилотники часто используются для покрытия больших или очень больших площадей. Кроме того, все шире используются облачные инструменты BIM и репозиторий для синхронизации моделей BIM, созданных и управляемых несколькими участниками проекта. В настоящее время, как сказано в [31], строительная отрасль внедряет все больше производственных технологий и методов управления, таких как создание конструкций вне строительной площадки и бережливое строительство. Растут усилия [31,33] по использованию робототехники, больших данных и искусственного интеллекта в строительстве, но они еще не стали обычным явлением. Дорожная карта Rail BIM 2030 направлена на достижение этой стадии к 2030-м годам.

Дорожная карта железнодорожного BIM 2030 [31] состоит из пяти уровней.

Уровень 1: Цель 2018 (BIM 1.0) Преобразование 2D в 3D BIM

Очень немногие участники проекта будут выполнять BIM во время фазы преобразования BIM (уровень 1) 2D в 3D в 2018 году. 2D чертежи останутся основными средствами коммуникации. Участники могут извлечь выгоду из развертывания BIM в своих проектах, так как это позволит им рассмотреть разрабатываемое с многих позиций и выявлять ошибки проектирования при преобразовании 2D-чертежей в модели BIM. Как только BIM-модели проекта станут доступны, модели также могут быть использованы для общественных слушаний, для общения с клиентами, проверки конструктивности и так далее. Фаза 1 графически показана на рисунке 8.

Рис. 8. Фаза 1 дорожной карты железнодорожного BIM Южной Кореи [31].

Уровень 2: Цель 2020 (BIM 2.0) BIM с двумя путями (параллельный BIM)

На этапе BIM с двумя путями (уровень 2), намеченном на 2020 год, BIM будет использоваться для тех частей проекта, которые могут принести существенную пользу от развертывания BIM, например, в областях, где несколько сделок взаимодействуют друг с другом, областей со сложной геометрией и областей, которые требует тяжелой техники. Другие части проектов будут выполняться с использованием традиционного метода на основе 2D. Фаза 2 графически показана на рисунке 9.

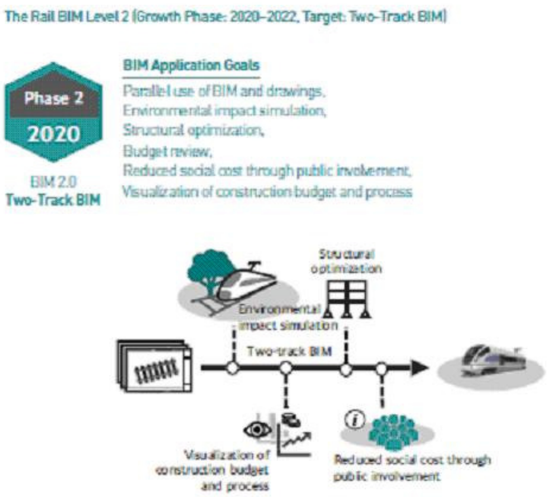

Рис. 9. Фаза 2 дорожной карты железнодорожного BIM Южной Кореи [31].

Уровень 3: Цель 2022 (BIM 3.0) Интегрированная BIM или Полная BIM

Во время (полностью) интегрированной фазы BIM (уровень 3), намеченной на 2022 год, все основные участники проекта будут создавать ВИМ модели и работать с BIM моделями. Это позволит на основе BIM интегрировать управление проектами затрат на строительство, планирования процессов, а также проблемами относительно дизайна и качества строительства. Фаза 3 графически показана на рисунке 10.

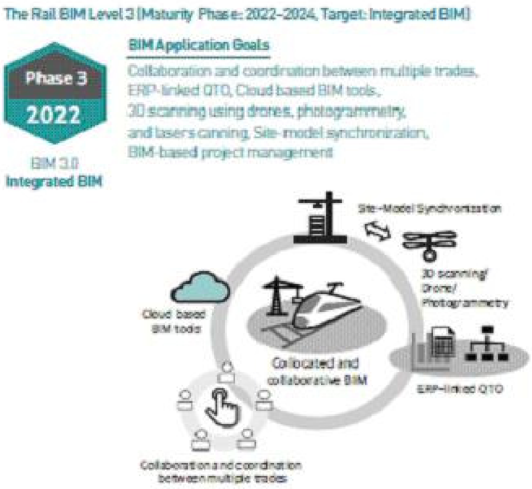

Рис. 10. Фаза 3 дорожной карты железнодорожного BIM Южной Кореи [31].

Уровень 4: Цель 2024 (BIM 4.0) Lean BIM

(бережливый BIM)

На этапе бережливого BIM (уровень 4), намеченного на 2024 год, концепции управления проектами будет находиться под влиянием обрабатывающей промышленности (бережливого производства, которое там в промышленности внедрено), так как BIM будет поддерживать бережливое строительство, модульное строительство вне зданий, автоматизацию строительства и интегрированное управление объектами, чтобы обеспечить создание синергии для повышения производительности и качества проектов. Фаза 4 графически показана на рисунке 11.

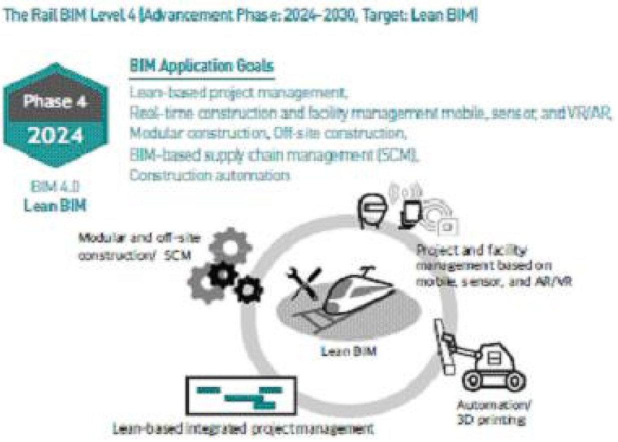

Рис. 11. Фаза 4 дорожной карты железнодорожного BIM Южной Кореи [31].

Уровень 5: Цель 2030 (BIM 5.0) Интеллектуальный BIM (AI BIM)

На этапе интеллектуальной BIM (уровень 5), намеченном на 2030 год, будут созданы большие данные путем интеграции BIM с датчиками и несколькими базами данных.

Эти данные будут использоваться в качестве источника для принятия обоснованных решений. Наиболее оптимальные и эффективные решения многих городских проблем, как например отдельные проблемы на уровне объекта, будут рассматриваться в процессе принятия обоснованных решений. Фаза 5 графически показана на рисунке 12.

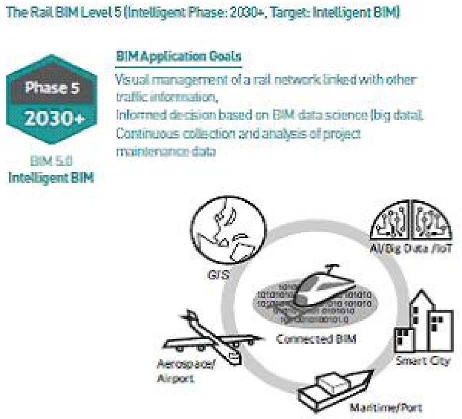

Рис. 12. Фаза 5 дорожной карты железнодорожного BIM Южной Кореи [31]

В завершении представления дорожной карты железнодорожного BIM Южной Кореи на рисунке 13 мы приводим то, как отличаются фазы дорожной карты железнодорожного BIM Южной Кореи по уровню использования информации.

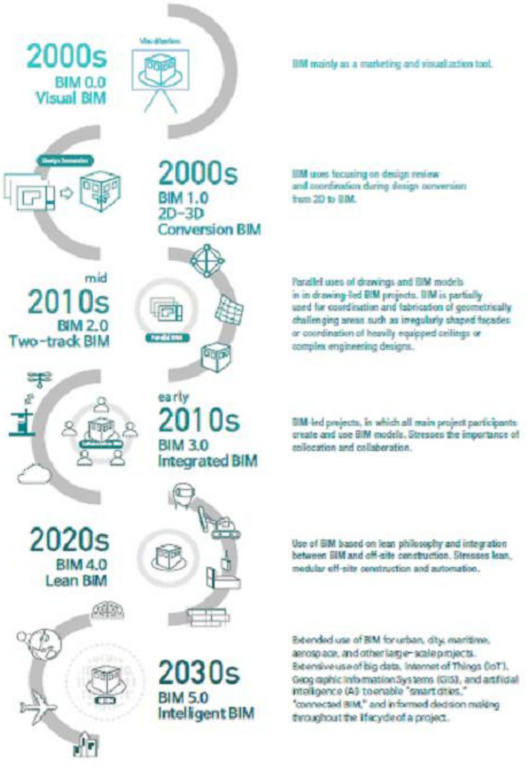

Рис. 13. Как отличаются фазы дорожной карты железнодорожного BIM Южной Кореи по уровню использования информации [31].

Китай

Китай, крупнейшая сегодня железнодорожная держава мира наравне с Германией и Южной Кореей находится в ряду стран, в которых проходит успешное применение BIM на железных дорогах. Там его использование тотально, так как в Китае действует базирующийся на IFC BIM стандарт на инфраструктуру железных дорог [34] (о его развитии далее). Особое внимание в Китае уделяется скоростным дорогам (HSR), о которых мы и будем в основном говорить, как о наиболее сложной части железных дорог, в том числе, и с точки зрения очень важного их показателя – стоимости строительства и где роль BIM была показана выше. Карта планируемых скоростных железнодорожных коридоров Китая приведена на рисунке 14.

Рис. 14. Планируемые скоростные железнодорожные коридоры Китая [36]

Технические характеристики линий HSR стандартизированы (таблица стандартов приведена в [36). Так же в [36] есть таблица стоимости строительства 60 проектов. Исходя из этих данных, средняя стоимость двухпутной линия HSR (включая сигнализацию, электрификацию и оборудование) составляет около 139 млн. иен / км (20,6 млн. долл. США / км) 1 для линии HSR со скоростью 350 км / ч, около 114 миллионов иен (16,9 миллионов долларов США) для линии HSR на 250 км / ч и около 104 миллионов иен (15,4 млн. Долл. США) для линии HSR 200 км / ч. Эти затраты дешевле не менее чем на 40 процентов, чем затраты на строительство в Европе (Европейский аудиторский суд 2018, [37] и об этом документе чуть позже) [36]. Большая строительная программа за последнее десятилетие обеспечивает эти низкие затраты, со специалистами и мобильными производственными мощностями (например, для мостовых балок) позволяя перемещение непосредственно от проекта к проекту и стыкуя их с BIM решениями. Подрядчики имеют возможность амортизации инвестиций в специализированное оборудование (см. фото на рисунках 15 и 16) и производственные мощности по нескольким проектам. На наш взгляд именно в Китае сегодня добились наилучшей слаженности действий в цифровом мире (BIM) и физическом.

Хотя стоимость рабочей силы в Китае ниже, ключевым фактором низкой стоимости и быстрого и эффективного строительства HSR стали стандарты конструкций и процедур. Постоянный поток проектов также способствует созданию мощной, конкурентоспособной отрасли поставок [36].

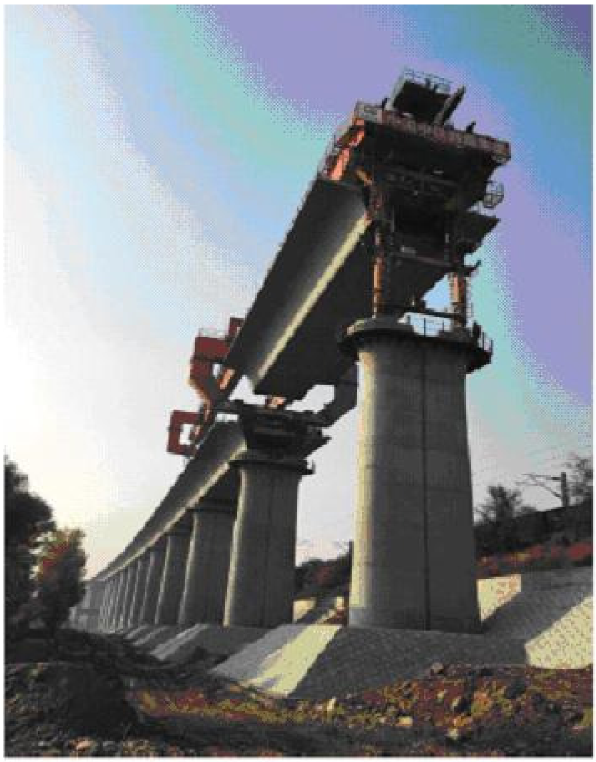

Рис. 15. Установка сборных мостовых балок на железной дороге Чжанху [36]

Рис. 16. Специализированное оборудование для транспортировки мостовых балок [36].

Использование Китаем BIM на скоростных железных дорогах, как нам кажется, хорошо иллюстрирует работа [11] о BCM, которая уже действует:

«Новая 71-я скоростная линия, первая в железнодорожной отрасли Китая, внедрившая стратегию BIM с полным жизненным циклом, с 71 наземными участками, 64 мостами, 10 тоннелями и 10 станциями, включая самую глубокую и самую большую в мире станцию метро в Бадалине, и все дисциплины, участвующие в проекте.

China Railway Engineering Consulting Group (CEC) отвечала за предварительный и детальный проектный и строительный консалтинг. Ставя цель установить эталон в железнодорожной отрасли, компания взяла на себя обязательство использовать инновационные технологические методы для оптимизации проектирования и строительства и достижения BIM с полным жизненным циклом в высокоскоростном железнодорожном проекте мирового класса. С 23 основными инженерными дисциплинами и 56 разделами дизайна, команда столкнулась со многими проблемами в этом сложном проекте. В проекте были представлены значительные и изменяющиеся условия окружающей среды в высокогорной зоне среди окружающей культурной инфраструктуры, что требовало сложных структурных решений. Чтобы оптимизировать дизайн, эффективно координировать проект и внедрять эффективные процессы совместного 3D проектирования и строительства, CEC требовались интегрированные приложения для цифрового дизайна».

Создание среды связанных данных также рассматривается в [11]. Для того чтобы облегчить скоординированные процессы проектирования и разработки, CEC выбрала технологию Bentley для создания открытой, связанной с данными среды (CDE). «Мы сталкиваемся с большими проблемами в совместной работе, поэтому мы хотим найти удивительную платформу, которая проста в использовании, обеспечивает унифицированный формат хранения данных и поддерживает совместную работу», - сказал Чжунлян Чжан, директор BIM в CEC [11]. На основе интегрированных приложений ProjectWise команда Bentley создала логические связи между различными дисциплинами и внутри них, обеспечивающие доступ к доверенной информации в режиме реального времени в любом месте и в любое время. CEC использовала ProjectWise как общую платформу и внедрила инновационные методологии BIM, используя MicroStation, OpenBuildings Designer и OpenRoads Designer для оптимизации обмена информацией. Интегрированное программное решение позволило команде создать библиотеку компонентов для стандартизации проектирования и динамического моделирования, с помощью которой можно было бы централизованно управлять на всех этапах, в одной среде цифровой совместной работы и в соответствии с теми же стандартами [11].

Китайская высокоскоростная железнодорожная сеть является крупнейшей в мире, ее протяженность составляет 12 500 км, и к 2025 году правительство планирует построить 38 000 км железнодорожных путей. Речь идет не только о количественном их увеличении, но и преодолении, в том числе, за счет BIM технологий все еще существующих качественных показателей на строящихся железных дорогах. Так официальные лица в Пекине одобрили строительство скоростной железнодорожной линии протяженностью 77 км между Нинбо, портовым городом к югу от Шанхая, и Чжоушань, архипелагом у восточного побережья [35]. Она будет включать подводный туннель протяженностью 16,2 км, и первый в стране скоростной поезд для использования в таких длинных туннелях. Новый маршрут соединит с существующей высокоскоростной сетью Китая и доставит пассажиров из Ханчжоу - столицы провинции Чжэцзян - в Чжоушань за 80 минут. Текущее путешествие занимает около 4,5 часов на автобусе или 2,5 часа на машине.

Как и большинство высокоскоростных поездов в Китае, те, которые использует железнодорожное сообщение Нинбо-Чжоушань, будут двигаться со скоростью 250 км в час, что несколько медленнее, чем поезда TGV, проходящие через Францию, и японские сверхскоростные поезда Синкансэн, которые движутся со скоростью 320 км / ч, но этот разрыв уже преодолен на 71 ВСМ Китая [11].

Японские и французские поезда курсируют через два самых длинных подводных туннеля в мире: 54-километровый Сейканский туннель в северной Японии, из которых 23 километра находятся ниже уровня моря; и 50-километровый туннель между Великобританией и Францией, 38 км из которого находится под морем. Китай преодолевает и этот разрыв в технологиях.

Такие проекты, как железнодорожное сообщение Нинбо-Чжоушань, станут частью крупной железнодорожной программы, в которой в 2018 году было построено по BIM стандарту 4000 км новых железнодорожных линий, из которых 3500 км скоростные.

Инвестиции Китая в высокоскоростные железные дороги, которые также включают в себя разработку самых быстрых поездов в мире, являются частью его масштабной программы расходов на инфраструктуру. Программа включает в себя знаковые инвестиции, такие как инициатива «Пояса и дороги» стоимостью 900 млрд. Долл. США, развитие наземных и морских торговых путей с востока на запад с инвестициями в инфраструктуру в 68 странах.

BIM создает очень веские конкурентные преимущества, как строительным комплексам отдельных стран, так и компаниям. Выше мы уже приводили данные Европейского суда аудиторов [37] о том, что китайские компании стоят железные дороги как минимум на 40% дешевле европейских. Приводим перевод названия этого отчета [37] - Европейская скоростная железнодорожная сеть: не реальность, а неэффективная мешанина.

Согласно [37], с 2000 года ЕС инвестировал 23,7 млрд. евро в высокоскоростную железнодорожную инфраструктуру. Не существует реалистичного долгосрочного плана ЕС для высокоскоростных железных дорог, но неэффективная путаница национальных линий не очень хорошо связана, поскольку у Европейской комиссии нет юридических инструментов и полномочий, чтобы заставить государства-члены строить линии в соответствии с договоренностью.

На карту поставлена экономическая эффективность, потому что не везде нужны очень высокоскоростные линии, поскольку стоимость минуты сэкономленного времени в пути очень высока, до 369 миллионов евро, а средние скорости составляют только 45% от максимальной мощности, в то время как перерасход средств и задержки в строительстве являются скорее нормой, чем исключением.

Устойчивость низкая, эффективность инвестиций недостаточна, а добавленная стоимость ЕС находится под угрозой: три из семи завершенных линий имеют низкое количество пассажиров, что приводит к высокому риску неэффективных расходов в размере 2,7 миллиардов евро софинансирования ЕС. Кроме того, девять из 14 линий и участков имеют недостаточно большое количество пассажиров, и до сих пор существует 11 000 национальных правил, хотя в 2010 году Суд уже просил снять эти технические и административные барьеры [37].

Однако, пока конкурентное преимущество в строительстве ВСМ по многим показателям находится у Китая и он ими пользуется. На родине успешного BIM (смотри выше) китайская фирма входящая в CRCC предлагает построить HS2 (новая ВСМ Великобритании) и сэкономить «десятки миллиардов фунтов», взяв на себя проект HS2 и построив его в течение пяти лет [38].

Фирма, входящая в Китайскую железнодорожную строительную корпорацию CRCC, повысила перспективу линии, достигающей скорости до 420 км / ч, по сравнению с максимальными 340 км / ч, которые в настоящее время предусмотрены для HS2, увеличенной пропускной способности пассажиров и предоставлением схемы, приближающейся к ее нынешним 56 млрд. Фунтов стерлингов. бюджета.

Предложение поступило в феврале 2020 года, когда HS2, наконец-то, получил официальное одобрение правительства, несмотря на то, что Oakervee рассмотрел проект, в котором говорится, что бюджет увеличился с 56 до 106 млрд. фунтов, а строительство должно занять не менее 15 лет [38].

Китайская железнодорожная строительная корпорация, известная как CRCC, является частью государственного и публично котирующегося китайского подрядчика с оборотом в 2018 году более 80 млрд. фунтов стерлингов, работающим в 121 стране. CRCC был одним из основных участников строительства 25 000-километровой сети высокоскоростных железнодорожных линий Китая, на которые приходится около двух третей общей протяженности в мире. В письме, подписанном представителем CRCC, говорится, что он также предлагает увеличить скорость линии до 420 км / ч с «сокращенным временем в пути и увеличенной пропускной способностью», добавив, что он будет финансировать “до 80% стоимости проекта [38]”.

IV. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ BIM В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПРОЕКТАХ ЗАТРАГИВАЮЩИХ ИНТЕРЕСЫ НЕСКОЛЬКИХ СТРАН - RAIL BALTICA

Применение BIM на железных дорогах уже распространяется не только на отдельные проекты в странах (такие как Crossrail, о чем мы говорили выше) или целиком страны (такие как Германия, Китай и Южная Корея) но и на проекты, в которых железная дорога проходит через несколько стран. Далее мы сосредоточимся на проекте Rail Baltica, о котором даже в шутку говорили, что интересно узнать, есть ли в этом проекте что-то кроме BIM? Есть некоторые публикации, упоминавшие Rail Baltica [29,39], но мы постараемся представить более развернутую информацию о проекте и применении в нем BIM.

Rail Baltica является наиболее значимым из проектов коридора сети Северного моря - Балтийского ядра, направленного на создание железной дороги европейского стандарта, соединяющей Эстонию, Латвию и Литву с Польшей и остальной частью европейской железнодорожной системы 1435 мм [40]. Цель Rail Baltica - установить недостающее звено колеи 1435 мм в странах Балтии, модернизировать существующую инфраструктуру в Польше, создать дополнительные варианты интермодальности и устранить барьеры интероперабельности для эффективного трансграничного перемещения пассажиров и грузов. Rail Baltica предусматривает непрерывную двухпутную электрифицированную обычную высокоскоростную железнодорожную линию из Таллина в Варшаву, проходящую через крупные экономические центры в странах Балтии и способствующую экономическому развитию в Северо-Восточной Европе.

Несмотря на публичный характер (социально-экономическую ценность) проекта, опыт крупнейших европейских железнодорожных инфраструктурных проектов показывает, что успех железнодорожной отрасли все в большей степени зависит от коммерческого дохода. Ожидается, что стремление установить ведущую роль железных дорог в будущей транспортной отрасли, железнодорожных перевозок в целом и Rail Baltica, в частности, будет эффективно конкурировать с уже проверенными логистическими решениями.

В [40] прогнозируется, что объемы грузоперевозок вырастут более чем на 50% в течение следующих 30 лет, в основном благодаря дальнейшей конвергенции региона и его интеграции в экономику ЕС, развитию производственного сектора и росту внутреннего потребления. Ожидается, что основной сдвиг в грузоперевозках с обычного на добавленную стоимость будет выгоден в основном автомобильному транспорту [40] . Тем не менее, абсолютные объемы грузоперевозок по железной дороге останутся довольно стабильными и, как ожидается, будут расти после ввода в эксплуатацию Rail Baltica.

Северно-Балтийский коридор TEN-T состоит из 5,947 км железных дорог, 4,029 км автомобильных дорог и 2,186 км внутренних водных путей [40,41]. Коридор соединяет Финляндию и порты восточного побережья Балтийского моря с портами Северного моря и охватывает 6 стран-членов ЕС, связывающих Бельгию, Нидерланды, Германию, Польшу, Литву, Латвию, Эстонию и Финляндию. Интеграция северо-восточных государств-членов в европейскую транспортную сеть соответствует целям TEN-T и является приоритетом для укрепления экономических связей в регионе. Коридор также соответствует требованиям современной транспортной политики, в частности «перехода на железнодорожный транспорт» для перевозимых грузов.

Железнодорожный грузовой коридор № 8 - Северное море-Балтика, относится к коридорам с наибольшим потенциалом роста тоннажа грузов для международных перевозок [40] (рисунок 17).

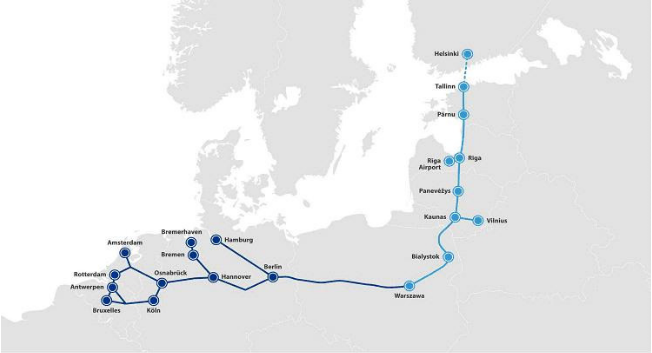

Рис. 17. Rail Baltica – часть железнодорожного грузового коридора № 8 - Северное море-Балтика TEN-T помечена голубым цветом (источник - Rail Baltica)

Географическое расположение этого коридора обеспечивает стратегическую связь с Восточной Европой, Центральной Азией и дает ему ключевую роль за ее пределами. Наиболее значимым проектом Коридора является Rail Baltica - железная дорога европейского стандарта, соединяющая Эстонию, Латвию и Литву с Польшей. Rail Baltica предусматривает непрерывное железнодорожное сообщение из Таллинна в Варшаву, проходящее через крупные экономические центры в странах Балтии, а также в северо-восточной Польше. Rail Baltica стремится установить недостающее звено колеи 1435 мм в странах Балтии, модернизировать существующую инфраструктуру и устранить барьеры взаимодействия для эффективного трансграничного перемещения пассажиров и грузов [40].

Отражая стратегические цели ЕС в области транспорта, а именно повышение эффективности системы грузовых перевозок и сокращение выбросов углерода на транспорте, Rail Baltica играет важную роль для Балтийского региона, продвигая устойчивые, экологически ответственные и безопасные транспортные услуги. В 2015 году было подсчитано, что ежедневно литовско-польскую границу пересекают около 5000 грузовиков в день [40], а число погибших в дорожно-транспортных происшествиях было одним из самых высоких в ЕС [40]. Ожидается, что перенос значительного объема грузов с автомобильного на железнодорожный транспорт поддержит экономический рост Региона, сократит автомобильные заторы и будет способствовать большей мобильности людей при одновременном сокращении углеродного следа в регионе и Европе до 60% от настоящего уровня [40].

В целях повышения потенциала пассажирских и грузовых перевозок Rail Baltica исследование направлено на оценку опыта Европы в разработке крупномасштабных проектов в области железнодорожной инфраструктуры, выявление передового опыта, проверку ранее существовавших предположений о росте объема грузовых перевозок и выявление основных потребностей рынка в Регионе. Целью исследования является выявление подробных предпосылок для успешного коммерческого железнодорожного транспорта и дальнейшее развитие бизнес-кейса Rail Baltica [40].

Единый управляющий инфраструктурой на маршруте, сосредоточенный на основных функциях железной дороги, выступающий в качестве арендодателя интермодальных терминалов на маршруте, работающий в очень этичных и прозрачных рамках, структурированный таким образом, чтобы обеспечить наилучшие шансы на успех при доставке была образована одна компания на три страны [42] RBNE .RBNE не будет владеть какими-либо активами на маршруте (владение активами остается за национальными государствами), но будет обязано поддерживать активы на маршруте, обеспечивая доступность железнодорожных путей, а также иметь в пределах четко определенных границ возможность коммерциализации этих активов [42].

Глобальный проект Rail Baltica включает 870 км железнодорожных путей, 25 км основных сооружений и более 400 мостовых сооружений (мосты, путепроводы, виадуки, пешеходные переходы и переходы для животных), а также три грузовых терминала и семь международных пассажирских станций. Кроме того, имеются объекты технического обслуживания подвижного состава, энергосистема и сигнализация [43].

Когда речь заходит о моделировании этого весьма амбициозного проекта в цифровой среде, чтобы управлять Rail Baltica как единым активом, RB Rail AS разрабатывает подробную стратегию BIM, которая будет использоваться при проектировании, строительстве и эксплуатации линии. На начальном этапе проектирования и продолжающихся работах на 411 км основной линии стратегия BIM уже была применена, и разработчик уже представил первоклассные инженерные решения с использованием собственных стандартов BIM RB Rail AS.

Подробная стратегия BIM была разработана AECOM INOCSA - она состоит из обширной документации и шаблонов, которые будут использоваться для успешной реализации процесса BIM для глобального проекта Rail Baltica (рисунок 18). Стратегия определяет правила и принципы, которым должны следовать все участники проекта. Эти правила гарантируют, что вся информация, предоставляемая на этапах проектирования и строительства, создается и организуется с использованием одних и тех же принципов, чтобы обеспечить совместимость между результатами, полученными из разных дисциплин, и даже между результатами, полученными от различных проектных компаний.

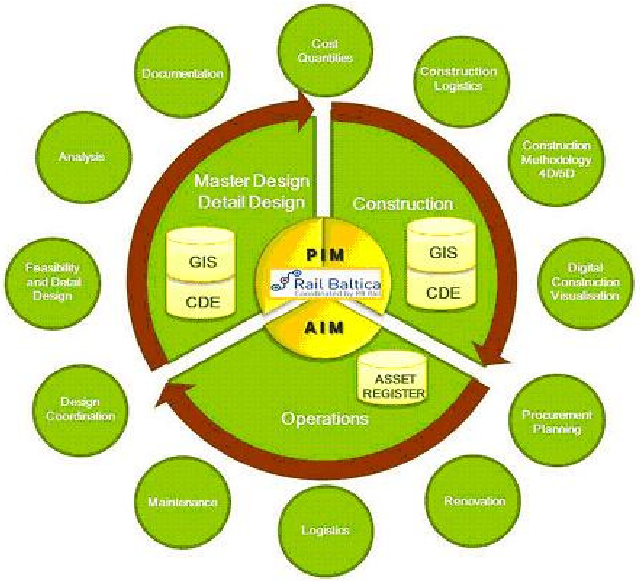

Рис. 18. Общая архитектура стратеги BIM Rail Baltica (источник - Rail Baltica)

Одним из основных направлений этой стратегии является обеспечение бесперебойной передачи информации для будущего управления активами, чтобы все ценные данные, собранные об активах на этапах проектирования и строительства, оставались пригодными для использования на протяжении всего жизненного цикла инфраструктуры. Другими словами, информация о реальных, физических, построенных активах собирается, хранится и поддерживается в базе данных и может использоваться для обслуживания железнодорожной инфраструктуры в течение всего ее срока эксплуатации.

Например, если контактный пункт спроектирован в цифровой среде - с использованием системы BIM - тогда база данных содержит информацию о ее геометрии, местоположении, материалах, приспособлениях и спецификациях. На этапе строительства добавляется информация о построенном активе, например, дата установки, инструкции по эксплуатации и график строительства. Затем, на этапе обслуживания и эксплуатации, всю эту информацию можно использовать для создания графиков обслуживания, создания рабочих заданий и т. д. Доказательство того, что подробная стратегия BIM была успешно разработана, можно найти в выпуске первоклассных инженерных материалов для секций проектирования в Литве и Эстонии [43]. Разделы руководства BIM позволили ответить в этих материалах на основные вопросы: Как? Что? Почему? Кто? и Где? (рисунок 19).

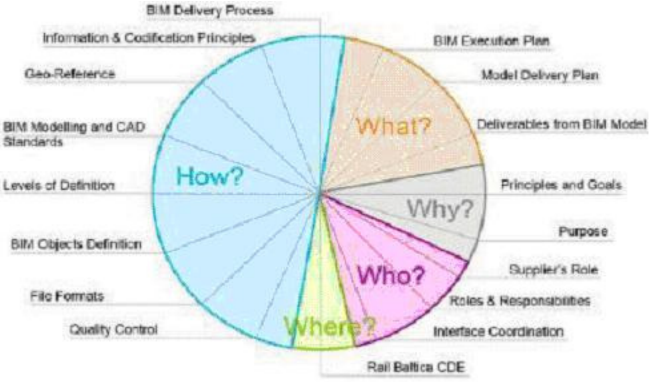

Рис. 19. Разделы руководства BIM (источник - Rail Baltica)

V. ОБЩАЯ СРЕДА ДАННЫХ RAIL BALTICA

Еще одним очень важным аспектом стратегии является определение файловой структуры, форматов и содержимого доставляемых данных. В настоящее время существует множество различных типов программного обеспечения для проектирования, каждое из которых обычно имеет свои собственные форматы файлов. Эти форматы файлов служат своей цели, если все проектные работы выполняются с использованием одного программного решения для всех дисциплин. Но как только эту информацию нужно использовать в другом программном решении, взаимодействие между различными форматами становится очень важным [43].

В стратегии используется открытый подход BIM, где основным используемым форматом обмена является IFC, что позволяет просматривать графическую и атрибутивную информацию во многих различных программных решениях. Конечный пользователь может выбрать свое программное обеспечение, и все равно сможет получить доступ к информации.

Файлы в собственном формате необходимы для сбора и архивирования всей информации. Это очень важный аспект для возможности редактировать информацию, если необходимо, например, при использовании исходной информации для возможных будущих конструкций.

На основе разработанной стратегии было закуплено CDE (Common Data Environment), и его развертывание уже началось. Решение Bentley Systems ProjectWise CONNECT Edition было выбрано в качестве наиболее подходящего для проекта железнодорожной инфраструктуры, поскольку оно охватывает все аспекты - это современное, лидирующее в отрасли решение, обеспечивающее совместные рабочие процессы между всеми сторонами, участвующими в проекте. В течение следующих нескольких месяцев 2020 года будет развернута большая работа по развертыванию и настройке системы, чтобы она соответствовала специфике глобального проекта Rail Baltica [43].

Параллельно с этими разработками для проекта также внедряется ГИС-решение с использованием системы Esri ArcGIS. Использование ГИС в сочетании с другими цифровыми данными открывает несколько различных вариантов использования: от планирования приобретения земли до представления результатов геотехнических исследований. Данные ортофотоплана и лидарной съемки (облака точек) собираются с использованием беспилотных летательных аппаратов (беспилотных летательных аппаратов или «дронов») и самолетов. Это позволяет исследовать как естественную, так и искусственную среду с точностью, точностью и гибкостью. Инженеры используют Lidar для создания более точных карт, создания цифровых моделей рельефа для использования в ГИС, в качестве основы для проектирования и т. д. Варианты использования для использования собранных данных практически безграничны, и по мере развития Глобального проекта соответствующие технологии будут развиваться. а также, как будут использовать случаи для всех технологических решений [43].

При таком подходе появляется множество возможностей, но все эти требования также создают различные проблемы. Одной из основных задач является поиск местных и зарубежных экспертов и специалистов, имеющих опыт работы в таких условиях.

Работа в среде совместной работы - это не то, к чему привыкли проектировщики и строительные компании - однако цифровое строительство - это среда, в которой строятся миры строительства и ИТ, поэтому ИТ-инженеры-строители и инженеры-строители пользуются и будут пользоваться высоким спросом. Они являются краеугольным камнем успеха этой среды, но для этого они должны понимать роли и ответственности при работе в этой информационной среде (рисунок 20)

В настоящее время строительная отрасль находится на переходном этапе - она принимает новые принципы и методы работы, поэтому ожидается появление новых ролей, таких как менеджеры и координаторы BIM или AIM (Asset Information Management). Все больше экспертов приобретают опыт в этой области, и в конечном итоге каждый инженер сможет работать в такой среде [43].

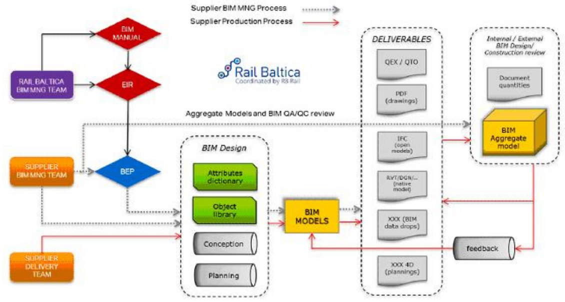

Рис. 20. Роли и ответственности при работе в информационной среде (источник - Rail Baltica)

Например, рассмотрим требования к управлению активами. Ожидается, что информация о физических созданных активах будет внесена в общую базу данных в соответствии с собранной информацией - Регистром активов. Эта информация об атрибутах может включать данные об установке, гарантийных периодах, технических паспортах и руководствах и т. д. Эта информация будет введена и затем проверена строительными компаниями. Руководство по BIM играет огромную роль в том, как оно организует цепи снабжения (рисунок 21).

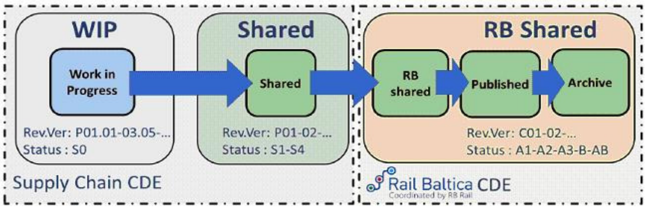

Рис. 21. Руководство по BIM и как оно организует цепи снабжения (источник - Rail Baltica)

Для Глобального проекта Rail Baltica каждый проектировщик и каждый инженер-строитель должны будут работать в соответствии с этими требованиями, чтобы на базе расширенного на жизненный цикл BIM получить новый вид активов – цифровых (рисунок 22)

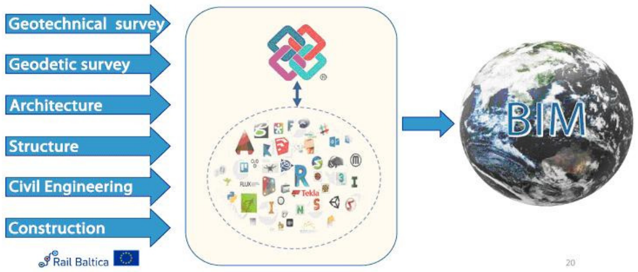

Рис. 22. BIM ER файловые форматы (источник - Rail Baltica)

Следует отметить что полный пакет руководств BIM (16-12-2019) (http://www.railbaltica.org/rb-rail-as-bim-documentation/) является открытым ресурсом, и его можно скачать по указанному выше адресу. Этот пакет (40 МБ в сжатом виде) содержит все документы, связанные с BIM и состоит из :

1.BIM Руководство

2.Информационные требования работодателя BIM (EIR)

3.BEP шаблон

4..Таблицы кодификации и инструкции по применению

5. Матрица атрибутов объектов BIM

6. Матрица LoG объектов BIM и инструкции по применению

7. Шаблон TIDP

8. Шаблон MIDP

9. Шаблон отчета о доставке BIM

10.Шаблон QEX

11. Шаблон QTO

12.Шаблон DataDrop

13.Шаблон САПР и инструкции по применению

14.Шаблон отчета о проверке столкновения

Упомянутый выше веб-сайт, не только содержит документацию по BIM, но также является полезным и живым элементом всего проекта как центр знаний Rail Baltica по цифровой части проекта (рисунок 23).

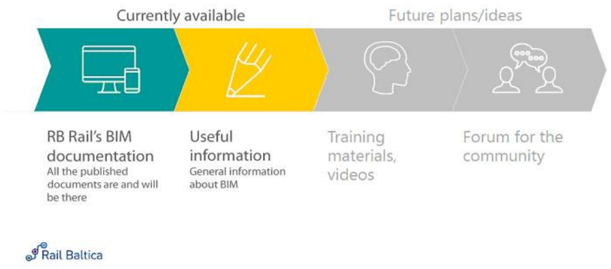

Рис. 23. Центр знаний о BIM – веб-сайт (источник - Rail Baltica)

Rail Baltica внедряется как новая быстрая железнодорожная линия с традиционной колеей европейского стандарта (1435 мм), электрифицированная и оборудованная ERTMS, с расчетной скоростью 240 км / ч. и выделено 10 преимуществ от реализации проекта Rail Baltica [44], которые мы приводим ниже, что бы проиллюстрировать чему последовательное использование BIM может способствовать:

1.Катализатор для устойчивого роста. Мощный катализатор устойчивого экономического роста в странах Балтии

Rail Baltica будет служить важным катализатором дальнейшего экономического развития стран Балтии - как на этапе строительства, например, путем создания сотен новых рабочих мест и содействия ВВП региона через различные прямые, косвенные и индуцированные эффекты от инвестиций в инфраструктуру, а также на этапе эксплуатации, например, путем повышения доступности балтийского рынка и повышения конкурентоспособности торговли, повышения привлекательности иностранных инвестиций и обеспечения устойчивого роста производительности и повышения конкурентоспособности балтийской транспортно-логистической отрасли и за ее пределами. Исторически наличие современной инфраструктуры всегда было одним из ключевых факторов, определяющих благосостояние и конкурентоспособность стран. В этом отношении особенно заметна высокоскоростная железнодорожная инфраструктура, которая может похвастаться одними из самых высоких уровней вторичных экономических выгод и макроэкономических мультипликаторов среди различных видов инвестиций в инфраструктуру.

2.Пассажирская и грузовая мобильность. Новый стандарт пассажирской и грузовой мобильности

Rail Baltica значительно сократит расстояния внутри Прибалтики и по отношению к остальной Европе. Современное высокоскоростное железнодорожное сообщение должно обеспечить удобную, безопасную и экологически чистую альтернативу мобильности пассажиров, а также новые возможности для развития интермодальных и мультимодальных цепочек поставок. Новая железнодорожная инфраструктура и ее будущая коммерциализация будут служить платформой для оцифровки и инноваций в рамках новой парадигмы бесперебойного интермодального соединения, прозрачности цепочки поставок и интеграции услуг и персонализации. Пассажиры Балтии получат доступ к туристическим решениям уровня качества, скорости, комфорта и опыта пассажиров, которыми давно пользуются наши западноевропейские коллеги, а владельцы грузов и экспедиторы смогут упростить и диверсифицировать свои процессы цепочки поставок благодаря прямой и беспрепятственной работе, высокопроизводительный доступ к европейской железнодорожной экосистеме.

3.Экономический коридор. Появится новый экономический коридор

Rail Baltica - это не просто строительство физической железнодорожной линии. Скорее физическая инфраструктура должна служить фактором, способствующим возникновению целого нового экономического коридора. Он не только запустит мощный действенный круг транснациональной региональной интеграции, что наглядно иллюстрируется, например, выдающимся успехом инфраструктуры фиксированной связи Oresund и ее коммерциализацией между Швецией и Данией, но также интегрирует страны Балтии в новые цепочки поставок регионального, европейского и глобального значения.

Rail Baltica уже разработана для того, чтобы стать частью европейского коридора TEN-T North Sea - Baltic Core Network, который связывает крупнейшие европейские порты Роттердам, Гамбург и Антверпен - через Нидерланды, Бельгию, Германию и Польшу - с тремя странами Балтии. дальнейшее соединение с Финляндией через короткие морские перевозки в Финском заливе с возможностью будущего фиксированного соединения между Таллинном и Хельсинки. Дальнейшее расширение этого коридора на север должно проложить путь для будущей связи также с зарождающимся арктическим коридором, особенно в свете выгодных перспектив развития альтернативного морского пути Северного круга между Европой и Азией.

Кроме того, коридор Северное море - Балтика пересекается с Балтийско-Адриатическим коридором в Варшаве, прокладывая путь для развития новой цепочки поставок между Балтийским и Адриатическим морями, соединяя страны Балтии с доселе недоступными рынками Южной Европы. Аналогичным образом Rail Baltica будет укреплять взаимодействие между грузопотоками Север-Юг и Запад-Восток, создавая новые возможности для перевалки и развития логистики вдоль сухопутных торговых путей Европы и Азии. Таким образом, новая инфраструктура Rail Baltica не только прочно удержит Балтику на европейской карте железнодорожной логистики, но и создаст огромные возможности для создания стоимости вдоль этой инфраструктуры с такими вторичными экономическими выгодами, как развитие коммерческой недвижимости, возрождение полуразрушенных городских районов, частный сектор. побочные инвестиции, формирование нового бизнеса, передача технологий и инноваций, развитие туризма и другие каталитические эффекты. Rail Baltica стремится продвигать эти эффекты на ранних этапах проекта, изучая ключевые глобальные истории успеха и ориентиры в этом отношении.

4.Занятость и образовательные возможности. Устойчивая занятость и образовательные возможности

На этапе проектирования и строительства Rail Baltica обеспечит значительное расширение возможностей трудоустройства, особенно в строительном секторе, что будет способствовать сглаживанию бизнес-цикла за счет своевременного повышения спроса на рабочую силу в нынешних условиях низкого роста. Кроме того, это поможет смягчить негативные последствия сокращения возможностей трудоустройства в традиционной железнодорожной системе 1520 мм, стимулируя миграцию профессионалов железной дороги из более традиционных сегментов Балтийской железнодорожной отрасли в новую железнодорожную экосистему европейской колеи. В долгосрочной перспективе это приведет к появлению высококвалифицированных специалистов, обладающих опытом работы с обеими железнодорожными системами. Когда проект вступит в операционную фазу, появятся новые устойчивые рабочие места в области управления и обслуживания инфраструктуры, управления станциями и терминалами, а также всех видов пассажирских и грузовых операций. Внедрение Rail Baltica должно послужить платформой для создания регионального центра передового опыта и компетенции, накапливая ноу-хау передовой практики и опыт других крупных трансграничных проектов, впервые содействуя передаче технологий и формируя инновации в таких масштабах. в Прибалтике и, таким образом, развитие международной конкурентоспособной экспертизы для экспорта в другие трансграничные проекты в будущем.

На макроуровне Rail Baltica значительно улучшит связь с рынком труда в Балтии. Зоны обслуживания рабочих мест, особенно вдоль маршрута Rail Baltica, будут расширяться, обеспечивая новые схемы ежедневных поездок на работу между доселе удаленными агломерациями. Мобильность рабочей силы является критическим фактором для повышения гибкости рынка труда и повышения его устойчивости в условиях экономических спадов. Аналогичным образом, несколько высших учебных заведений вдоль Rail Baltica расширят свои зоны приема студентов, став более доступными и удобными.

5.Экологическая устойчивость. Экологически устойчивая инфраструктура

Европа XXI века сталкивается со многими проблемами, связанными с глобальным потеплением, загрязнением окружающей среды и другими экологическими проблемами. Rail Baltica уменьшит экологический след человеческой мобильности в странах Балтии. Железная дорога является единственным основным видом транспорта, который почти полностью не зависит от ископаемого топлива, и его доля в транспортном потреблении Европы составляет менее 2%, несмотря на то, что доля рынка составляет более 8,5%. Кроме того, посредством внедрения модального перехода от автомобильного к железнодорожному транспорту - как для грузовых, так и для пассажирских перевозок - Rail Baltica будет способствовать значительному снижению денежных последствий от изменения климата из-за эффекта масштаба, а также поможет сократить расходы на содержание дорог и снизить уровень шума. загрязнение окружающей среды.

6.Мультимодальные перевозки. Новые возможности для развития мультимодальной грузовой логистики

Интегрируя ключевые элементы транспортной инфраструктуры региона - от морских портов и внутренних логистических объектов до аэропортов и городских терминалов - в экосистему Rail Baltica, проект проложит путь к разработке новых интермодальных и мультимодальных логистических решений. Балтийские государства не только укрепят свои возможности по организации торговли с остальными странами Европейского Союза, на которые приходится три четверти их общего объема торговли, по более выгодным и конкурентоспособным тарифам на перевозки, но и будут позиционироваться в основных европейских и глобальных цепочках поставок. сегодня и в будущем. Интермодальность, логистические услуги с высокой добавленной стоимостью, навыки цифровизации и управления цепочками поставок будут определять способность стран Балтии продвигать свою роль в европейском разделении труда в области транспорта и логистики. Rail Baltica станет важным активом и источником конкурентного преимущества в этом отношении. Контейнерные перевозки и контрейлерные перевозки будут постепенно расширяться, так как балтийские отрасли грузовых перевозок постепенно диверсифицируются от более традиционных сегментов грузовых перевозок, особенно от перевалки навалочных и наливных грузов. Мууга, Саласпилс, Каунас и другие точки доступа идеально подойдут для превращения в платформы для сборочной логистики и других видов деятельности с высокой добавленной стоимостью, которые также способны поддерживать своевременные процессы в других отраслях.

7.Транспортные решения. Новые интермодальные транспортные решения для пассажиров

Что касается пассажиров, то выравнивание маршрутов Rail Baltica предусматривает связь с центральными деловыми районами и аэропортами, обеспечивая удобную связь для беспрепятственных деловых поездок в будущем. Путешествие в свободное время и туризм также очень выиграют от такой общеталтийской связи. По мере развития будущих поездок в целях интеграции различных транспортных решений в единый, полностью отслеживаемый пакет «от двери до двери» с цифровым управлением роль узлов-интеграторов только усиливается - городские терминалы становятся мультимодальными точками доступа, а железнодорожные станции в аэропортах становятся воротами для бесперебойной связи «воздух-воздух». железнодорожное сообщение. В связи с этим Rail Baltica предоставит платформу для создания таких интегрированных решений для пассажирских перевозок, которые никогда ранее не были доступны в странах Балтии.

8.Улучшения безопасности. Улучшения безопасности и производительности

Широко известно и эмпирически доказано, что железнодорожный транспорт является одним из самых безопасных способов передвижения. С точки зрения смертности от несчастных случаев железнодорожный транспорт почти в 30 раз безопаснее, чем частные автомобили, и почти в 3 раза безопаснее, чем общественные автобусы, несмотря на относительные различия в показателях травматизма от несчастных случаев. Естественно, что, содействуя модальному переходу с автомобильного на железнодорожный транспорт и, тем самым, уменьшая количество и интенсивность грузовых автомобилей на дорогах общего пользования, это также окажет положительное влияние на безопасность дорожного движения. Учитывая преимущества в скорости, Rail Baltica также будет способствовать значительной экономии времени в пути. Кроме того, по сравнению с поездками на частном автомобиле, где время проводится за рулем, или воздушным транспортом, который включает в себя ряд последовательных действий (доступ в аэропорт, регистрация, проверка безопасности, посадка / высадка, доступ в центр города и т. д.), скоростные поезда беспрепятственно перемещаются из центра города в центр, часто без остановок, что обеспечивает бесперебойное и продуктивное время в пути. По мере развития городов вдоль маршрута Rail Baltic интенсивность движения будет расти пропорционально. Rail Baltica предоставит альтернативный вариант для путешествий, который позволит избежать и одновременно поможет уменьшить заторы в городских условиях.

9.Инновационная платформа. Новая ценностная платформа для оцифровки и инноваций

Европейская железнодорожная отрасль, хотя и воспринимается как довольно консервативная, очень старается приспособиться к прорывным технологиям через цифровизацию и развитие интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Цифровизация, наряду с декарбонизацией, неизменно является одним из ключевых стратегических приоритетов Европейского союза в развитии европейской трансграничной транспортной связности. Инновационные технологии, такие как интеллектуальный анализ данных, Интернет вещей / Интернет поездов, коммуникационные сети следующего поколения (как на путевом, так и на борту), приложения для передачи данных о пассажирах, развертывание датчиков и интеллектуальная энергия, и многие другие, будут все больше пронизывать все аспекты железной дороги, процессы проектирования, строительства, обслуживания, эксплуатации и развития цепочки поставок. Поэтому Rail Baltica придаст новый импульс быстро развивающейся экосистеме начинающих предприятий в странах Балтии, создавая новые возможности и продвигая цифровые инновации на всех этапах проекта.

10.Интеграция в транспортную экосистему. Завершение интеграции стран Балтии в транспортную экосистему Европейского Союза

С точки зрения доступности транспортной инфраструктуры к остальной части Европейского Союза, страны Балтии больше похожи на острова, чем на континенты. В отсутствие высокоскоростной автомагистрали и железнодорожной инфраструктуры воздушное сообщение является доминирующим видом пассажирских перевозок, особенно деловых поездок; в то время как короткие морские перевозки обслуживают значительную часть грузопотоков. Таким образом, доступ Балтики к единому европейскому рынку является неполным. Rail Baltica намерена восполнить этот разрыв, устранив недостающее звено и, тем самым, восстановив историческую справедливость путем реинтеграции Балтики в европейскую железнодорожную систему. Вливаясь в единую европейскую железнодорожную зону, страны Балтии улучшат свои условия торговли и получат доступ к новым экспортным рынкам, доступ к которым будет улучшен и станет коммерчески жизнеспособным благодаря новым логистическим каналам. Именно с учетом этих ключевых стратегических соображений Европейский союз последовательно включает Rail Baltica в число своих инициатив в области развития транспортной инфраструктуры.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. РОЖДЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНДАРТОВ

В предыдущих разделах мы показали, как развитие BIM в железнодорожной отрасли прошло этапы пилотного применения, использования на крупных национальных проектах, разработки планов применения на национальных железнодорожных сетях и применения на крупных межгосударственных проектах. Эта логика применения BIM привела к балансу интересов многих заинтересованных сторон состоящих из крупнейших мировых железнодорожных компаний в создании набора транспарентых формализованных онтологических стандартов, описывающих инфраструктуру железных дорог. В описанных нами выше примерах применения BIM постепенно нарастало применение форматов IFC открытого некоммерческого общества buildingSMART, а переломным моментом стала разработка национального стандарта Китая и широкая, успешная практика его применения. Так родился проект IFC Rail buildingSMART создания международных стандартов для строительства, реконструкции и эксплуатации железнодорожных инфраструктур.

Мир стандартизации инфраструктур, усилиями рабочих групп открытого онтологического международного общества buildingSMART, в деятельности которого принимает с недавних пор Россия, сегодня меняется очень быстро. По сути, BIM - это процесс, позволяющий сэкономить время и деньги и достичь высокого уровня достоверности результатов как в процессе проектирования и строительства, так и, что особенно важно, на процессе эксплуатации. Реконструкция (реновация) заданий и сооружений управляемая данными заложенными в BIM модель может дать замечательные результаты по снижению затрат и повышению комфортности или иных бизнес свойств сооружений. Даже снос зданий может быть отработан в этом цифровом мире BIM, рассчитан и проведен по оптимальному сценарию, как для экологии, так и для экономики.

Все это, собственно, и называется жизненным циклом зданий и сооружений. Трехмерная модель, сгенерированная во время процессов проектирования BIM, которую к сожалению очень многие считают некоторой основой технологий BIM, является побочным продуктом необходимости координировать конкретный дизайн, фиксировать структуру как есть для оценки затрат на снос или предоставлять юридическую или договорную запись об изменении физического актива. Такая визуализация может быть очень полезной частью процесса, поскольку она помогает людям понять динамику, характеристики и эстетику предлагаемого проекта, но не представляет весь процесс.

По ряду причин IFC как формализованная онтология и buildingSMART как некоммерческая международная организация стали синонимами открытого BIM (но это не единственное решение), особенно после того, как начали развитие IFC для линейных и площадных инфраструктурных объектов и заключили для этого значительное количество соглашений со смежными некоммерческими онтологическими обществами. В результате понятие BIM и IFC стали очень близкими онтологическими доменами, что можно наглядно увидеть на рисунке 24, определив основные направления мировой стандартизации в части BIM (рисунок 25), в которой сегодня выделилось действительно мощное понятие данных, необходимых для тех или иных этапов жизненного цикла зданий и сооружений и их повышения потребительских свойств и экономических показателей.

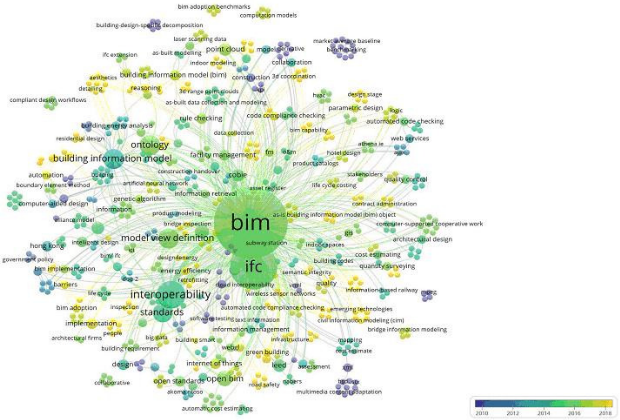

Рис. 24. Домены BIM и IFC стали почти совпадающими (источник: Sara Guerra de Oliveira Open BIM for infrastructure: Recent standardisation efforts ISO/TC 211 Seminar “Standards in Action” 5th June, 2019 University of Maribor: Faculty of Electrical Engineering and Computer Science SLOVENIA)

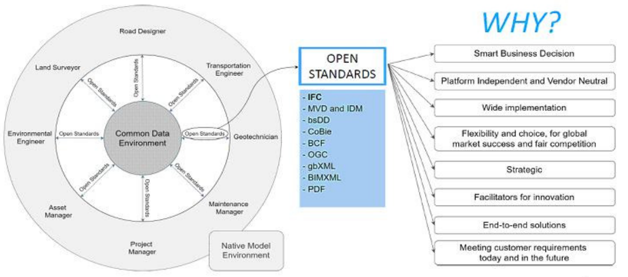

Рис. 25. Направления стандартизации BIM и IFC по решениям CDE (источник : Sara Guerra de Oliveira Open BIM for infrastructure: Recent standardisation efforts ISO/TC 211 Seminar “Standards in Action” 5th June, 2019 University of Maribor: Faculty of Electrical Engineering and Computer Science SLOVENIA)

Чтобы BIM (IFC) стал операционно исполняемым и как модель мог стыковаться с моделями созданных на других онтологических языках программирования необходимо то, что будет их связывать, как по коду, так и по значениям данных. Самой распространенной практикой в этой части сегодня является использование средств поддерживаемых W3C, таких как OWL (онтологический веб-язык).

После того как buildingSMART стал выпускать зеркальную к IFC версию IFCOWL, возможности соединения моделей и соответственно данных существенно возросли, что собственно и позволило взяться за одновременную работу по большому числу направлений или комнат в целях расширения языка, в том числе через OWL. Сегодня версия OWL стала уже пред стандартом (смотри ниже).

Изменения в понимании и возможностях применения, выраженное в размерностях, о которых мы говорили выше, приводят к пониманию необходимости формализованной онтологии, она позволяет организовывать цифровые связи между различными доменами, которые ранее не были связаны по многим причинам и в том числе из-за невозможности технически выполнить эту работу. Однако, когда появились возможности совсем по-другому организовать как хранение данных так и их поиск спектр применения технологий BIM начал расширяться как по предметным областям (доменам) так и по временной шкале. Так произошла детализации проекта buildingSMART по стандартизации для строительства, реконструкции и сопровождения железнодорожных инфраструктур. В первую очередь эта детализация пошла в направлении выравнивания с ГИС решениями уже широко распространенными в дорожной сфере Направления создания таких же стандартов для мостов и туннелей было сделано отдельными проектами в buildingSMART, так как они являются частью, например, автодорожных решений. Последние также выделились в отдельный проект buildingSMART.

Во многих странах хорошо функционирующая железнодорожная инфраструктура является центральным элементом их хорошей экономической производительности. На протяжении десятилетий железнодорожная инфраструктура часто становилась собственностью относительно крупных государственных компаний. Кроме того, она регулируется стандартами и даже законами, влияющими на его технические, финансовые и операционные установки, которые варьируются от страны к стране, и это учитывалось в создании стандартов buildingSMART. По своей природе она, тем не менее, является линейным активом со своей внутренней логикой. Оцифровка домена позволяет управлять данными, что должно сделать операционные процессы и управление активами более эффективными на протяжении всего их жизненного цикла.

Заинтересованные стороны железнодорожной инфраструктуры - это, в основном, ее владельцы и операторы. У них уже есть хорошо настроенные базы данных для бизнеса, но им не хватает целостного взаимодействия на основе данных от доменных экспертов на протяжении жизненного цикла каждого актива. Открыто документированные концепции данных и требования представляют интерес для владельцев, поскольку это создает известные преимущества, связанные с владением данными и рыночной конкуренцией поставщиков услуг. Технические характеристики buildingSMART создают многообещающий фундамент для дальнейшего развития. Тесное сотрудничество восьми владельцев железнодорожной инфраструктуры с BuildingSMART International было настроено по организационным и техническим вопросам при создании инфраструктурных железнодорожных стандартов BIM

Группой независимых экспертов в прошлом году были представлены результаты, для BuildingSMART , готовившиеся в течение двух лет специалистами в области железных дорог, которые имеют опыт в области проектирования, строительства, управления, эксплуатационными и техническими специалистами по моделированию данных линейных активов и соседних доменов. Исходными данными стал стандарт China Railway BIM Alliance [34] и широкая практика его применения не только в Китае. Варианты использования были сформулированы для того, чтобы найти общий консенсус, несмотря на национальные правила.

Эти требования, таким образом, расширяют «классическое» использование IFC, которое, приносит пользу на этапе проектирования зданий. Ключом этого расширения является ранее упомянутая цель и вспомогательные операционные процессы. Таким образом, представление данных жизненного цикла вводится в результате подхода, основанного на спросе. Примерами на логическом и техническом уровне являются: важность выравнивания, части активов и участков, имеющих геометрические размеры сотен километров, сохраняя высокую числовую точность, реализуя или ссылаясь на существующие концепции данных, которые уже используются заинтересованными сторонами, топологические описания, требования к тому как представлять законную собственность и т. д. Одним из ключевых выводов специалистов является возможность локализации стандарта для стран или их объединений.

Эти требования к данным железнодорожных инфраструктур для BIM являются утвержденным консенсусом некоторых из крупнейших в мире заинтересованных сторон в области железнодорожной инфраструктуры. В начале 2020 года в библиотеке стандартов (Standards Library BuildingSMART https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/standards-library/) были опубликованы кандидаты в стандарты BuildingSMART на интересующие нас темы.

Стандарты-кандидаты - это виды деятельности, которые находятся в процессе достижения международного консенсуса до того, как будут представлены Комитету по стандартам для окончательного голосования. Вот их перечень и адреса размещения для любознательного читателя:

1. ifcOWL Онтология P21 Информация здесь https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/ifcowl/
2. IFC4.2 - Расширения схемы для мостов P5 Информация здесь https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/
3. IFC Rail Project- Реферат P26 Информация здесь https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2019/10/RWR-IFC_Rail_Abstract_.pdf
4. IFC Rail Project- Концептуальный отчет о модели P26 Информация здесь https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2019/10/RWR-IFC_Rail-Conceptual_Model_Report_.pdf
5. IFC Rail Project - Контекст и подход P26 Информация здесь https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2019/10/RWR-IFC_Rail-Context-Approach_1.1.pdf
6. IFC Rail Project - Отчет о требованиях к данным P26 Информация здесь https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2019/10/RWR-IFC_Rail-Data_Requirements_Report_-_.pdf
7. IFC Rail Project- Отчет по анализу требований P26 Информация здесь https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2019/10/RWR-IFC_Rail-Requirement_Analysis_Report_-_.pdf

Более формализованные представления инфраструктур железных дорог можно найти по адресу https://buildingsmart.fi/infra/bSI_LandXML12_MVD/

Эти открытые стандарты и пред-стандарты можно как считать и использовать, так и высказать свои пожелания по их улучшению. Открытые стандарты BuildingSMART определяют следующие возможности по ранее достигнутыми результатами между доменами GIS BIM:

- BIM + ГИС интеграцию
- Представление IFC в cityGML
- Геометрическую и семантическую

интеграцию данных

- Автоматизацию тех процессов которые ранее были ручными или затрудненными
- Обеспечение поставщиков нейтральным форматом данных
- Сотрудничество разных компаний, имеющих конкурентные противоречия

На рисунках 26 , 27, 28 мы показываем, как в BIM сегодня выглядят данные, импортированные из ГИС или созданные в новой среде.

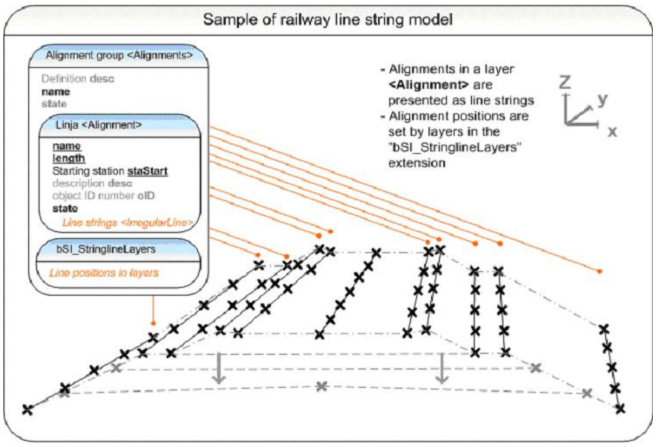

Рис. 26. Так выглядит формализованная иллюстрация к линейно части железной дороги

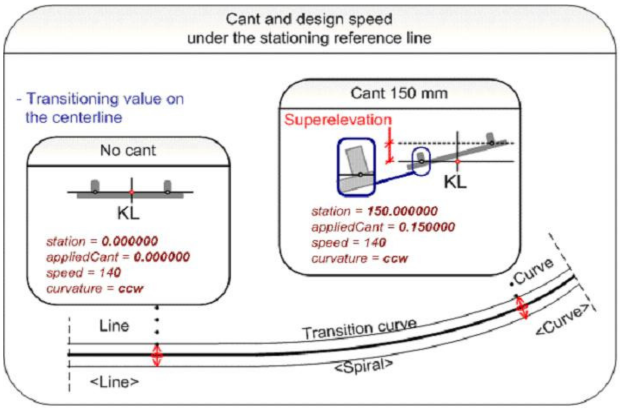

Рис. 27. Так выглядит формализованная иллюстрация к радиусам разворотов на линейной части железной дороги

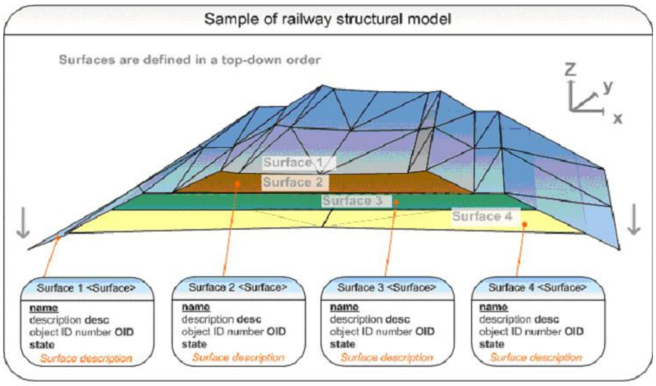

Рис. 28. Так выглядит формализованная иллюстрация к гео-техническим активам линейной части железной дороги

Публикация кандидатов в стандарты важный шаг, снижающий риски тех, кто их уже применяет или рассматривает их применение. Количество таких стран и компаний быстро растет, так как их использование сулит огромные выгоды, о которых мы много говорили выше. Для тех же, кто любит полное отсутствие рисков и минимальные выгоды, мы приводим рисунок 29 - этапы создания стандартов делающие их успешными и роль индустрии в этом.

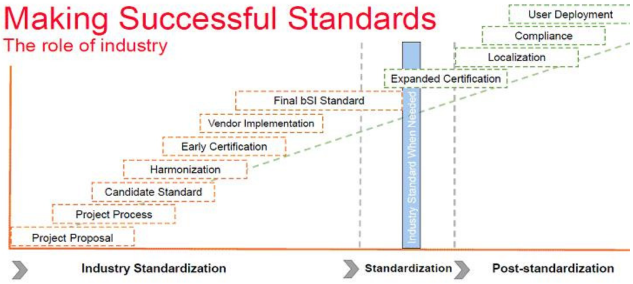

Рис. 29. Этапы создания стандартов делающие их успешными и роль индустрии в этом

БИБЛИОГРАФИЯ

[1] World Bank. 2019. Belt and Road Economics: Opportunities and Risks of Transport Corridors. Washington, DC: World Bank. © World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31878 License: CC BY 3.0 IGO.

[2] Lawrence, Martha; Bullock, Richard; Liu, Ziming. 2019. China's High-Speed Rail Development. International Development in Focus;. Washington, DC: World Bank. © World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31801 License: CC BY 3.0 IGO.

[3] Research Institute of Urban and Environmental Development; Jain, Vibhu; Okazawa, Yuko. 2019. Case Study on Tokyo Metropolitan Region, Japan. Tokyo Development Learning Center Policy Paper Series,no. 3;. World Bank, Washington, DC. © World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31941 License: CC BY 3.0 IGO.

[4] Fang, Wanli; Liu, Liu; Zhou, Jianhao. 2020. Assessing Physical Environment of TOD Communities around Metro Stations: Using Big Data and Machine Learning. World Bank, Washington, DC. © World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33343 License: CC BY 3.0 IGO.

[5] Haixiao, P. and G. Ya. 2019. Development of High-Speed Rail in the People's Republic of China. ADBI Working Paper 959. Tokyo: Asian Development Bank Institute. Available: https://www.adb.org/publications/development-high-speed-rail-prc

[6] Handbook on High-Speed Rail and Quality of Life Edited by Yoshitsugu Hayashi, KE Seetha Ram, and Shreyas Bharule c 2020 Asian Development Bank Institute

[7] Li, Z. 2017. Infrastructure and Urbanization in the People's Republic of China. ADBI Working Paper 632. Tokyo: Asian Development Bank Institute. Available: https://www.adb.org/publications/infrastructure-and-urbanization-prc

[8] Hideo Nakamura, Kotaro Nagasawa, Kazuaki Hiraishi,Atsushi Hasegawa, KE Seetha Ram, Chul Ju Kim, and Kai Xu, Principles of Infrastructure Case Studies and Best Practices,© 2019 Asian Development Bank Institute and Mitsubishi Research Institute, Inc.

[9] Roy, S. and A. Maji. 2019. A Station Location Identification Model for an Integrated Interoperable High-Speed Rail System. ADBI Working Paper 956. Tokyo: Asian Development Bank

Institute. Available: https://www.adb.org/publications/station-location-identification-model-high-speed-rail-system

[10] IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND REDUCING EMISSIONS THROUGH INTELLIGENT RAILWAY STATION BUILDINGS © 2015 Asian Development Bank

[11] China Railway Sets Benchmark for Full-lifecycle BIM on Beijing-Zhangjiakou Rail Project Kasun Illankoon March 23, 2020 https://www.cbnme.com/logistics-news/china-railway-sets-benchmark-for-full-lifecycle-bim-on-beijing-zhangjiakou-rail-project/

[12] World Development Report 2016: Digital Dividends. (2016). Retrieved from https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2016

[13] Promoting Information and Communication Technology in ADB Operations. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank, 2014.

[14] CONSULTANCY FOR ASIAN DEVELOPMENT BANK IN ADOPTING BIM FOR NEW RAILWAYS PROJECTS https://www.royalhaskoningdhv.com/en-gb/projects/consultancy-for-asian-development-bank-in-adopting-bim-for-new-railways-projects/9145

[15] Building Information Modelling (BIM) in Railways For Design, Construction, Operation and Asset Management 21 May 2019 https://events.development.asia/materials/20190521/building-information-modelling-bim-railway-design-construction-operation-and

[16] Куприяновский В. П., Синягов С. А., Добрынин А. П. BIM-Цифровая экономика. Как достигли успеха? Практический подход к теоретической концепции. Часть 1. Подходы и основные преимущества BIM //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 3. – С. 1-8.

[17] Куприяновский В. П., Синягов С. А., Добрынин А. П. BIM-Цифровая экономика. Как достигли успеха? Практический подход к теоретической концепции. Часть 2. Цифровая экономика //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 3

[18] Kupriyanovsky V. et al. The new five-year plan for BIM-infrastructure and Smart Cities //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 8. – С. 20-35.

[19] BIM APPLICATION IN LONDON CROSSRAIL https://www.e-zigurat.com/blog/en/bim-application-in-london-crossrail/

[20] Prof. S.N. Pollalis, D. Lappas Crossrail -Elizabeth Line London, UK, Case study .The Zofnass Program at Harvard, February 18, 2019

[21] 12F-002-03_Crossrail-BIM-Principles_CR-XRL-Z3-RGN-CR001-50005-Revision-5.0 2017 https://learninglegacy.crossrail.co.uk/wp-content/uploads/2017/02/12F-002-03_Crossrail-BIM-Principles_CR-XRL-Z3-RGN-CR001-50005-Revision-5.0.pdf

[22] Crossrail Asset Information A General Guide 2018 https://learninglegacy.crossrail.co.uk/wp-content/uploads/2018/06/12C-004_Crossrail-Asset-Information-A-General-Guide.pdf

[23] CROSSRAIL OPERATIONS AND MAINTENANCE INFORMATION GUIDE ,Document type: Good Practice Document Author: Crossrail Ltd Publication Date: 09/07/2018 https://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/crossrail-operations-and-maintenance-information-guide/

[24] The Future for Construction Product Manufacturing Digitalisation, Industry 4.0 and the Circular Economy , Construction Products Association UK ,October 2016

[25] PGN 03/15: Building Information Modelling (BIM) Date published: 03 April 2019 central procurement directorate (cpd) department of finance uk ni

[26] Government Soft Landings Revised guidance for the public sector on applying BS8536 parts 1 and 2 Updated for ISO 19650 © 2019 Centre for Digital Built Britain Which Industries Are the Most Digital (and Why)? https://hbr.org/2016/04/a-chart-that-shows-which-industries-are-the-most-digital-and-why

[27] Sinyagov S. et al. Building and Engineering Based on BIM Standards as the Basis for Transforming Infrastructures in the Digital Economy //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 5. – С. 46-79.

[28] Климов А. А. и др. BIM и инженерные формализованные онтологии на цифровой железной дороге Европы в объединении EULYNX-экономика данных //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 8.

[29] Куприяновский В. П. и др. ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ НА БАЗЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ BIM, СВЯЗАННЫЕ ОНТОЛОГИЯМИ, 5G, IOT И СМЕШАННОЙ РЕАЛЬНОСТЬЮ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТАХ И IFRABIM //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 3.

[30] Implementation of Building Information Modeling (BIM) in the Infrastructure Division of Deutsche Bahn AG, Deutsche Bahn AG 2019 https://www.deutschebahn.com/resource/blob/4114234/f17c340682cd9e8f6bfe3faae86e0f52/BIM-Strategy-Deutsche-Bahn-en-data.pdf

[31] Rail BIM Roadmap 2030 Yonsei University 2018 http://big.yonsei.ac.kr/railbim/reports/RailBIM2030Roadmap_Full_Eng_Final.pdf интерактивное представление результата http://big.yonsei.ac.kr/railbim/

[32] Digital Construction https://www.deutschebahn.com/en/Digitalization/technology/innovations/digiatalesbauen-3520304

[33] The Rail BIM 2030 Roadmap Project https://www.gim-international.com/content/article/the-rail-bim-2030-roadmap-project

[34] CRBIM1002－2015 Railway BIM Data Standard （Version 1.0）,Issued on: 2015-12-29 Implemented on: 2016-01-01, China Railway BIM Alliance, https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2017/09/bSI-SPEC-Rail.pdf

[35] China greenlights first underwater high-speed railway https://europeansting.com/2018/12/17/china-greenlights-first-underwater-high-speed-railway/

[36] Lawrence, Martha B.; Bullock, Richard G.; Liu, Ziming. 2019. China's High-Speed Rail Development (English). International Development in Focus. Washington, D.C. : World Bank Group. http://documents.worldbank.org/curated/en/933411559841476316/Chinas-High-Speed-Rail-Development

[37] Special Report A European high-speed rail network: not a reality but an ineffective patchwork. EUROPEAN COURT OF AUDITORS. © European Union, 2018 https://www.eca.europa.eu/en/Pages/DocItem.aspx?did=46398

[38] Chinese firm offers to build HS2 and save ‘tens of billions’ https://www.building.co.uk/news/chinese-firm-offers-to-build-hs2-and-save-tens-of-billions/5104268.article

[39] Lazutkina V. et al. Ontologies of big data, machine learning, and artificial intelligence on the digital railroad //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – №. 5. – С. 75-88.

[40] Study on the Business Case of the Rail Baltica Project and Setting up a Rail Baltica Business Network in Finland, Estonia, Latvia, Lithuania and Poland © European Union, 2019

[41] Pokusaev O. et al. Europe's digital railway-from ERTMS to artificial intelligence //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – №. 7. – С. 90-119.

[42] Rail Baltica Infrastructure Management Study Final Report RB Rail AS 28th February 2019

[43] How Geospatial Data Supports a Digital Railway Project https://www.gim-international.com/content/article/how-geospatial-data-supports-a-digital-railway-project так-же http://www.railbaltica.org/digital-rail-baltica-is-on-its-way/

[44] 10 Benefits from the Rail Baltica Project Implementation http://www.railbaltica.org/benefits/

[45] Соколов И. А. и др. Возможности развития цифровой железной дороги, как базы мультимодальной транспортной системы умных городов в условиях цифровой экономики //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 12.

International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 8, no.5, 2020

BIM on the world's railways - development, examples, and standards

Vasily Kupriyanovsky, Oleg Pokusaev, Alexander Klimov, Andrey Dobrynin, Varvara Lazutkina, Ilya Potapov

Abstract— **This article is about using BIM in the design and operation of railways. Currently, passenger and freight rail transport, with a history of nearly 200 years, has begun a new stage of rapid growth, associated both with its demand and with the opportunities that have opened up with the introduction of innovative technologies and approaches. Today, the emergence of a new technological structure is accompanied by the simultaneous development of digital technologies, which helps to increase the efficiency of the national and global economies. The main reason for the introduction of digital technology is the desire to increase the speed of decision-making and the quality of management of key business processes. In Europe, one of the harbingers of the digital economy was the decisive introduction of Building Information Modeling (BIM) technologies. In this difficult process of introducing BIM innovations into practice, a very large role was played then by the largest construction project in Europe Crossrail or now the route in London, known as the Elizabeth line, which was launched in the fall of 2019. The work also discusses BIM projects on the railways of South Korea, China, and Northern Europe. The IFC Rail buildingSMART project for creating international standards for the construction, reconstruction, and operation of railway infrastructures was also considered.**

Keywords— **transport, BIM.**

REFERENCES

[1] World Bank. 2019. Belt and Road Economics: Opportunities and Risks of Transport Corridors. Washington, DC: World Bank. © World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31878 License: CC BY 3.0 IGO.

[2] Lawrence, Martha; Bullock, Richard; Liu, Ziming. 2019. China's High-Speed Rail Development. International Development in Focus; Washington, DC: World Bank. © World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31801 License: CC BY 3.0 IGO.

[3] Research Institute of Urban and Environmental Development; Jain, Vibhu; Okazawa, Yuko. 2019. Case Study on Tokyo Metropolitan Region, Japan. Tokyo Development Learning Center Policy Paper Series,no. 3;. World Bank, Washington, DC. © World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31941 License: CC BY 3.0 IGO.

[4] Fang, Wanli; Liu, Liu; Zhou, Jianhao. 2020. Assessing Physical Environment of TOD Communities around Metro Stations: Using Big Data and Machine Learning. World Bank, Washington, DC. © World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33343 License: CC BY 3.0 IGO.

[5] Haixiao, P. and G. Ya. 2019. Development of High-Speed Rail in the People's Republic of China. ADBI Working Paper 959. Tokyo: Asian Development Bank Institute. Available: https://www.adb.org/publications/development-high-speed-rail-prc

[6] Handbook on High-Speed Rail and Quality of Life Edited by Yoshitsugu Hayashi, KE Seetha Ram, and Shreyas Bharule c 2020 Asian Development Bank Institute

[7] Li, Z. 2017. Infrastructure and Urbanization in the People's Republic of China. ADBI Working Paper 632. Tokyo: Asian Development Bank Institute. Available: https://www.adb.org/publications/infrastructure-and-urbanization-prc

[8] Hideo Nakamura, Kotaro Nagasawa, Kazuaki Hiraishi,Atsushi Hasegawa, KE Seetha Ram, Chul Ju Kim, and Kai Xu, Principles of Infrastructure Case Studies and Best Practices,© 2019 Asian Development Bank Institute and Mitsubishi Research Institute, Inc.

[9] Roy, S. and A. Maji. 2019. A Station Location Identification Model for an Integrated Interoperable High-Speed Rail System. ADBI Working Paper 956. Tokyo: Asian Development Bank Institute. Available: https://www.adb.org/publications/station-location-identification-model-high-speed-rail-system

[10] IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND REDUCING EMISSIONS THROUGH INTELLIGENT RAILWAY STATION BUILDINGS © 2015 Asian Development Bank

[11] China Railway Sets Benchmark for Full-lifecycle BIM on Beijing-Zhangjiakou Rail Project Kasun Illankoon March 23, 2020 https://www.cbnme.com/logistics-news/china-railway-sets-benchmark-for-full-lifecycle-bim-on-beijing-zhangjiakou-rail-project/

[12] World Development Report 2016: Digital Dividends. (2016). Retrieved from https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2016

[13] Promoting Information and Communication Technology in ADB Operations. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank, 2014.

[14] CONSULTANCY FOR ASIAN DEVELOPMENT BANK IN ADOPTING BIM FOR NEW RAILWAYS PROJECTS https://www.royalhaskoningdhv.com/en-gb/projects/consultancy-for-asian-development-bank-in-adopting-bim-for-new-railways-projects/9145

[15] Building Information Modelling (BIM) in Railways For Design, Construction, Operation and Asset Management 21 May 2019 https://events.development.asia/materials/20190521/building-information-modelling-bim-railway-design-construction-operation-and

[16] Kuprijanovskij V. P., Sinjagov S. A., Dobrynin A. P. BIM-Cifrovaja jekonomika. Kak dostigli uspeha? Prakticheskij podhod k teoreticheskoj koncepcii. Chast' 1. Podhody i osnovnye preimushhestva BIM //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – T. 4. – #. 3. – S. 1-8.

[17] Kuprijanovskij V. P., Sinjagov S. A., Dobrynin A. P. BIM-Cifrovaja jekonomika. Kak dostigli uspeha? Prakticheskij podhod k teoreticheskoj koncepcii. Chast' 2. Cifrovaja jekonomika //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – T. 4. – #. 3

[18] Kupriyanovsky V. et al. The new five-year plan for BIM-infrastructure and Smart Cities //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – T. 4. – #. 8. – S. 20-35.

[19] BIM APPLICATION IN LONDON CROSSRAIL https://www.e-zigurat.com/blog/en/bim-application-in-london-crossrail/

[20] Prof. S.N. Pollalis, D. Lappas Crossrail -Elizabeth Line London, UK, Case study .The Zofnass Program at Harvard, February 18, 2019

[21] 12F-002-03_Crossrail-BIM-Principles_CR-XRL-Z3-RGN-CR001-50005-Revision-5.0 2017 https://learninglegacy.crossrail.co.uk/wp-content/uploads/2017/02/12F-002-03_Crossrail-BIM-Principles_CR-XRL-Z3-RGN-CR001-50005-Revision-5.0.pdf

[22] Crossrail Asset Information A General Guide 2018 https://learninglegacy.crossrail.co.uk/wp-content/uploads/2018/06/12C-004_Crossrail-Asset-Information-A-General-Guide.pdf

[23] CROSSRAIL OPERATIONS AND MAINTENANCE INFORMATION GUIDE ,Document type: Good Practice Document Author: Crossrail Ltd Publication Date: 09/07/2018 https://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/crossrail-operations-and-maintenance-information-guide/

[24] The Future for Construction Product Manufacturing Digitalisation, Industry 4.0 and the Circular Economy , Construction Products Association UK ,October 2016

[25] PGN 03/15: Building Information Modelling (BIM) Date published: 03 April 2019 central procurement directorate (cpd) department of finance uk ni

[26] Government Soft Landings Revised guidance for the public sector on applying BS8536 parts 1 and 2 Updated for ISO 19650 © 2019 Centre for Digital Built Britain Which Industries Are the Most Digital (and Why)? https://hbr.org/2016/04/a-chart-that-shows-which-industries-are-the-most-digital-and-why

[27] Sinyagov S. et al. Building and Engineering Based on BIM Standards as the Basis for Transforming Infrastructures in the Digital Economy //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 5. – S. 46-79.

[28] Klimov A. A. i dr. BIM i inzhenernye formalizovannye ontologii na cifrovoj zheleznoj doroge Evropy v ob"edinenii EULYNX-jekonomika dannyh //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 8.

[29] Kuprijanovskij V. P. i dr. CIFROVYE DVOJNIKI NA BAZE RAZVITIJa TEHNOLOGIJ BIM, SVJaZANNYE ONTOLOGIJaMI, 5G, IOT I SMEShANNOJ REAL"NOST"Ju DLJa ISPOL"ZOVANIJa V INFRASTRUKTURNYH PROEKTAH I IFRABIM //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 3.

[30] Implementation of Building Information Modeling (BIM) in the Infrastructure Division of Deutsche Bahn AG, Deutsche Bahn AG 2019 https://www.deutschebahn.com/resource/blob/4114234/f17c34068 2cd9e8f6bfe3faae86e0f52/BIM-Strategy-Deutsche-Bahn-en-data.pdf

[31] Rail BIM Roadmap 2030 Yonsei University 2018 http://big.yonsei.ac.kr/railbim/reports/RailBIM2030Roadmap_Full _Eng_Final.pdf interaktivnoe predstavlenie rezul'tata http://big.yonsei.ac.kr/railbim/

[32] Digital Construction https://www.deutschebahn.com/en/Digitalization/technology/innovations/digiatalesbauen-3520304

[33] The Rail BIM 2030 Roadmap Project https://www.gim-international.com/content/article/the-rail-bim-2030-roadmap-project

[34] CRBIM1002－2015 Railway BIM Data Standard （Version 1.0）,Issued on: 2015-12-29 Implemented on: 2016-01-01, China Railway BIM Alliance, https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2017/09/bSI-SPEC-Rail.pdf

[35] China greenlights first underwater high-speed railway https://europeansting.com/2018/12/17/china-greenlights-first-underwater-high-speed-railway/

[36] Lawrence, Martha B.; Bullock, Richard G.; Liu, Ziming. 2019. China's High-Speed Rail Development (English). International Development in Focus. Washington, D.C. : World Bank Group. http://documents.worldbank.org/curated/en/933411559841476316/Chinas-High-Speed-Rail-Development

[37] Special Report A European high-speed rail network: not a reality but an ineffective patchwork. EUROPEAN COURT OF AUDITORS. © European Union, 2018 https://www.eca.europa.eu/en/Pages/DocItem.aspx?did=46398

[38] Chinese firm offers to build HS2 and save ‘tens of billions’ https://www.building.co.uk/news/chinese-firm-offers-to-build-hs2-and-save-tens-of-billions/5104268.article

[39] Lazutkina V. et al. Ontologies of big data, machine learning, and artificial intelligence on the digital railroad //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – T. 7. – #. 5. – S. 75-88.

[40] Study on the Business Case of the Rail Baltica Project and Setting up a Rail Baltica Business Network in Finland, Estonia, Latvia, Lithuania and Poland © European Union, 2019

[41] Pokusaev O. et al. Europe's digital railway-from ERTMS to artificial intelligence //International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – T. 7. – #. 7. – S. 90-119.

[42] Rail Baltica Infrastructure Management Study Final Report RB Rail AS 28th February 2019

[43] How Geospatial Data Supports a Digital Railway Project https://www.gim-international.com/content/article/how-geospatial-data-supports-a-digital-railway-project tak-zhe http://www.railbaltica.org/digital-rail-baltica-is-on-its-way/

[44] 10 Benefits from the Rail Baltica Project Implementation http://www.railbaltica.org/benefits/

[45] Sokolov I. A. i dr. Vozmozhnosti razvitija cifrovoj zheleznoj dorogi, kak bazy mul'timodal'noj transportnoj sistemy umnyh gorodov v uslovijah cifrovoj jekonomiki //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 12.