

## Когнитивно-информационные технологии в цифровой экономике

УДК 625.1

DOI 10.25559/SITITO.2017.3.546

**Куприяновский В.П.<sup>1</sup>, Аленьков В.В.<sup>2</sup>, Климов А.А.<sup>3</sup>, Соколов И.А.<sup>4</sup>, Зажигалкин А.В.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Национальный центр компетенций в области цифровой экономики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Госкорпорация «Росатом»; Акционерное общество Инжиниринговая компания «АСЭ», г. Москва, Россия

<sup>3</sup> Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Россия

<sup>4</sup> Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва, Россия

<sup>5</sup> ОАО «Российские железные дороги», г. Москва, Россия

### ЦИФРОВАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА – ERTMS, BIM, GIS, PLM И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ

#### Аннотация

*Настоящая статья посвящена разработке цифровой железной дороги и различным технологиям, которые применяются в этом процессе. В последние годы железнодорожные перевозки во многих странах увеличились более в несколько раз, что привело к потребности в решении проблемы того, как железнодорожный транспорт будет справляться с растущим спросом. Понимание потребностей тех, кто перемещает товары, а также потребностей людей, использующих систему железных дорог, будет иметь ключевое значение для эффективной оптимизации пропускной способности железной дороги. Правительству и железнодорожной отрасли необходимо лучше понимать потребности будущих пользователей железнодорожного транспорта и отражать эти потребности в рамках политики отрасли, в рамках контрактов и системы ключевых показателей эффективности так, чтобы отрасль обеспечивала железнодорожную систему, совместимую с возникающим спросом и потребностями завтрашних железнодорожных пользователей. В работе рассматриваются следующие технологии: цифровой контроль и управление поездами (ERTMS), обеспечение запуска большего количества поездов, обновление сигнальной системы, общие вопросы автоматизации на железной дороге. Реализация и эксплуатация такого рода систем невозможна без информационного моделирования. Соответственно, рассмотрение вопросов, связанных с применением BIM для цифровой железной дороги занимает большое место в статье. Мы рассматриваем преимущества интеграции BIM и PLM, развитие стандартов BIM, стандарты для инфраструктур и использование IFC, работу организации buildingSMART. Во второй части работы речь идет об управлении жизненным циклом продукта в производстве, цифровых двойниках и согласовании цифровых моделей.*

#### Ключевые слова

*Цифровая железная дорога; ERTMS; BIM; IFC; PLM; buildingSmart.*

**Kupriyanovsky V.P.<sup>1</sup>, Alenkov V.V.<sup>2</sup>, Klimov A.A.<sup>3</sup>, Sokolov I.A.<sup>4</sup>, Zazhigalkin A.V.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> National Competence Center for Digital Economy, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Rosatom State Atomic Energy Corporation, Moscow, ASE Joint Stock Engineering Company, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Russian University of Transport (RUT-MIIT), Moscow, Russia

<sup>4</sup> Federal Research Center «Information and Management» of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>5</sup> JSC Russian Railways, Moscow, Russia

### DIGITAL RAILWAY -ERTMS, BIM, GIS, PLM AND DIGITAL TWINS

#### Abstract

*This article is devoted to the development of the digital railway and the various technologies that are used in this process. In recent years, rail transport in many countries has increased more than several times, which has led to the need to address the problem of how rail transport will cope with the*

*growing demand. Understanding the needs of those who move goods, as well as the needs of people using the railroad system, will be the key to effectively optimizing the carrying capacity of the railway. The government and the railway industry need to better understand the needs of future railway users and reflect these needs within the sector's policies, contracts and a system of key performance indicators so that the industry provides a railway system that is compatible with the emerging demand and needs of tomorrow's railway users. The following technologies are considered in the work: digital monitoring and control of trains (ERTMS), provision of a launch of more trains, updating of the signal system, general issues of automation on the railroad. The implementation and operation of such systems are impossible without information modeling. Accordingly, consideration of issues related to the application of BIM for the digital railway takes a large place in the article. We are considering the benefits of BIM and PLM integration, the development of BIM standards, the standards for infrastructures and the use of IFC, the work of buildingSMART. In the second part of the paper, we are talking about managing the life cycle of a product in production, digital duplicates and the coordination of digital models.*

### Keywords

*Digital railway; ERTMS; BIM; IFC; PLM; buildingSmart.*

## 1 Введение

Железнодорожные перевозки долгое время были основой путешествий во всем мире. Будучи самой старой системой в мире, железные дороги должны были развиваться с постоянно растущими потребностями перевозки населения и грузов. В последние десять лет железнодорожные перевозки и железнодорожные перевозки во многих странах увеличились более чем в два раза, возникла значительная потребность в решении проблемы того, как железнодорожный транспорт будет справляться с растущим спросом.

Новая эра «Интеллектуальная мобильность», более умная, более экологичное и более энергоэффективное движение людей и товаров, призвал транспортную отрасль рассмотреть новаторские способы решения постоянно растущей проблемы потенциала в рамках всей нашей транспортной системы. Новая эра должна будет принять более подходы, основанные на человеческих факторах, к проектированию на железнодорожном транспорте, что является сдвигом от более традиционной технологии или сфокусированного внимания.

Понимание потребностей тех, кто перемещает товары и потребностей людей, использующих систему железных дорог, будет иметь ключевое значение для эффективной оптимизации пропускной способности железной дороги. Правительству и железнодорожной отрасли необходимо реализовать возможность лучше понять потребности будущих пользователей железнодорожного транспорта и внедрить эти потребности в рамках политики отрасли, в рамках контрактов, а затем измерения доставки с помощью ключевых показателей эффективности, чтобы отрасль обеспечивала

железнодорожную систему, совместимую с возникающим спросом и потребностями завтрашних железнодорожных пользователей.

Рассматривая железную дорогу как «целую систему», необходимо понять, как учитывать спрос и предложение транспорта для пользователей. Так как это является ключевым для любого решения, которое пытается решить проблемы внутри транспортной сети должна думать о целостной системе, в которой путешествуют люди и перемещаются товары. Более быстрые поезда с большим количеством вагонов большей длины будут эффективны только в том случае, если инфраструктура может их поддерживать, а также платформы и станции, способные справляться с объемами людей, которые войдут и выйдут и с перемещаемыми грузами.

Как Россия может добиться ступенчатого изменения всей системы железнодорожной системы как для безусловного удовлетворения внутренних потребностей, так и для обеспечения выгодного транзита через свою территорию в условиях начавшегося перехода к цифровой экономике? Железнодорожная отрасль – это та часть экономики, в которой экспериментальные инновации, которые могут происходить все чаще, и они должны быть опробованы с учетом богатства ценной информации для будущих лиц, принимающих решения, которые могут помочь создать железную дорогу с высокой пропускной способностью и падающей ценой на перевозку, которые сегодня уже создаются в Европе, Китае и во многих странах. Эти решения состоят из набора инноваций и сегодня называются – «цифровой железной дорогой».

Инновации по своей природе подвержены

риску, но принимая это как часть процесса изучения новых подходов и сбор и использование информации, которая исходит от опробования новых подходов, поможет нам в построении уверенности в том, что вы принимаете расчетные риски при выполнении инновационных решений. Нынешние тенденции в отношении приоритетов пользователей железных дорог направляются на необходимость более реалистичного уровня пропускной способности системы, информации в режиме реального времени для облегчения выбора поездок, увеличения объема розничной торговли и продуктов.

Возрастающий спрос на железнодорожные перевозки создает значительную нагрузку на систему, которая обладает ограниченными возможностями. В результате влияние на уровень переполнения многих услуг в наших городах не дает положительного опыта, который пассажиры и владельцы грузов все чаще ожидают в обмен на уровень тарифов, которые они платят. Существует необходимость в действиях. В долгосрочной перспективе, железнодорожная промышленность не может предположить, что спрос на пассажиров будет продолжаться расти, поскольку новые транспортные альтернативы выходят на рынок, которые предлагают лучший опыт. Наша железнодорожная инфраструктура и операции на ней большие, сложные и, во многих областях, старые. Улучшение потенциала грузоперевозок (в том числе транзитных) и опыта пассажиров потребует инноваций; Для этого потребуются некоторые предположения и изменения в текущем мышлении, которые будут оспариваться и переосмысливаться. Эта статья является призывом к действию и идентифицирует некоторые из основных областей, где новое мышление может оказать влияние.

Повышение производительности требует лидерства и видения в отрасли. Необходимо сосредоточить внимание на ресурсах и возможностях. Для этого требуется новое, форвардное мышление, которое должно обеспечивать политику, когда пассажир и груз находится на переднем крае деятельности железной дороги.

Существует ряд структурных и организационных проблем для обеспечения большей пропускной способности. Нет более сложной, чем коммерческая и контрактная структура, которая проходит между ОАО РЖД и железнодорожными операторами поездов.

Операторам нужны новые стимулы и вознаграждения за улучшение потенциала. Должны быть установлены лучшие показатели для потенциала и уровней скученности, которые встроены в контракты. Затем их следует контролировать и применять. Эти рамки должны учитывать, что инновационное мышление и планирование бессмысленно, если только оно не предоставляется, то, в чем операторы поездов нуждаются и в правильных структурах для обеспечения этого.

В основе проблемы пропускной способности лежит вопрос о том, что пассажиры и грузовладельцы хотят получить и что отрасль в состоянии обеспечить. В настоящее время отраслевая политика укрепляет ожидания пассажиров и грузовладельцев, в чтобы они могли с комфортом перемещаться и получать услуги. Это ожидание также сильно зависит от стоимости и цены на железнодорожные билеты и транспортные услуги. Часть более короткого решения может включать в себя то, как сделать положение более привлекательным для пассажиров и грузовладельцев с помощью более динамичных моделей ценообразования путем использования поездов для более удобного их использования и других рычагов, которые могут повлиять на поведение пассажиров. Стратегическое описание пассажирского опыта должно быть лучше определено и определено по всей отрасли что нужно им и операторам грузов. Это должно быть больше, чем просто сказать «это будет лучше».

Гибкость, немедленная обратная связь системы и компенсация, когда уровень обслуживания падает ниже допустимых уровней. Невозможно думать, что отрасль сможет удовлетворить «все вещи для всех людей и грузов», но, понимая потребности пользователей и оценивая их в приоритетном порядке, можно будет улучшить использование пропускной способности железной дороги. Для российских железных дорог, по нашему мнению, это имеет особое значение.

В 2017 году Roland Berger [10] провел обследование ведущих железных дорог мира для определения сегментов имеющих наибольший потенциал для внедрения цифровых технологий и обобщенные результаты этого обследования приведены на рисунке 1. Мы постараемся этим приоритетам следовать с безусловным приоритетом этого рассмотрения в рамках решений Президента РФ [5,6,7] и учетом возможных выгод, изложенных в [13,16,17,18.19,20,21,22,23,24].

Segments with the highest potential for digitization



Рисунок 1. Приоритетность задач на цифровой железной дороге (источник [10])

## 2 Цифровой контроль и управление поездами – ERTMS

### 2.1 ФОРМИРОВАНИЕ НОВОЙ ЕМКОСТИ

Получение большего из того, что у нас есть, – это очевидный подход, учитывая потенциальные затраты и время, необходимые для добавления новых мощностей или пропускной способности на железной дороге. Однако все механизмы эффективности, вероятно, не смогут идти в ногу со спросом в долгосрочной перспективе. Таким образом, необходимо добавить больше возможностей во все части системы. При любом обсуждении потенциального решения необходимо учитывать тот уровень воздействия, который он может оказать, стоимость и время, которое потребуется для его реализации. Нужен ряд решений, которые вписываются в разные части этого уравнения. Чтобы удовлетворить спрос, мы не можем ждать решений, которые могут привести к шагу изменения мощности, если потребуются многие годы для реализации. Мы нуждаемся в них, но их нужно дополнять другими решениями, которые могут не предоставлять одинаковый уровень изменений, но могут иметь последствия раньше. К сожалению, ОАО РЖД уже давно не является мировым лидером в области адаптации, модификации и расширения существующей инфраструктуры: для этого требуются простые изменения показателей и сравнение с другими железными дорогами. Поэтому мы решили сконцентрироваться на том, что уже имеет успешные реализации, которые становятся признанными стандартами.

### 2.2 Запуск большего количества поездов

Выполнение маршрутов большего количества поездов на существующей инфраструктуре является продуктом работы

поезда, оптимизации режимов ускорения и торможения, а также в значительной степени перевода на цифру систем сигнализации и контроля движения. Эти преобразования должны быть совместимы и органично вписываться в существующую систему.

Очень важна и синхронизация этих преобразований с соседними железнодорожными системами Европы и Азии. Опыт железнодорожников России, Европы и Азии показывает, что для таких новых преобразованных линий поезда должны быть спроектированы и приобретены, что требует значительного времени и инвестиций, а также синхронизации с изменениями в инфраструктуре. В этих изменениях надо сосредоточиться на таких элементах, как размер кривой торможения, наряду с изменениями инфраструктуры, чтобы помочь торможению и ускорению, и другим аспектам, которые могли бы помочь увеличить пропускную способность.

Один из главных подходов состоит в том, чтобы попытаться уменьшить расстояние между идущими поездами, что возможно при адаптации европейской системы ERTMS, фактически уже ставшей стандартом Европы и Азии и ядром концепции «цифровой железной дороги» [13,16,17,18,19,20,21,22,23,24]. Возможно, самым интересным было бы продолжение и развитие цифровой железной дороги, основанное на «рисках», которое бы более динамично смотрело на остановку поездов на основе фактической скорости, текущей нагрузки, а также характеристик торможения. Что касается новой пропускной способности за счет цифровых технологий, это означает добавление новых услуг, которые, вероятно, нуждаются в новой инфраструктуре или запуске большего количества поездов на существующих и точно перестроенных железнодорожных линиях.

Железные дороги будущего будут

характеризоваться современными компьютерными технологиями. Введение серии компьютеризированных систем изменит способы, которыми железные дороги работают, поддерживают и развивают свои железнодорожные линии. Целью этой основной цифровой железнодорожной инициативы является обеспечение того, чтобы железнодорожная инфраструктура всегда доступна и находилась в хорошем состоянии. Для пассажиров и грузовой промышленности это означает больше поездов с повышенной пунктуальностью. Это также означает улучшение и настройку информации о дорожном движении и улучшения поездок по железной дороге. Внедрение компьютеризированной системы управления и сигнализации ERTMS является крупнейшим проектом по оцифровке на транспорте в ЕС на 9 главных европейских железнодорожных коридорах и во многих странах таких как например Норвегия и Великобритания считается сегодня самым большим цифровым проектом этих стран. ERTMS будет модернизировать способ управления железнодорожным транспортом. Более обширная автоматизация, мониторинг всех поездов через мобильные сети и интеллектуальные системы для устранения несоответствий – это лишь некоторые из преимуществ ERTMS. Инфраструктура сигнализации также будет легче поддерживать и развивать. ERTMS уже используется на многих линиях Европы и Китая несколько лет.

ERTMS в переводе означает европейская система Управлением железнодорожным движением, система совместной сигнализации и управления для железных дорог в Европе. Каждая страна ЕС имеет план привязки для развертывания ERTMS, который поддерживается со стороны властей помимо общих 9 коридоров создание которых финансируется централизованно ЕС. Но существуют и собственные планы государств по развертыванию ERTMS целиком на всю железнодорожную сеть. Так, целью нового оператора железных дорог Норвегии, созданного на месте прежнего специально для создания цифровой железной дороги страны в 2016 году, Vane NOR является обновить свои сигнальные системы на базе ERTMS на всех железнодорожных линиях к 2030 году с одновременной заменой всего подвижного состава [49].

Новая система сигнализации ERTMS будет модернизировать планирование и управление железнодорожного движения. Будет больше поездов с повышенной пунктуальностью и

железнодорожные путешествия будут улучшены.

Приведем цитату из [48], название которой буквально переводится как «ЕВРОПЕЙСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА (ERTMS) ПЛАН ДЕЙСТВИЙ И РАЗВЕРТЫВАНИЯ»:

«1. Введение ERTMS – крупная промышленная программа для согласования системы автоматического управления и связи поездов, которая призвана обеспечить интероперабельность всей железнодорожной системы в Европе. Поскольку различия между большим разнообразием национальных систем контроля поездов является единственным важнейшим барьером для взаимодействия европейской железнодорожной системы, развертывание ERTMS будет обеспечивать основу для цифровой, подключенной Единой европейской железнодорожной зоны. ERTMS также будет ключевым фактором позволяющим эффективно внедрять инновационные технологии. В последние годы были предприняты важные шаги для решения основных вопросов, связанных с достижением совместимой железнодорожной системы, в том числе:

Четвертый пакет железных дорог: технический столп четвертого пакета железных дорог вводит важные изменения в отношении ERTMS. Он усиливает роль Европейского агентства по железным дорогам (ERA) в части полномочий системы ERTMS для поддержания, контроля и управления соответствующей подсистемой требований, включая технические спецификации для Европейской системы управления поездами (ETCS) и глобальной системой мобильной связи – железной дороги (GSM-R). Он также переносит задачи, которые сегодня осуществляются национальными органами безопасности для ERA в отношении разрешений на подвижной состав (в том числе на бортовые системы поездов ERTMS) и сертификаты безопасности для предприятий железной дороги. Наконец, новый процесс был введен Четвертым пакетом железных дорог, касающимся предварительного одобрения ERA для систем устанавливаемых вдоль железнодорожного полотна.

Реализация. Набор мер, введенных Четвертым пакетом железных дорог, приведет к усилению совместимости и интероперабельности между подсистемами на борту и железнодорожными путями.

Стабильность спецификации: стабильность спецификации часто упоминается как наиболее критический элемент для широкомасштабного

развертывания. Эволюция спецификаций была обусловлена запросами пользователей вводить новые функции и необходимостью исправлять ошибки. Большинство действующих систем сегодня основаны на спецификации Baseline 2 (версия 2.3.0d, юридическая с 2008 года). Спецификации базового уровня 3 разработаны для включения опыта из В2, включают новые функции и введения механизма (System Version Management), чтобы обеспечить сохранение будущих надстроек и совместимость. В июне 2016 года Комиссия утвердила новую техническую спецификацию на совместимость и интероперабельность, который дает юридический статус спецификации ERTMS, которая считается функционально полной и что они должны оставаться стабильными в ближайшие годы. Принятие этого правила стало важной вехой в разработке спецификации и прорывным для программы ERTMS...Европейский план развертывания ERTMS (EDP): 5 января 2017 года Европейская комиссия приняла исполнительное постановление о новом EDP ERTMS (Регламент Комиссии (ЕС)2017/6). Он устанавливает целевые даты до 2023 года, по которым около 30-40% основных сетевых коридоров будут оборудованы. В 2023 году ERTMS EDP будет снова обновляться с указанием точных дат реализации для оставшейся части коридоров между 2024 и 2030 годами...В конце 2017 года на основных сетевых коридорах будут задействованы почти 4,500 километров линий сегодня почти 7000 единиц подвижного состава оборудованы или заключены контракты с ETCS в ЕС, значительная часть которых была поддержана финансированием ЕС. Почти все итальянские и испанские высокоскоростные сети контролируются и защищаются ERTMS; также, как и значительная часть швейцарских, голландских и бельгийских сетей. Поезда работают на коммерческой службе со скоростью 300 км/ч с ETCS. ETCS контролирует грузовые поезда на обычных линиях и выделенных маршрутах (например, линия Betuwe). Самый длинный альпийский туннель работает исключительно с ERTMS. Система работает в пригородных линиях с пригородным трафиком (например, в Мадриде). Рассматривая долгосрочную перспективу, ERTMS / ETCS Baseline 3 является программным, а ее дизайн включает в себя возможность эволюции. Инновационные решения появятся на рынке в ближайшие годы и спецификации ERTMS / ETCS должны позволить подключать инновационные решения (модульный подход), и особенно тех, которые были реализованы в результате

исследований и инноваций в рамках совместного проекта Rail Shift 2 (S2RJU). Интеграция инновационных решений в систему должна быть максимально гладкой, позволяя системам с разной производительностью и возможностями работать в одной базовой инфраструктуре, соответствующей базовой линии 3...После более чем двухлетней консультации и интенсивного обмена мнениями с государствами-членами, менеджеров инфраструктуры и других заинтересованных сторон был рассмотрен Европейский план развертывания (EDP) имеющий реалистичные целевые сроки в январе 2017 года. Цель этого EDP заключается в обеспечении большей ясности в отношении развертывания и обеспечения того, чтобы локомотивы, оборудованные ERTMS, могли иметь доступ к оборудованным линиям ERTMS...Поэтому очень важно, чтобы оборудование локомотивов проходило параллельно с оборудованием на стороне путей в порядке для достижения полной выгоды от взаимодействия. Теперь акцент делается на государства-члены и инфраструктуру руководителей, осуществляющих своевременную реализацию EDP с основной целью, что базовый уровень 3 оборудованные локомотивы могут работать на этих линиях...Недавно принятый EDP ERTMS имеет сроки внедрения на основных сетевых коридорах (CNC) на 2023 год. Он также предусматривает, что процедура рассмотрения должна быть проведена к 2023 году (скорее всего, в 2021/22 году) с целью определения сроков реализации оставшихся секций CNC, которые будут реализованы между 2023 и 2030 годами...Новый элемент EDP – это поиск технических решений для трансграничных переходов. Соглашения между затронутыми IM должны быть подписаны для трансграничных переходов с разными датами реализации, так что за год до самой ранней даты реализации будет достигнуто соглашение о техническом решении переходного периода. Трансграничные переходы – это не только эффективный инструмент для идентификации любого из оставшихся барьеров для взаимодействия; они также допускают любые процедурные вопросы, связанные с разрешением вопросов бортовых систем. Трансграничные секции будут завершены к 2023 году.» Конечно, цифровая железная дорога – это не только ERTMS, но ее основа. Исследования о других решениях дополняющих решениях интенсивно ведутся везде в мире. Та в ЕС их можно посмотреть по адресу – [www.smartrail-project.eu](http://www.smartrail-project.eu)

С ERTMS сигнальные лампы будут заменены

компьютерами на борту поездов. Поезда будут общаться через собственную железнодорожную коммуникационную сеть GSM-R или LTE-R. Железные дороги уже используют многие компьютеризированные решения. Многие задачи касающиеся распределения маршрутов, обслуживания и информация о клиенте в настоящее время выполнены с использованием ПК, смартфонов или планшетов. Датчики вдоль маршрутов поездов вызывают предупреждения, когда требуется инфраструктуре железной дороги для осмотра.

Необходимо постоянно следить за состоянием своих железных дорог с помощью датчиков и контроля энергопотребления отслеживать состояние компонентов в железнодорожных системах. Это позволяет устранять технические неполадки до того, как они влияют на железнодорожные услуги. Такие системы уже используются на нескольких железнодорожных линиях, но их масштабное развертывание например на базе интернета вещей сегодня осуществляется только на базе локальных радиосетей типа WI-FI проводных решений так как в GSM-R не хватает пропускной способности и такая возможность может появиться в более широком масштабе с переходом к LTE-R [50] и далее к 5G у начало перехода к которому планируется на 2020 год [28].

Такое обслуживание станет стандартом для многих железнодорожных сетей буквально через несколько лет. Его часто называют «умным обслуживанием», потому что оно позволяет оставаться на шаг впереди, как правило, это довольно умная вещь, которую нужно сделать привычной. Цифровые инициативы способствуют более эффективному использованию существующих ресурсов и опыта специалистов в ряде областей, обеспечивая лучшую железную дорогу и эффективность вложенных денег. Эффекты цифровой железной дороги становятся сегодня все более очевидными в трех областях:

### 2.3 Обновление сигнальной системы

Это обновление включает введение систем ERTMS и GSM-R (или LTE-R) и создание целого ряда систем для их функционирования [50] таких как:

- Контроль состояния;
- Мониторинг состояния железной дороги

дают возможность исправить технические неисправности, которые могут привести к задержке обслуживания. Контроль потребляемой мощности и датчики, например, обеспечивают оповещения, когда железная

дорога нуждается в проверке или ремонте;

- ИКТ-безопасность.

Цифровая железная дорога – уязвимая железная дорога. Требуется тщательно контролировать потенциальные угрозы в мире, все более компьютеризированном. Мы должны защищать железнодорожную инфраструктуру от преднамеренных действий, которые могут нанести вред железнодорожным услугам, людям или активам.

### 2.4 Автоматизация на железной дороге

Вероятно, автоматизация мобильности является наиболее значимым фактором, который может повлиять на транспорт в ближайшие десятилетия. Автоматизация управления поездами также строится как этап развития ERTMS. Автоматизированные поезда широко распространены в транспортных системах мегагородов по всему миру. Автоматизированные поезда использовались в течение последних 50 лет. Первый пример был в Лондоне на подземной линии метро имени Виктории.

Сегодня даже в Австралии [2,3] уже есть два примера автоматических поездов, действующих в течение пяти лет. Первый – это Сиднейский метрополитен, полностью автоматизированная система метрополитена, работающая в закрытой сети. По завершении работ на нем, линии будет выполнять поездки поезда каждые четыре минуты во время пикового времени. Другим примером является железнодорожная система горнорудной компании RioTinto «AutoHaul» в Пилбаре, Западная Австралия. Эта автоматическая железнодорожная система все еще находится в оперативном тестировании, но она первый пример автоматизированной тяжелой железнодорожной системы в мире.

Существуют различные способы классификации уровней автоматизации поездов. Из нормативных и с точки зрения безопасности, было бы проще описать такие поезда как:

- частично автоматизированный, с системами, которые помогают машинисту тормозить или ускоряться
- полуавтоматический, с машинистом, только начинает движение поезда, или
- без машиниста, где поезд контролируется извне и (опционально) путем обслуживающего его персонала, который способен вмешиваться в чрезвычайных ситуациях и следить за его движением.

Производители железнодорожного подвижного состава и локомотивов постепенно внедряют автоматизированное управление вождения в их транспортных средствах.

Автоматизированные транспортные средства имеют некоторый уровень системы автоматизации, для которой не требуется человек-машинист, по крайней мере, для части задач вождения. Опять же, там это разные способы классификации различных уровней автоматизации транспортных средств, практически все они сегодня рассматриваются как этапы развития ERTMS и частично имеют признанные системы стандартизации [48]. Отметим что для того чтобы такое развитие случилось в рамках ERTMS необходимо провести изменения в поездах и инфраструктуре железных дорог, а не только в программах и компьютерах.

Именно поэтому в настоящее время транспортные регуляторы ведущих стран проводят исследования по изучению нормативных барьеров для более широкого использования автоматизированных транспортных средств [3]. Дополнительная информация о нормативных барьерах для автомобильных и железнодорожных транспортных средствах и различных классификационных схем, например, Австралии, можно найти по адресу: <http://www.ntc.gov.au/current-projects/preparing-for-more-automated-road-and-rail-vehicles>.

### 3. Инфраструктура цифровой железной дороги – цифровая инженерия и BIM

Сегодня как никогда надо стремиться к внедрению комплексных цифровых технологий [5,6,11,12,15,18,22,23,24,25,26,27,28,29,30], а для железнодорожной промышленности наиболее подходящим нам представляется для этого цифровая инженерия (Digital Engineering) и полностью поддерживает совместный рабочий подход к проектированию, строительству, эксплуатации и управлению полным комплексом транспортной инфраструктуры и движимых объектов (локомотивов и подвижного состава). Транспортники и основные заказчики движимых объектов работают с поставщиками министерствами, ведомствами и регуляторами для достижения преимуществ интегрированной инфраструктуры движимых объектов в плане внедрения цифровой инженерии (Digital Engineering) [13].

Цифровая инженерная система, включающая производственные возможности (PLM) и строительные технологии (BIM), представляет собой комплексный подход, включающий создание и управление активами транспортной инфраструктуры с использованием трехмерных цифровых представлений их физических и

функциональных характеристик. Digital Engineering включает в себя внедрение технологий, процессов и систем PLM и BIM на протяжении всего жизненного цикла приобретения, управления и эксплуатации инфраструктуры и движимых объектов.

Digital Engineering предоставит интегрированный набор геометрических моделей, данных и документации, которые строят в течение всего жизненного цикла проекта, чтобы охватить все знания, связанные с этим активом. Понятно, что это дает много преимуществ: повышенная предсказуемость результатов проекта (с точки зрения безопасности, дизайна, стоимости, программы и качества), а также способность управлять рынком и увеличивать проникновение наших ключевых секторов и клиентов с улучшенной репутацией. Преимущества не только внутренние. Информационное моделирование зданий (BIM) и Digital Engineering предоставляют клиентам необходимую информацию для эффективной закупки, эксплуатации и максимизации стоимости своих активов на протяжении всей их жизни. У клиентов также будет повышенная уверенность в возможностях, поскольку это демонстрирует понимание сложного процесса сборки и связанных с ним рисков.

BIM, как и PLM – это процесс создания наборов цифровых данных, состоящих из графических (3D-моделей) и неграфической информации (документов) в общем цифровом пространстве, называемом общей средой данных (CDE).

Неграфическая информация тесно связана с графической 3D-моделью. Когда вы исследуете и вызываете разные части 3D-представления, вы сможете получить доступ к информации об этом. Например, вызов типа объекта может предоставить вам информацию о его типе материала, количестве, стоимости и пространственном местоположении, и это достаточно просто чтобы назвать несколько атрибутов, которые могут быть назначены объекту. Все это известно, как «набор данных» или «информационная модель».

Основной принцип заключается в том, что BIM и PLM не являются ни одним актом или одним процессом. Они не создают 3D-модель отдельно от других элементов или используют только компьютерный дизайн. Они позволяют осознать информационные потребности других, поскольку каждый выполняет свою часть процесса и для успешности общей работы необходима информационная интеграция.

Например, модель BIM может содержать

информацию / данные о дизайне, строительстве, логистике, эксплуатации, обслуживании, бюджетах, графиках и многом другом. Информация, содержащаяся в BIM, обеспечивает более богатый анализ, чем традиционные нецифровые или другие цифровые процессы. Информация, созданная на одном этапе, может быть передана следующей для дальнейшей разработки и повторного использования.

BIM также может иметь разные формы (или уровни зрелости). На самом базовом уровне различные формы BIM могут быть описаны следующим образом:

- **Уровень 0 BIM**

В своей простейшей форме уровень 0 эффективно означает отсутствие сотрудничества. Используется только 2D-чертежи САПР, главным образом для информации о строительстве. Выход и распределение осуществляется через бумажные или электронные файлы, или их смесь. Уровень 0 – это фактически неуправляемый САПР, как правило, 2D, с обменом бумажными (или «электронными чернилами») между участниками. Большая часть промышленности уже намного опережает это сейчас.

- **Уровень 1 BIM**

Это обычно включает в себя смесь 3D CAD для концептуальной работы и 2D для составления документации официального утверждения и информации о конструкции. Стандарты САПР управляются, а электронный обмен данными осуществляется, часто управляемый подрядчиком. Это уровень, на котором в настоящее время работают многие организации, хотя существует ограниченное сотрудничество между различными дисциплинами – каждый из них публикует и сохраняет свои собственные данные. Уровень 1 это управляемый САПР в 2D или 3D с использованием специального стандарта с общей средой данных, но автономное управление коммерческой информацией.

- **Уровень 2 BIM**

Это отличает совместная работа – все стороны используют свои собственные 3D-модели CAD, но не обязательно работают над единой общей моделью. Сотрудничество происходит в форме обмена информацией между разными сторонами – и это важный аспект этого уровня. Информация о дизайне делится через общий формат файла, который позволяет любой организации иметь возможность объединить эти данные со своими собственными, чтобы создать федеративную модель BIM и провести на ней опросные проверки. Следовательно, любое программное обеспечение САПР, используемое

каждой стороной, должно быть способно экспортировать в один из распространенных форматов файлов, таких как IFC (класс отраслевых фондов) или COBie (обмен информацией об операциях по строительным операциям часто IFC). Уровень 2 это управляемая трехмерная среда с использованием отдельных инструментов дисциплины «BIM» с прикрепленными данными и интеграции коммерческих данных.

- **Уровень 3 BIM**

В настоящее время рассматривается как принципиально новый уровень строительства, он представляет собой полное сотрудничество между всеми дисциплинами посредством использования единой модели совместного проекта, которая хранится в централизованном хранилище. Все стороны могут получить доступ и изменить эту же модель, и преимущество в том, что она устраняет окончательный уровень риска для противоречивой информации. Уровень 3 это BIM или интегрированный BIM, потенциально доступный для всех доступных форм данных, добавление ценности в эксплуатацию и поддержка открытых стандартов. Именно на 3 уровне начинается интеграция BIM и PLM.

Это называется «Open BIM». Нынешняя нервозность в отрасли вокруг таких вопросов, как правовой статус проектной модели для строительства в России (например, привязка, информационный, справочный, повторное использование), должна быть решена.

### 3.1 Преимущества интеграции BIM и PLM

BIM и PLM обеспечивают преимущества на протяжении всего жизненного цикла активов. Эти преимущества улучшаются, когда процесс рассматривается как единое целое, и требования к информации / данным координируются. Их можно суммировать как ([3] – собственно транспортники Австралии) :

**Преимущества: экономия средств, достигнутое через:**

- Улучшенный процесс проектирования
  - более четкие требования, указанные клиентом
  - расширенная идентификация обнаружения столкновения на этапе проектирования.
- Снижение стоимости строительства и производства:
  - повышение эффективности;
  - улучшенное планирование;
  - расширенная предварительная сборка;
  - сокращение доработки;
- Снижение затрат на эксплуатацию и обслуживание:
  - более эффективный дизайн;

- снижение требований к техобслуживанию;

- лучшее отслеживание технического обслуживания.

**Преимущество: Улучшение сбора данных / информации – Улучшение базы данных активов, достигнуто через:**

- Моделирование существующих условий:

- улучшение охвата специфических условий места строительства и условий производства;

- обеспечивает доступ к данным на любом этапе жизненного цикла проекта.

- Построенная модель реализации (доставки):

- улучшена информация базы данных управления активами.

**Преимущество: Меньшая доработка – сокращение трудозатрат за счет устранения ошибок / упущений / процессов**

Достигнуто через:

- Улучшенный процесс проектирования;

- обзоры дизайна и визуализация;

- скоординированный подход к разработке конкретной модели дисциплины.

- Снижение стоимости строительства и производства:

- улучшение координации проектов;

- улучшение планирования строительства и производства.

- Снижение затрат на эксплуатацию и обслуживание:

- доступ к улучшенной базе данных активов для операций по техническому обслуживанию.

**Преимущество: повышение производительности – сокращение человеко-часов для достижения результата**

Достигнуто через:

- Улучшенный процесс проектирования:

- сокращение потребностей в ресурсах для достижения проектных результатов;

- 3D-моделирование с обогащенной информацией об объекте / атрибуте.

- Снижение стоимости строительства и издержек производства:

- использование систем управления машинами для строительства и производства;

- оптимизация последовательности, методов и процессов построения.

- Снижение затрат на эксплуатацию и обслуживание:

- доступ к улучшенной базе данных активов для операций по техническому обслуживанию.

Бизнес-ценность BIM для инфраструктуры транспорта в 2017 опубликована в SmartMarket Report [8], который «анализирует результаты

исследования, охватывающего четыре страны (Соединенные Штаты, Великобритания, Франция и Германия), в основном ориентированные на использование BIM для проектов транспортной инфраструктуры и ту ценность (прибыль), которую он приносит. Исследование включает в себя более 300 респондентов, включая инженеров, подрядчиков и владельцев зданий, а анализ демонстрирует степень внедрения BIM в этом секторе бизнеса и преимущества проекта, которые являются результатом BIM, и факторы, которые будут влиять на тех, кто не использует BIM, чтобы побудить их начать делать это. В отчете также приводятся тематические исследования и тематические статьи, которые охватывают использование BIM в транспортных проектах, а также проекты в других секторах, таких как плотины, и для использования, которые выходят за рамки индивидуального жизненного цикла проекта, включая региональное планирование и управление активами."

Что бы быть проще ниже приведены рисунки насколько выгодно это для строительства по 4 странам за счет применения BIM. Ниже мы приводим перевод из [8]:

"Респонденты опроса работают над проектами в этих сегментах инфраструктуры. В отчете представлены проекты, которые иллюстрируют ценность (выгоду), получаемую от BIM, включая железнодорожные, аэропорты и интеллектуальные дороги. Другие статьи в отчете исследуют, как BIM имеет особую ценность для владельцев инфраструктуры, от того, как он может поддерживать строительство для управления активами уже после завершения строительства, включая тематическое исследование по амбициозному проекту по моделированию плотины Глен-Каньон."

Необходимо отметить что США, которые были первыми в BIM и у них 24% мирового рынка мировой строительной индустрии, BIM уже переходит в стадию цифрового строительства [51] т.е. новую технологическую фазу и великолепные темпы как всегда в начале. Великобритания уже завершает первую фазу применения BIM (она первая это сделала в ЕС). Германия и Франция в целом только начали работу с BIM по инфраструктурам и у них хорошие темпы, как у всех начинающих. Необходимо учесть, что это данные за общий период времени, а не по программам.

На рисунке 2 показаны самые большие выгоды по транспортным инфраструктурам от применения BIM и вполне естественно для главной из них – цифровой железной дороге. Тут

самые серьезные возможности и ожидания снижения стоимости у туннелей и мостов (примерно 26 % от стоимости активов любой железной дороги в среднем) и это 75 %, а на остальной железной дороге это – 45%. Заметим, что это данные по четырем очень серьезным железнодорожным странам: США, Германии, Великобритании и Франции.

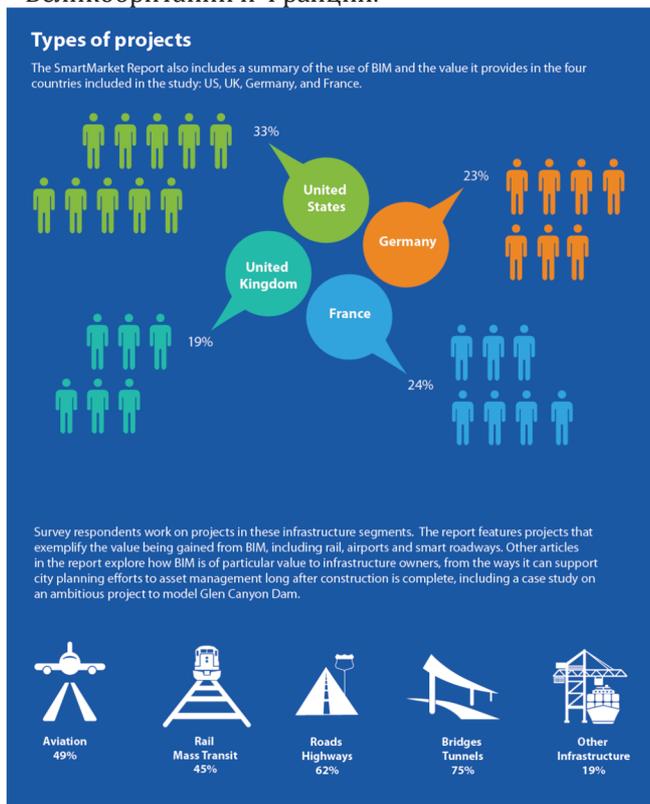


Рисунок 2. Типы проектов и ценность, получаемую от BIM, включая железнодорожные, аэропорты и интеллектуальные дороги

BIM не является статической технологией – значительные ресурсы используются для поддержки расширения BIM для включения инфраструктуры (все чаще именуемой Digital Engineering) и концепции PIM расширяют эту сферу охвата для моделирования до инфраструктур или городов. Пособие по преимуществам BIM, опубликованное EUBIM (EUBIM 2017[41]), целевая группа, созданная Европейским союзом, определила, что BIM – это «изменение, связанное с технологией, которое наиболее вероятно окажет наибольшее влияние на строительный сектор. Приз большой: если бы более широкое внедрение BIM по всей Европе обеспечило 10% экономии в строительном секторе, тогда на рынок 1,3 трлн евро будет создано еще 130 миллиардов евро. Даже это воздействие может быть небольшим по сравнению с потенциальными социальными и экологическими выгодами, которые могут быть

поставлены в повестку дня изменения климата и повышения эффективности использования ресурсов. Цель этого руководства состоит в том, чтобы достичь этой премии, поощряя более широкое внедрение BIM европейским государственным сектором в качестве стратегического фактора; и принять согласованные рамки для его внедрения в строительную среду и строительный сектор. Это выравнивание дает ясность и повторяемость для этих цифровых инноваций в Европе – уменьшая расхождение, непонимание и отходы. Это ускорит рост и повысит конкурентоспособность строительного сектора, особенно его малых и средних предприятий».

В процессе внедрения технологий и процессов BIM наблюдается быстрый рост интереса к линейной инфраструктурной области (в основном основным транспортным ведомствам, таким как автомобильные и железнодорожные). Это, очевидно, как на национальном, так и на международном уровне – особенно в Европейском союзе, где правительствам необходимо развивать инфраструктурные разработки, чтобы соответствовать принятию CEN стандартов открытого доступа IFC, – и заложила прочную повестку дня для разработки расширений IFC для поддержки моделирования жизненного цикла дорог, железных дорог, мостов и туннелей. Это все чаще упоминается как цифровая инженерия и является ключевым аспектом транспортных инфраструктурных проектов, таких как цифровая железная дорога.

### 3.2 Развитие стандартов данных BIM для инфраструктур и IFC

Прежде чем переходить собственно к теме BIM и IFC обратим внимание читателя на рисунок 3. На нем очень наглядно показана собственно распределение между данными и геометрией на этапах проектирования, строительства и обслуживания. Это принципиально важно для понимания IFC, который стал чрезвычайно успешным по тому что может воспринимать как геометрические, так и обычные данные и был задуман для обслуживания всего жизненного цикла. Адекватное управление информацией в этом цикле имеет жизненно важное значение для владельца дороги. Основываясь на информации о своей сети, владелец дороги может принять правильные решения в нужное время, чтобы свести к минимуму затраты на эксплуатацию, техническое обслуживание и строительство и реализовать максимальную производительность сетей инфраструктуры. Передача данных

из одной организации в другую или одного процесс в другую происходят постоянно; это занимает много времени и уязвимо для потери информации и ошибок. Следовательно, существует потребность в новых стандартах для информации и обмена информацией. Эти стандарты должны быть как на уровне данных, так и на уровне процесса.

Открытая технология BIM позволяет контролировать и транспортировать всю информацию от процесса к процессу, от фазы к фазе (даже в течение всего его жизненного цикла) и от организации до организации очень эффективным способом. Это становится все более важным, поскольку железнодорожники как многие транспортники России работают на международном рынке. BIM станет одним из важнейших факторов для этого цифрового перехода в строительном секторе. Строительные компании России также работают на международном и европейском уровне. В качестве предварительного условия объекты инфраструктуры должны использовать унифицированные описания инфраструктуры (один язык), одну уникальную схему классификации и подлежащую оцифровке закупке. На сегодняшний день эти стандарты BIM разрабатываются на национальном и международном уровне. Однако необходима синхронизация этого развития на российском уровне.

Естественно, что основное внимание в этой российской программе работы необходимо будет уделять информации о строительстве, развитии и поддержании инфраструктуры для железных дорог (и их окрестностей). Открытый BIM состоит из открытых стандартов обмена информацией и программного обеспечения для их использования (инструменты BIM). Важным аспектом является открытый характер. Открытые стандарты необходимы, чтобы избежать риска так называемого «заблокированного» поставщика. Это означает, что, используя открытый стандарт, клиент создает открытый рынок, где возможен обмен данными независимо от систем, используемых подрядчиками или клиентами. Это также означает стандарт, который будет устойчивым в будущем. Транспортные являются частью большого хозяйства страны и, как следствие, должны предоставлять информацию другим заинтересованным сторонам. Очевидно, что эти заинтересованные стороны будут находиться на другом этапе внедрения BIM и его стандартов.

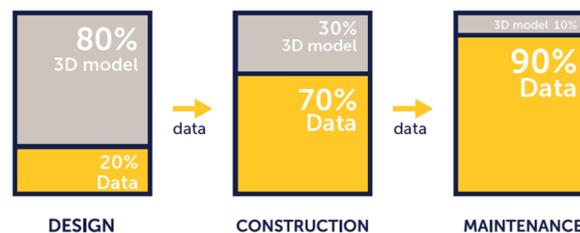


Рисунок 3. Распределение между данными и геометрией на этапах проектирования, строительства и обслуживания (источник [45])

По сравнению со зданиями, строительный сектор, где «Building Information Modeling» было введено около десяти лет назад, использование BIM в инфраструктурном секторе является относительно новым методом. В последнее время потребность в разработке открытых стандартов для обмена данными об инфраструктуре BIM в последнее время была выражена в более широких масштабах. Лидером в части открытых стандартов и IFC сегодня является профессиональное международное объединение buildingSMA, российское отделение которого появилось летом 2017 года. О том, как организовано создание специального стандарта BIMRail на базе IFC, как важнейшей части цифровой железной дороги можно узнать из публикации [17]. В [17] достаточно подробно изложен процесс превращения национальных инициатив в международные стандарты.

Помимо нескольких национальных инициатив, разработка международных стандартов данных BIM обусловлена вопросами координации и прозрачности для транспортного сектора и в первую очередь для цифровых железных дорог, которые физически являются общими для стран Евразии. Чтобы это сделать надо учесть, что основными игроками в этом являются:

- buildingSMART International, некоммерческая отраслевая ассоциация для разработки, продвижения и распространения открытых стандартов в строительной отрасли;
- ISO / TC 59 / SC 13, комитет «Организация информации о строительных работах», подкомитет по стандартам BIM в рамках Международной организации по стандартизации.

В будущем еще один важный комитет, который занимается стандартами данных BIM, – это вновь созданный Технический комитет CEN по строительству информационного моделирования. Он был официально принят 17 апреля 2015 года.

- CEN/TC 422 «Информационное моделирование зданий (BIM)».

Как взаимодействуют эти комитеты? Задача buildingSMART International заключается в том, чтобы взаимодействовать с международными сообществами и поддерживать их, чтобы определить необходимость стандартов и после их создания создать высококачественные стандарты с помощью четко определенной программы стандартов, включая всемирные обзоры через группы экспертов. Как только промышленный стандарт достигнет достаточного уровня надежности, он будет повышен до ISO для рассмотрения в качестве официального международного стандарта. В настоящее время стандартами стандартов ISO являются следующие стандарты BuildingSMART, которые также будут иметь отношение к будущему использованию в инфраструктурных проектах в России:

- ISO 16739, Классы отраслевых фондов (IFC) для обмена данными в отраслях строительства и управления объектами; строительный стандарт buildingSMART «IFC»
- ISO 29481-1, Building Information Models – Руководство по доставке информации – Часть 1: Методология и формат; строительный стандарт buildingSMART "IDM"
- ISO 12006-3, Строительство зданий – Организация информации о строительных

работах – Часть 3: Структура объектно-ориентированной информации; строительный стандарт buildingSMART «IFD».

### 3.3 Разработки стандартов инфраструктур в рамках buildingSMART и их интеграция с OGC

Стандартная разработка данных BIM в рамках buildingSMART, в то время еще под названием «Международный альянс за интероперабельность», началась около 1996 года с публикации ранней версии IFC. Основное внимание было уделено архитектурным аспектам зданий. Вскоре после этого было усиленно структурными соображениями и позднее механическими системами (отопление, охлаждение, вентиляция и сантехника) и электрическими системами. После 2000 года с публикацией первой IFC-платформы IFC2x в сферу применения были добавлены управление объектами, калькуляция затрат и планирование. С новой платформой IFC4 для данных BIM данные, необходимые для использования в строительстве, все упомянутые аспекты широко охватываются и непрерывно расширяются. Схема IFC4 – построение сфокусированных модулей приводится на рисунке 5.

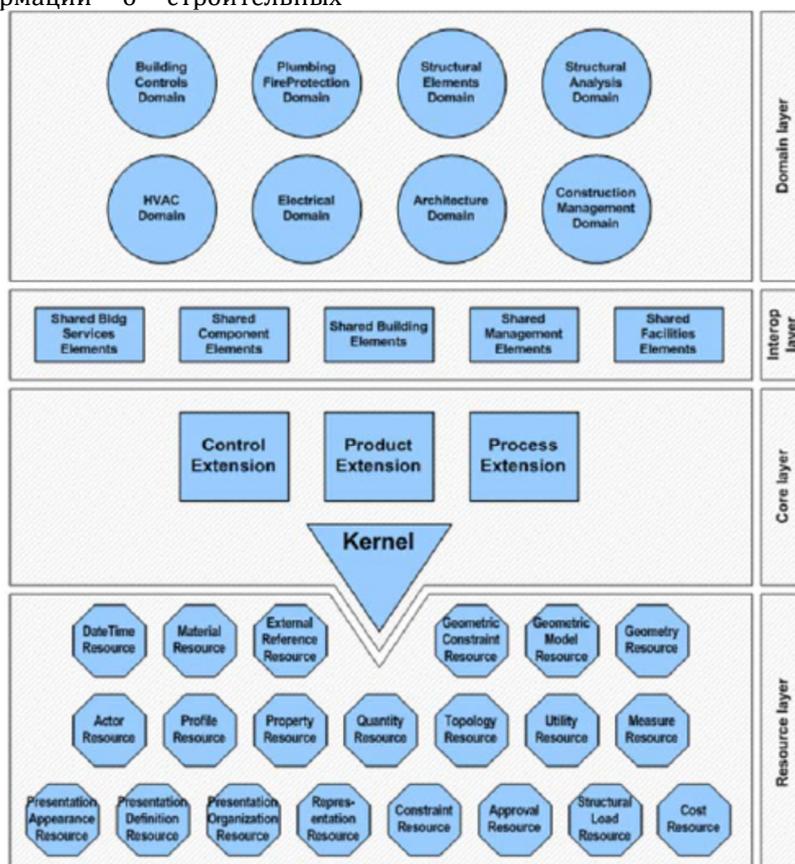


Рисунок 5: Схема IFC4 – построение сфокусированных модулей (источник [34])

С 2010 года поднимается интерес к различным проектам инфраструктур. В результате был создан новый комитет, «Инфраструктурная комната» (Infrastructure Room). Первой задачей инфраструктурной комнаты было проанализировать различные общие варианты использования данных BIM в мире инфраструктуры (см. Рисунок. 6). Затем были приглашены и оценены различные существующие национальные инициативы. Наконец, была создана «дорожная карта» для определения наиболее важных стандартных проектов развития, которые будут осуществляться в течение следующих нескольких лет. Поскольку BIM был в развитии в течение более длительного времени, и поскольку он строился в центре, еще один термин был придуман VDC V Virtual Design and Construction что бы создать возможности глобальной кооперации и преодолеть замкнутость очень тяжелых BIM решений (в смысле потребления ресурсов ИТИ). Теперь BIM принимается как единый термин для покрытия как зданий, так и инфраструктуры и рассматривается как основной инструмент для их жизненного цикла.

Двумя наиболее важными вертикальными областями, которые были определены Инфраструктурной комнатой в развитие BIMRail, были «Мосты и дороги». Мосты были идентифицированы по нескольким причинам: (а) структуры мостов относительно близки к

строительным структурам; (б) также была проделана значительная работа во Франции для проекта IFC-Bridge; и (с) во многих европейских и американских странах необходимо улучшение нынешней инфраструктуры мостов, которая необходима в силу их возраста, и является первоочередной задачей.

Дороги рассматриваются как важная часть инвестиций стран в инфраструктуру. Близко к этому относятся и железные дороги, которые также рассматриваются в рамках этого расширения. Туннели, речные каналы и плотины были добавлены в качестве дополнительного объема и из логических потребностей завершения последовательностей логистических цепей снабжения [18] и полноты инфраструктурных стандартов для цифровых железных дорог. Для дальнейшего развития были проанализированы общие черты между этими областями и, наконец, не в последнюю очередь, необходимо было разработать проект и бизнес-план, необходимые для письменной фиксации этих соглашений заинтересованными лицами. Без значительной поддержки со стороны международных заинтересованных сторон, властей автомобильных/железнодорожных, инфраструктурных и экологических агентств, крупных инженеров, подрядчиков и поставщиков программного обеспечения эти разработки стандартов не могут быть успешно завершены.

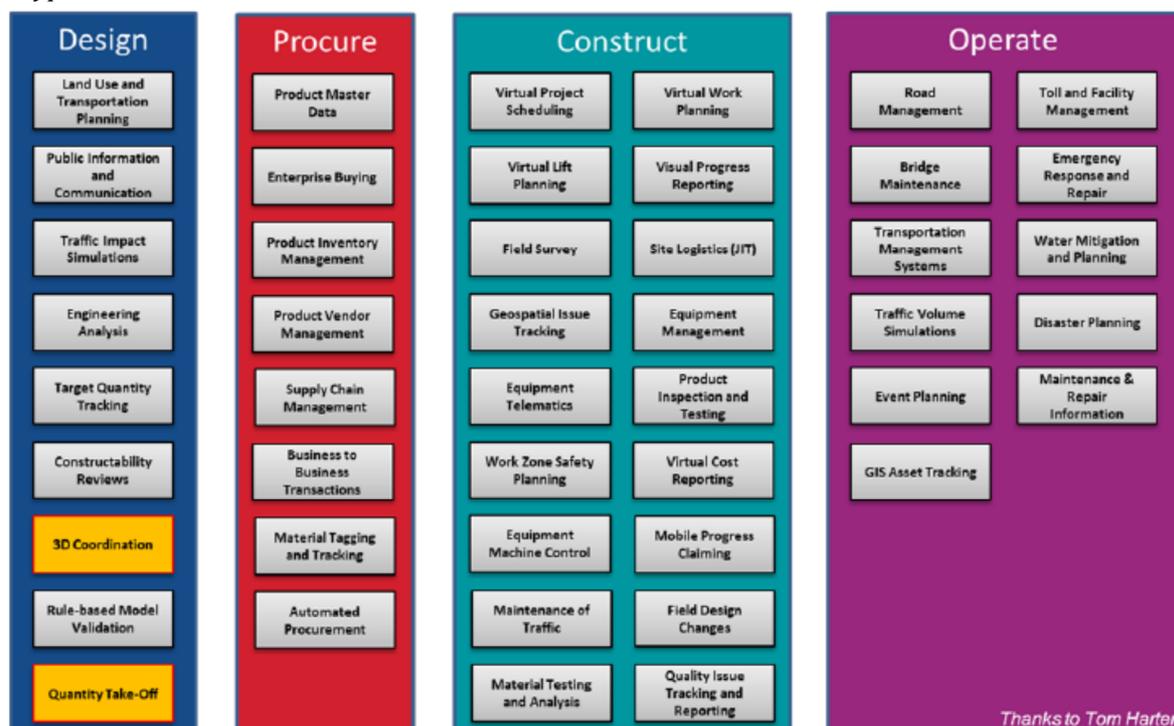


Рисунок 6: Первоначальные варианты использования, указанные buildingSMART Infrastructure Room (источник [34])

Цифровая ориентация была определена как наиболее важный общий знаменатель активов инфраструктуры. Эта ориентация сильно взаимосвязана с выравниванием – это линейные ссылки и подключение к базам данных ГИС. Дороги, рельсы, мосты, туннели, каналы, плотины, линии электропередач и другие объекты инфраструктуры сконструированы, построены и поддерживаются с использованием выравнивания и линейной привязки, идущей от ГИС (GIS). Другими важными общими определениями являются моделирование ландшафта, в конечном счете включающая информацию о стратах, общая локальная система координат с отображением в соответствующую геопространственную систему координат и земляные работы (вырезание и заполнение), как показано на рисунке 7.В 2014 году при спонсорском финансировании Rijkswaterstaat (NL), Trafikverket (S) и проекта V-Con (EU), buildingSMART запустил первый проект по стандартизации инфраструктуры, IFC Alignment. Год спустя работа была завершена, и была опубликована версия 1.0, которая будет проанализирована более подробно позже. Ожидается, что она будет выпущен как «buildSMART Final Standard» в соответствии с новой программой стандартов от мая 2015 года.

Помимо существующих стандартизированных проектов развития инфраструктуры, которые уже приняты в рамках buildingSMART International, существует несколько инициатив либо региональными главами buildingSMART, либо организациями и консорциумами, которые связаны с разработкой IFC (ISO 16739), и часто

предлагают расширения IFC для лучшего внедрения потребности различных объектов инфраструктуры. BuildingSMART Infrastructure Room выступает в качестве цифрового места встречи этих проектов и может принимать предложенные спецификации на «борт» для рассмотрения в качестве международных стандартов после тщательного международного участия и обзора. Она также может поддерживать связь с другими организациями для совместных разработок, в частности с Open Geospatial Consortium (OGC лидер по открытым стандартам ГИС). В настоящее время действуют следующие международные инициативы:

- Дороги IFC Корейского института строительных технологий, KICT, Корея;
- IFC-Bridge, ранее поддерживаемый SETRA, теперь через проект MIND, Франция;
- Различные проекты туннелей для определения расширения IFC-Tunnel (туннеля) (ранние разработки);
- Разработка стандарта на железнодорожном транспорте на основе IFC4 для китайской железной дороги.

В [52,53] было показано что мосты и туннели составляют более 26 % стоимости в среднем любой железной дороги и по причинам истощенности в мире простых и удобных трасс и роста плотности населения этот процент только растет. Мостовое информационное моделирование (BrIM) относится к передовому подходу моделирования, основанному на обобщенном определении «объектов», составляющих физический актив.

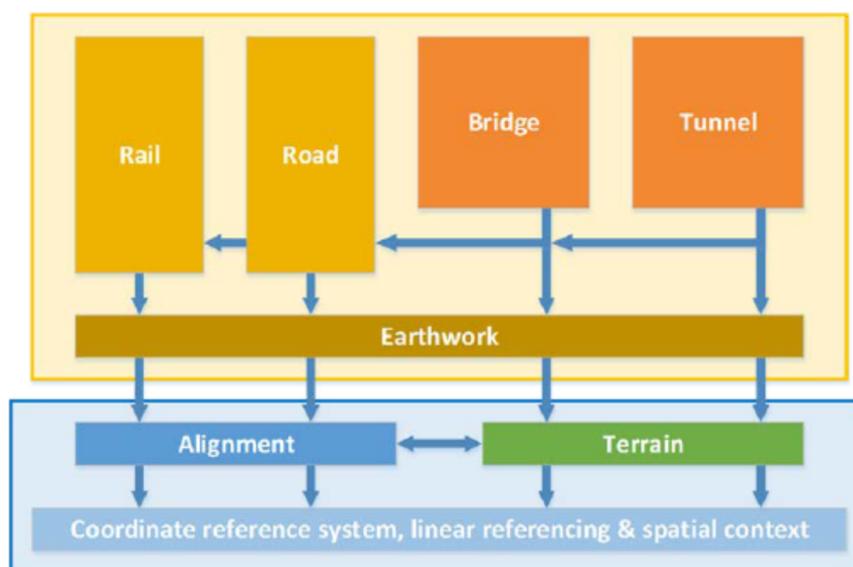


Рисунок 7: Основные зависимости между выбранными областями инфраструктуры (источник [40])

Это целостное цифровое представление физических и функциональных характеристик объекта, которое обеспечивает общий ресурс знаний для информации, чтобы поддерживать надежную основу для принятия решений в течение жизненного цикла. Использование стандарта для представления информации о мосте в цифровом формате, который может быть быстро принят программными инструментами с минимальной двусмысленностью, предоставит возможность использовать цифровую доставку проекта, трехмерную визуализацию, виртуальную сборку, автоматический контроль машин, быструю маршрутизацию и разрешение для сете-уровневых исследований по оптимизации, интеллектуальную инвентаризацию и многое другое, как и рутинную часть разработки проектов и управления активами. Эти усилия направлены на выявление, анализ, утверждение, расширение и достижение консенсуса в отношении открытого, не проприетарного (non-proprietary) набора стандартов BrIM посредством исследований и анализа, применения тематических исследований и отраслевой информационно-пропагандистской деятельности.

Чтобы эффективно достичь такой широкой цели, этот текущий этап работы включает сосредоточение усилий на конкретном обмене данными в жизненном цикле моста с измеримыми масштабами. Несмотря на то, что в течение жизненного цикла любого конкретного моста существует потенциально сотни обменов информацией, охватывающих стадии проектирования, строительства и управления, был сделан вывод о том, что наивысшее начальное значение будет заключаться в определении и подготовке к автоматизации обмена информацией, найденной в планах конструкции моста, когда они выходят на конкурс.

Так с США министерством транспорта [34,35,36] при определении этого обмена информацией для планов проектирования мостов было сочтено критически важным использовать [34]: «для моделирования фактических мостов, которые наиболее характерны для типов мостов в США по количеству, и для моделирования таких мостов в деталях, которые фиксируют ту же информацию, представленную в документах плана проектирования. Хотя нельзя утверждать, что предлагаемые конкретные модели информации будут учитывать все прошлые и будущие потребности, можно сделать вывод о том, могут ли поддерживаться такие общие мосты и

указывать любые пробелы, которые необходимо будет разрешить для поддержки предлагаемых моделей информации. Поскольку даже самые простые мосты состоят из тысяч компонентов и измерений, это первоначальное усилие основано на моделировании двух конкретных, относительно простых мостов для случая: четырехпролетного стальной балочного моста с изогнутым выравниванием, сверхвысоким переходом и постоянным классом; и пятипролетного бетонного балочного моста с изогнутым выравниванием и параболической вертикальной кривой. Оба примера исследований мостов подробно обсуждаются в томе III настоящего отчета.

При определении информационных моделей (именуемых здесь «схемами») было предпочтительнее попытаться использовать существующие схемы, которые могут быть адаптированы, а не начинать с нуля, по следующим причинам: (а) для поставщиков, уже поддерживающих существующие информационные модели, это может стоить значительно меньше для поддержки дополнительных функций по сравнению с новыми отдельными моделями; (б) на основе того факта, что существующие схемы применяются к широкому спектру структур, многие непредвиденные сценарии уже рассмотрены; и (с) уже существуют программные средства и сообщества разработчиков для ускорения разработки выборочных данных и дополнений к таким схемам.

Модели мозаичного моделирования были смоделированы с использованием нескольких схем: отраслевых классов (IFC), которые поддерживаются всеми основными поставщиками программного обеспечения в строительной отрасли; LandXML, который поддерживаемый крупными поставщиками программного обеспечения для инфраструктуры; и OpenBrIM, недавно представленный в рамках инициатив по стандартизации FHWA. В дополнение к опубликованным открытым стандартам были проанализированы проприетарное программное обеспечение и форматы от крупных поставщиков, включая Bentley и AASHTOWare, где соответствующие функциональные возможности программного обеспечения были сопоставлены с представлениями в этих информационных моделях. Хотя ни один из этих стандартов в настоящее время не поддерживает все функции, необходимые для мостов для изучения конкретных случаев, ни одна из них не была обязательно разработана с этим намерением.»

Для изучения примеров моделей мостов, вся информация была собрана с использованием объектов, уже определенных в IFC, за исключением новой структуры позиционирования, связывающей физические элементы с смещениями вдоль кривых выравнивания. Помимо этого, предлагаются дополнительные некритические расширения, включая повторное размещение шаблонов, например, для свай и арматуры, вывод изгибов ординат из назначенных структурных моделей и документированное использование параметризации на основе ограничений. Рекомендованное использование предназначено для представления полной детализации мостов, как это определено в планах строительства, с минимальными дополнениями, предлагаемыми для захвата только самых критических разрывов.

После анализа в США [34,35,36] каждой из применимых схем для определения области и совпадения стало ясно, что классы IFC были наиболее подходящим кандидатом для использования в качестве основы для документирования полных моделей проектирования на основе того факта, что (а) наиболее применимые данные типы уже полностью определены и документированы; (б) IFC уже реализована большинством вендоров в области проектирования / строительства, включая те, которые включают большую часть доли рынка для программного обеспечения для проектирования мостов; (с) как стандарт ИСО, он поддерживается и поддерживается всемирной организацией с главами во всех основных странах; (d) активное международное сообщество работает над использованием IFC для моделирования мостов и других форм инфраструктуры, которые могут способствовать усилиям; и (е) это уже доказано, пройдя несколько поколений валидации и сертификации поставщиков. Затем было проведено моделирование компонентов для проверки этого предлагаемого подхода, для IFC, а также для других схем.

В результате моделирования компонентов стало очевидным, что последняя версия IFC (4.1) не была полностью достаточной, поскольку у нее не было возможности позиционировать физические элементы относительно кривых выравнивания. Чтобы учесть такие возможности, но сохраняя совместимость с существующим программным обеспечением, была предложена одна дополнительная структура данных. Кроме того, было предложено несколько новых применений существующих структур данных для обработки повторяющихся элементов, обычно встречающихся в мостах, таких как

арматура, штифты сдвига и пластины жесткости. Аналогичным образом были предложены новые способы использования существующих структур данных для определения ординат развала. Такие дополнения были намеренно сведены к минимуму только для решения критических требований и были выполнены таким образом, чтобы поддерживать совместимость с повышением и понижением, так что существующее программное обеспечение, уже находящееся на рынке, может без проблем считывать новые файлы. Предположения о совместимости были подтверждены загрузкой мостовых моделей в Tekla Structures 21.0 и Autodesk Revit 2016, где несколько изменений были внесены в используемые структуры данных на основе текущей поддержки поставщиков.

Следуя схеме других областей, прогресс будет достигнут, так как бизнес-процессы будут отображаться и внедряться во всей индустрии мостов. Когда шаги в бизнес-процессе определены, вы видите, как изменяются данные, поскольку они передаются из одной функции работы в другую, подобно старой «телефонной игре». Очень часто данные преобразуются, поскольку они передаются в следующую заданную функцию в виде бумаги или в формате PDF, оба из которых требуют, чтобы принимающая сторона повторно вводила частичные данные для использования для своей функции задания. Сталелитейная промышленность (AISC) много лет назад определила бизнес-процесс вокруг стандарта, который они реализовали под названием CIS / 2. При документировании своего бизнес-процесса они смогли наблюдать за тем, как данные были преобразованы в каждую функцию работы (обмен информацией), а также время и усилия, необходимые для достижения этой цели, а также потери данных и целостности. Недавно AISC перешел на новый стандарт – Industry Foundation Class (IFC) (Международная организация по стандартизации (ISO) 16739), поскольку они поняли, что не могут взаимодействовать с остальной частью строительного сообщества или ожидают, что остальная часть отрасли изменится к CIS / 2. При переходе на IFC это дало им возможность пересмотреть свои первоначальные бизнес-процессы (2-е поколение) и работать над устранением некоторых циклических операций между бумагой / PDF и данными и хранить данные в удобном для использования формате в течение всего бизнес-процесса, только печатать документы, когда это необходимо для юридических целей, из полного набора данных.

Теперь они используют данные как истину, а документ – как физическое представление этой истины. Это изменение мышления позволило им значительно оптимизировать свои бизнес-процессы. Теперь они могут изготавливаться непосредственно из модели данных IFC, предоставляя команды ЧПУ (компьютерное числовое управление) для роботизированного оборудования для изготовления, тем самым устраняя значительный риск, рабочие шаги и вероятность ошибки, не влияя на их способность распечатывать бумагу / PDF-версию, если необходимо, в любой момент процесса. Это продвижение устранило необходимость создания и утверждения магазина чертежей, например.

Когда отраслевые специалисты, как было продемонстрировано в сталелитейной промышленности, получают консенсус в отношении своих общих бизнес-процессов и поэтому их стандартизируют, для поставщиков программного обеспечения становится экономически выгодным разрабатывать программное обеспечение, основанное на бизнес-процессах, на которые они могут положиться, как представляющие общие потребности. Наличие общих процессов потенциально расширяет их рынок, что делает его более выгодным для разработки программного обеспечения.

Изложенный выше опыт США представляется крайне важны и для России. На российской железной дороге так же есть аналогичная типизация мостов. Для того что бы понимать стандарты лучше всего участвовать в их разработке. Это может стать очень интересной задачей для молодого российского BuildingSMART. Тем более что мосты нужны не только цифровой железной дороге.

Любой транспортный практик знает о необходимости использования инструментов ГИС. ГИС и BIM это работающие технологии, порождающие сегодня то что стало называться большими данными (BIG DATA), а любые данные имеют свою специфическую структуру и собственно BuildingSmart и OGC и создают мировые открытые стандарты на свои типы больших данных [12,15,54]. Наука данных как практическая дисциплина в первую очередь призвана бороться с дублированием данных и информационными силосами (это когда необходимые данные недоступны из-за в первую очередь технических возможностей взаимодействия). Что такое информационные силосы можно посмотреть в [55] и для BIM технологий в [47]. Однако никто не может

позволить себе эти данные потерять так как это практически равно сегодня потери денег. Поэтому достижение о взаимодействии BuildingSmart и OGC имеет такое огромное значение для развития информационных технологий для инфраструктурных проектов и конечно и для цифровой железной дороге то же в чисто практическом плане уменьшения стоимости проектов и времени их реализации.

Сегодня после правильного решения вопросов о взаимодействии BIM и GIS происходит быстрое расширение работ IFC для инфраструктур. В мае 2017 года был проведен знаковый семинар по интероперабельности GIS (Geospatial) / BIM interoperability workshop. Stockholm, Sweden – May 30 – 2017. В результате чего было достигнуто:

- Лучшее понимание двух платформ;
- Определение сходства и расхождения между двумя платформами;
- Сопоставление между концепциями в ГИС и BIM и определение того где есть основные проблемы взаимодействия;
- Договоренности о совместной работе между ISO / TC 211 и ISO / TC 59 SC13 чтобы обеспечить совместимость путем устранения барьеров для совместимости между стандартами, в тесном сотрудничестве с BuildingSmart и OGC.

Для того что бы у читателя появилось связанное представление о текущем представлении современной стандартизации BIM и GIS мы приводим схему взаимодействия 2017 года на рисунке 8, которая составлена с учетом активного участия европейской системы стандартизации (CEN), международной организации стандартизации (ISO) и с BuildingSmart и OGC.

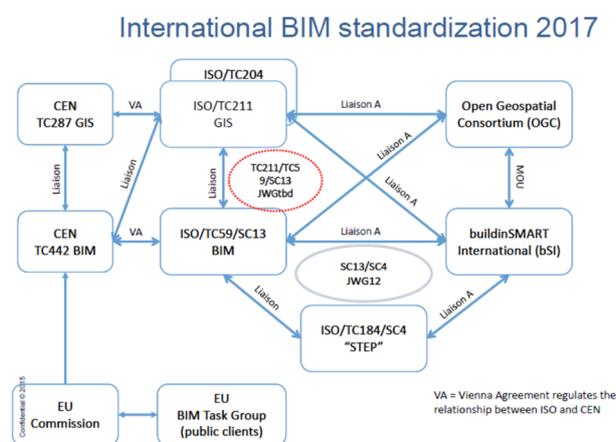


Рисунок 8. Международная стандартизация BIM 2017 (источник – GIS (Geospatial) / BIM interoperability workshop. Stockholm, Sweden – May 30 – 2017)

## Process and GIS- BIM deliverables from year 2000.

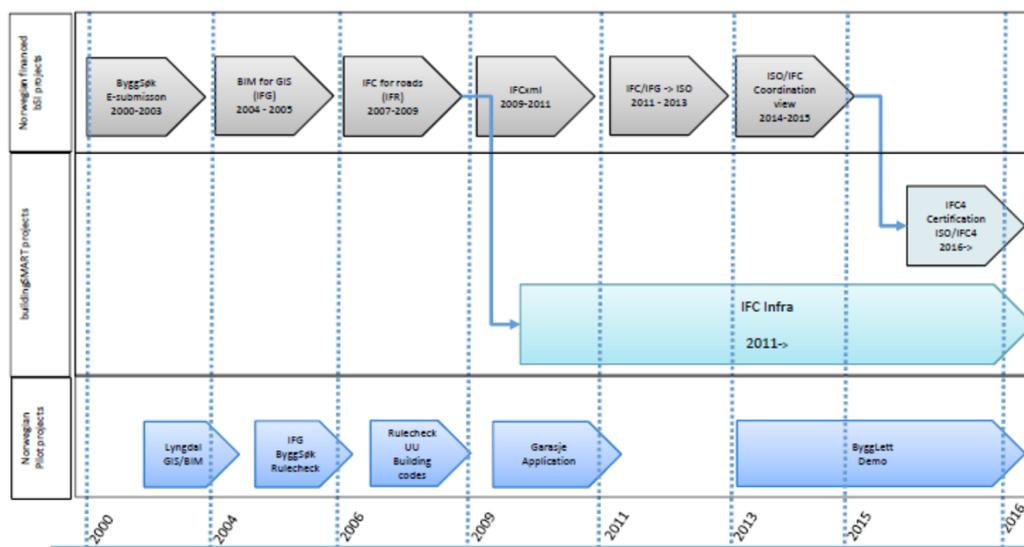


Рисунок 9 Процесс создания общих форматов информационного взаимодействия BIM-GIS (источник – GIS (Geospatial) / BIM interoperability workshop. Stockholm, Sweden – May 30 – 2017)

- IFC 1.0 to IFC 2.0 – early prototypes use: 2000 - 2002
- IFC 2x to IFC 2x2 – early adopters use: 2002 - 2008
- IFC 2x3 – in practical use today use: 2008 - 2016
- IFC 4 – forthcoming use: from 2014 onwards

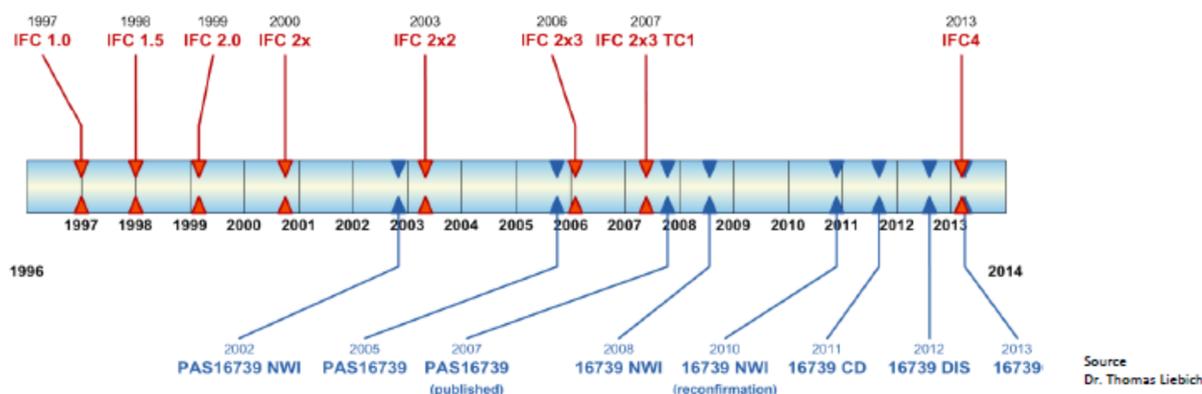


Рисунок 10. История развития IFC (источник – GIS (Geospatial) / BIM interoperability workshop. Stockholm, Sweden – May 30 – 2017)

На рисунке 9 представлен Процесс создания общих форматов информационного взаимодействия BIM-GIS во временной шкале. На Рисунке 10 показана история развития IFC во времени, новый этап этого развития отображен на рисунке 11, и он о том, как BuildinSMART и OGC идут дальше, к IFC5. Рисунок 12 о том, как уменьшаются силы при информационном взаимодействии BIM и GIS и достигаются за счет этого экономические преимущества для тех, кто будет на практике применять эти стандарты.

Сегодня на базе вышеизложенного происходит очень быстрое расширение создания

IFC для инфраструктур, которое базируется на международной цифровой InfraRoomSteering в тесном сотрудничестве с BuildingSmart и OGC которое позволяет:

- Модернизировать существующие проекты;
- Осуществить линейное выравнивание BIM + GIS для тестирования на автодорогах и по железных дорогах;
- Общая новая архитектура инфраструктур – завершена и включена во все новые проекты и начата совместная работа с OGC;

## Project structure towards IFC5

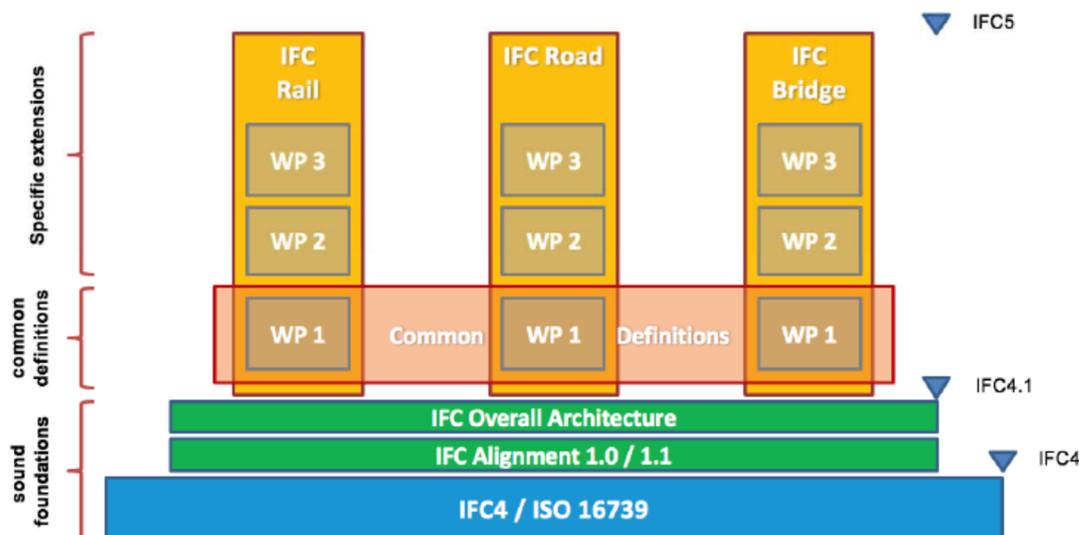


Рисунок 11. BuildinSMART и OGC идут дальше, к IFC5 (источник – GIS (Geospatial) / BIM interoperability workshop. Stockholm, Sweden – May 30 – 2017)

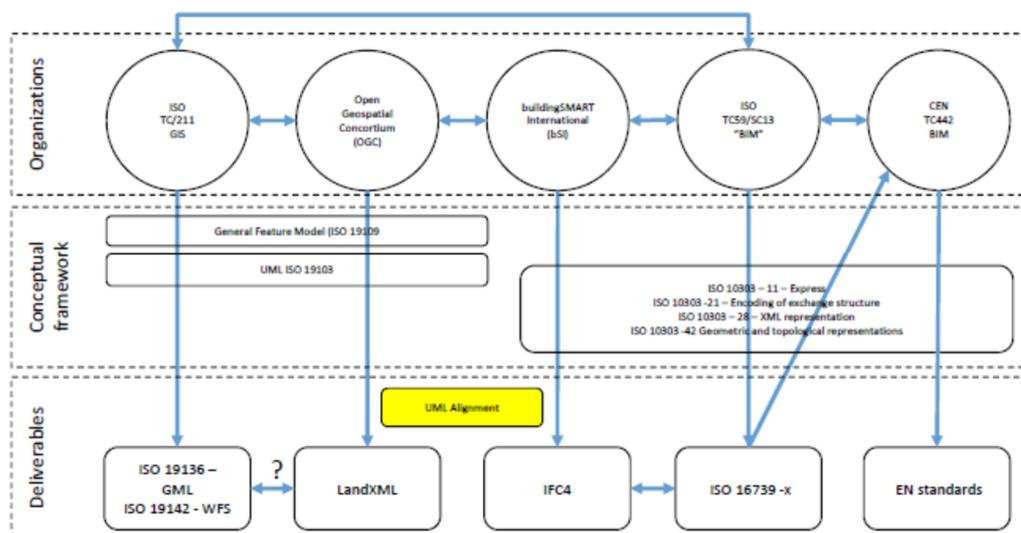


Рисунок 12 Как уменьшаются силы при информационном взаимодействии BIM и GIS (источник – GIS (Geospatial) / BIM interoperability workshop. Stockholm, Sweden – May 30 – 2017)

- IFC (BIMRail) для железных дорог Китая опубликована спецификацию (SPEC) и работа над международным стандартом ISO проходит в настоящее время по схеме на рисунке 8;

- Работа на IFC мостов начата;
- Планируемые к началу проекты 2017 года;
- IFC автодороги;
- IFC тоннели;
- IFC порты и IFC гавани.

Необходимо сказать, что в Европе эти работы

по BIM+GIS дали старт не только созданию общеевропейского строительного рынка на базе BIM [41], но и к созданию таких решений и правил в европейском транспортном секторе [38, 42,44 – управление активами в жизненном цикле, 46 – BIM]. В США вышло множество исследований на практическую применимость нового IFC BIM для инфраструктур [37,40,56,57,58,62], часть из них посвящена именно мостам. Не менее значительное развитие

нового IFC BIM проходит в Европе и именно в транспортном секторе. Работа [42] CEDR (объединение транспортных ведомств Европы) в значительной мере посвящена именно IFC, как и другие публикации CEDR [44,47].

В области исследований и защиты диссертаций на тему нового IFC BIM в 2016 и 2017 году произошло резкое увеличение защищенных работ. Укажем лишь некоторые из них. Так перечисленные работы посвящены:

- [40] интероперабельности информационных моделей мостов;
- [62] расширению нового IFC BIM на работу с 3D кадастром;
- [64] новому IFC BIM и искусственному интеллекту (смотри так же [68,69]);
- [65] методам сбора данных для нового IFC BIM;
- [66] связям нового IFC BIM с сенсорами (IoT);
- [67] управлению качеством работ на базе нового IFC BIM;
- [71] хоть и не является диссертацией, но посвящена тому как с помощью BIM решаются вопросы культурного наследия.

Пожалуй, наиболее интересный цикл исследований провели в Австралии и фактически подали заявку на расширение с помощью технологического союза BIM+GIS нового термина PIM Информационное моделирование участков [61]. Информационное моделирование участков (PIM) описывает процесс создания 3D-цифровой модели в масштабе участка, определяемый как любая область построенной среды, которая представляет интерес для некоторых практических целей. Таким образом, он описывает деятельность, в которой вся информация, относящаяся к этому участку, хранится в цифровой форме, определяемой таким образом, который поддерживает процессы, которые имеют решающее значение для этой цели. Некоторые примеры участков включают заброшенные или зеленые районы, предназначенные для реконструкции, объект кампуса, торговый район, который контролируется для целей планирования, или земельный резерв, предназначенный для развития транспортной инфраструктуры, такой как новая дорога или железная дорога.

PIM влечет за собой процесс, который поддерживается цифровой технологией баз данных, которая может использоваться широким кругом отраслевых специалистов, которые отвечают за планирование, проектирование, доставку и оперативное управление построенной средой. Это идет

дальше, потому что одна и та же информация может стать ресурсом для сообщества, которое использует и взаимодействует со встроенной средой, предоставляя критическую поддержку умным городам и сообществам, возникающим в ответ на вызовы быстрого роста городов в Австралии и урбанизации в глобальном масштабе [61]. Инструменты ГИС (Географическая информационная система). Они широко используются для моделирования географических регионов. Хотя они традиционно основаны на картах, инструменты GIS теперь поддерживают трехмерные представления и используют свои собственные стандартные форматы, в частности GML, в качестве базового стандарта с расширениями домена, такими как CityGML (для городских визуализаций), IndoorGML (для внутренней отделки) и InfraGML (для инфраструктуры).

Несмотря на то, что на самом деле он не протестирован в этом австралийском проекте, важно признать наличие проприетарных программных инструментов и услуг, предназначенных для создания и поддержки 3D-моделей городов. Они традиционно сосредоточены на создании визуально точных исполнений формы здания, а также пространства и инфраструктуры вокруг зданий. Данные обычно создаются с использованием методов сканирования, использующих как LIDAR, так и фотограмметрию. Такие модели становятся все более точными, визуально привлекательными и обеспечивают отличные возможности городского планирования и симуляции. Важным событием в этой области является применение компьютерных игровых технологий, которые облегчают навигацию в режиме реального времени в таких моделях. Эти инструменты отвечают широким потребностям отрасли, и в будущей работе необходимо изучить, как они могут связываться с открытыми стандартами информации об окружающей среде. Важно заметить, что вышесказанное имеет прямое отношение к цифровой железной дороге потому что она строится во многом для обслуживания городов, которые как правило и есть самые сложные объекты для ее реализации.

На рисунках 13, 14 и 15 мы приводим основные идеи PIM, прекрасно понимая, что дальше могут последовать расширения информационных моделей на города (умные города) и целиком страны, которые уже давно существуют, но в инструментах ГИС [12]. Подобное расширение позволит перейти на новый уровень решений в связке физического, виртуального и цифрового миров.

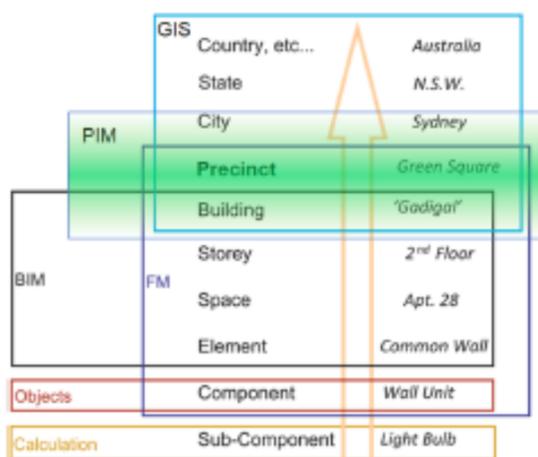


Рисунок 13. Шкала вещей, с участковым моделированием и масштабным измерением, с участковым моделированием, представляющим пересечение технологий BIM и ГИС (источник [61])

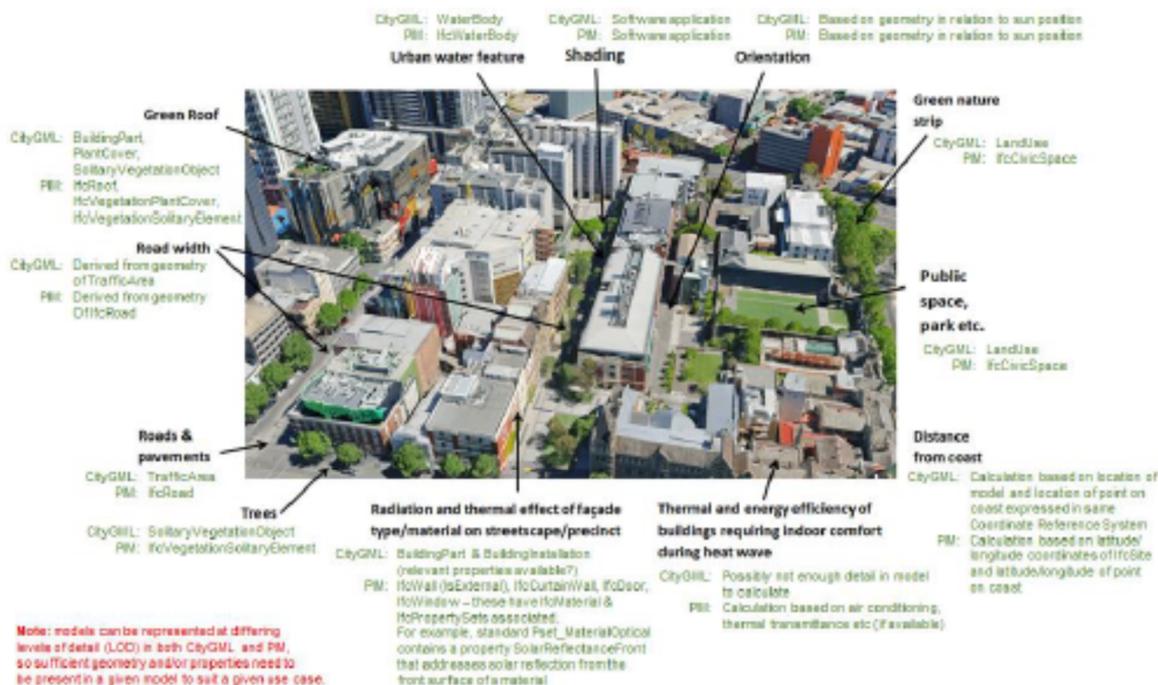


Рисунок 14. Общие объекты участка с их представлением в CityGML и модель данных PIM (источник [61])

OGC в сотрудничестве с bSI уже приступил в 2017 году к разработке будущего пилота стандарта города (FCP), взяв за основу именно австралийские разработки [61]. На первом этапе OGC в сотрудничестве с bSI планируют ускорение процесса разработки стандартов требований, и эта фаза будет длиться порядка 6/8 месяцев. Механизмы взаимодействия пилотов с участием университета Сиднея в технология Geo и BIM и предполагаемом использовании Quid IFC и CityGML должны исходить из следующих предварительных сценариев:

- Статические 3D-модели городов «легко» сделать;
- Сохранение динамической модели города сложнее;

- Необходимо провести проверки новых компонентов модели;
- Проверка модели должна быть сделана на конкретной задаче (например, правила городского планирования);
- Должно быть проведено соединение с временными данными (например, TimeSeriesML);
- Результаты должны быть практической частью инструментов городского планирования;
- Динамические данные должны быть связаны с 3D-моделями;
- Модель должна работать с динамически развивающимися явлениями (наводнение, солнечный потенциал / облучение и т.п.);

В решении должны быть учтены датчики, IoT (например, SensorThings) и др.

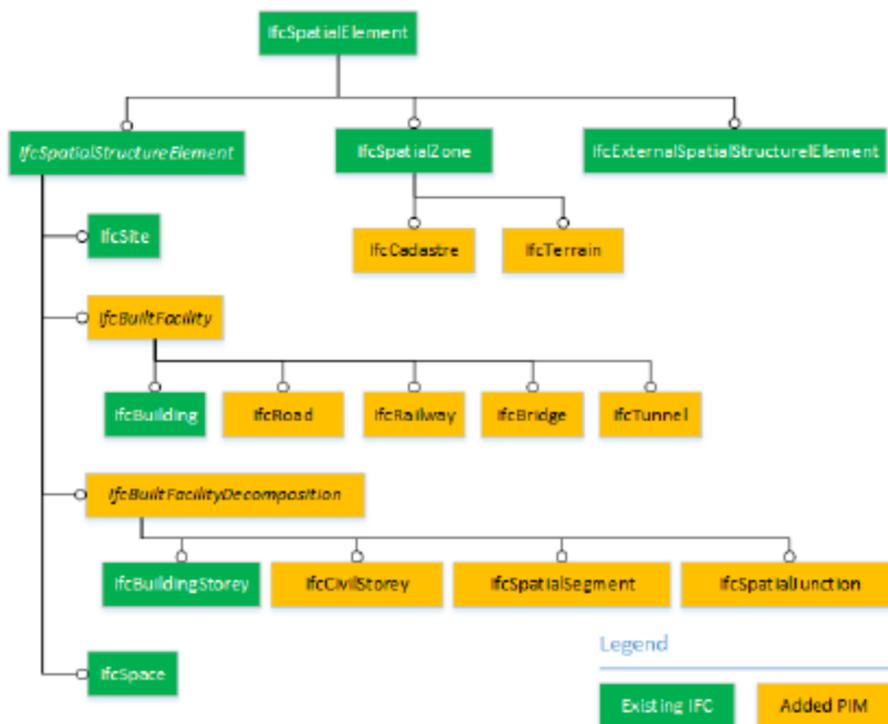


Рисунок 15- Предложенная иерархия пространственной структуры для участков (источник [61])

На рисунке 16 приведена общая схема взаимодействия цифровой инженерии и геопространственного моделирования в модели города, изначально предложенная группой

разработчиков из Австралии под руководством уполномоченных правительственных органов с участием BuildinSMART Австралии и принятой на уровне международных BuildinSMART и OGC.

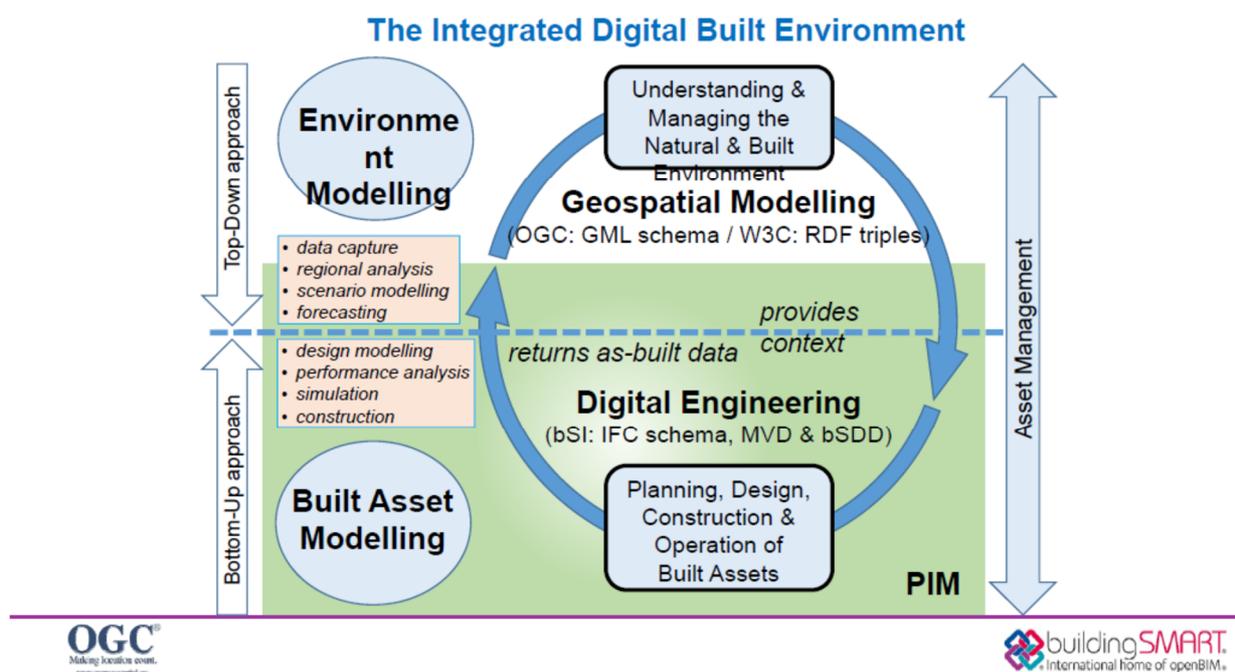


Рисунок 16. Общая схема взаимодействия цифровой инженерии и геопространственного моделирования в модели города (источник [61])

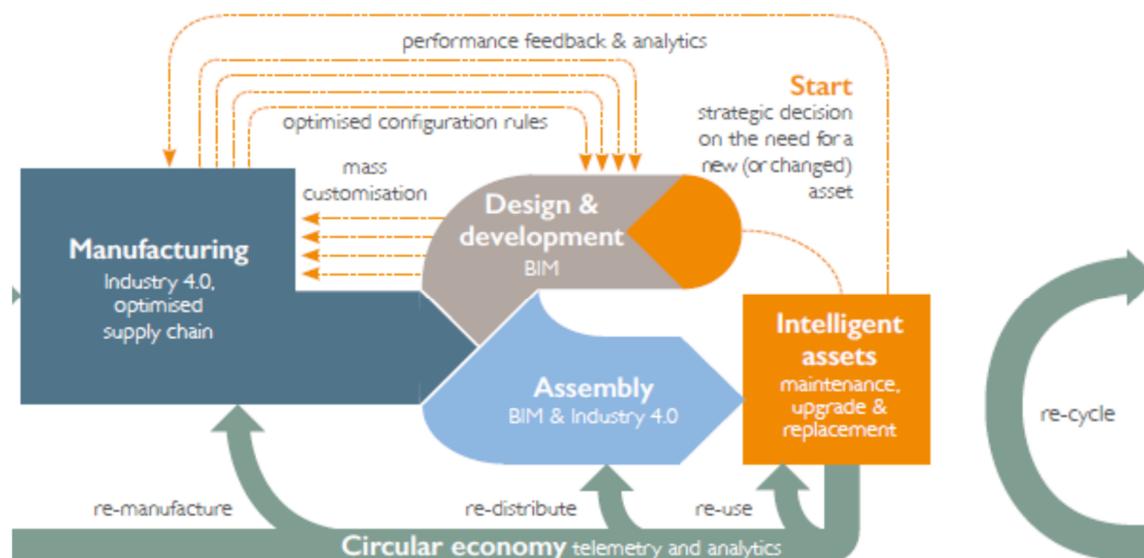


Рисунок 17. Как связаны BIM, Industry 4.0, интеллектуальные активы и циркулярная экономика (источник [59])

#### 4 Управление жизненным циклом продукта в производстве PLM, IFC BIM и цифровые двойники

Связь BIM и промышленности строительных материалов лежала в основе успеха его начального развития [29,30,70], но она основывалась на ведении BIM словарей, в которых были представлены готовые строительные элементы. На рубеже 2016 года стала развиваться строительная цифровая инженерия на основе BIM [51], но не смотря на общность корней промышленных и строительных технологий [11,13] должно было пройти время и накоплен потенциал положительных практик что бы можно было реализовывать новый уровень сотрудничества на только со строительной промышленностью, но и с другими видами промышленности так же находящимися в цифровой трансформации [24,25,26,27].

BIM (Building Information Modeling) привел к цифровизации в строительной отрасли за последние годы, которые будут продолжаться, так в инициативе Digital Built Britain (построим цифровую Великобританию) полагалось, что предполагаемое сочетание виртуального и физического миров могут повысить эффективность и дать новую экономию затрат. Так в [59] отмечалось, что BIM, Industry 4.0, интеллектуальные активы и циркулярная экономика внутренне связаны; что позволяет максимизировать их потенциальную экономическую выгоду и достичь прогноза роста в течение следующих 10 лет так что они должны быть исследованы вместе. Работа [59] собственно называется «Будущее строительства».

Производство продукции цифровизация, Industry 4.0 и циркулярная экономика». О циркулярной экономике и BIM (Circular Economy) можно узнать из работы [72], а о применении циркулярной экономики на цифровой железной дороге в публикациях [73,74]. BIM, Industry 4.0, интеллектуальные активы и циркулярная экономика внутренне связаны.

Как справедливо указывалось в [11] BIM, GIS, CAD, PLM фактически имеют общие корни и механизмы отображения физического мира в виртуальном и цифровых мирах, определяемом описанием в виде 3D измерений. Но не смотря на эту общность процессы, хоть и имеют совпадения, но сильно различаются между собой. Попыткой и, возможно более технологичной и успешной в части выделения критически важных элементов, является введение понятие цифрового двойника (Digital Twins). Все что поставляется на цифровую железную дорогу должно эффективно или «умно» эксплуатироваться в жизненном цикле и особенно ее ключевые элементы, от которых собственно в значительной степени зависит и успешность всего проекта. Сегодня не меняя известного слова BIM переход на новый BIM означает Building Information Management или управление информации о здании. При настройке и использовании такого BIM могут возникнуть некоторые риски, но внедрение такого BIM в институт цифровых железных дорог России должно быть сделано шаг за шагом. Кроме того, необходимо четко понимать технологию такого BIM, чтобы соответствующим образом применять их на конкретных этапах процессов строительства и производства. Например, 3D-модели часто

обозначаются как BIM и наоборот. В лучшей сегодняшней практике это не то, что мы имеем в виду употребляя слово BIM. Поэтому этот новый BIM нацелен на управление информацией во всей цепочке создания стоимости и успех его

применения зависит от детального понимания информационных потоков, гранулярности и изменения точек взаимодействия с использованием цифровых процессов (рисунок 18).

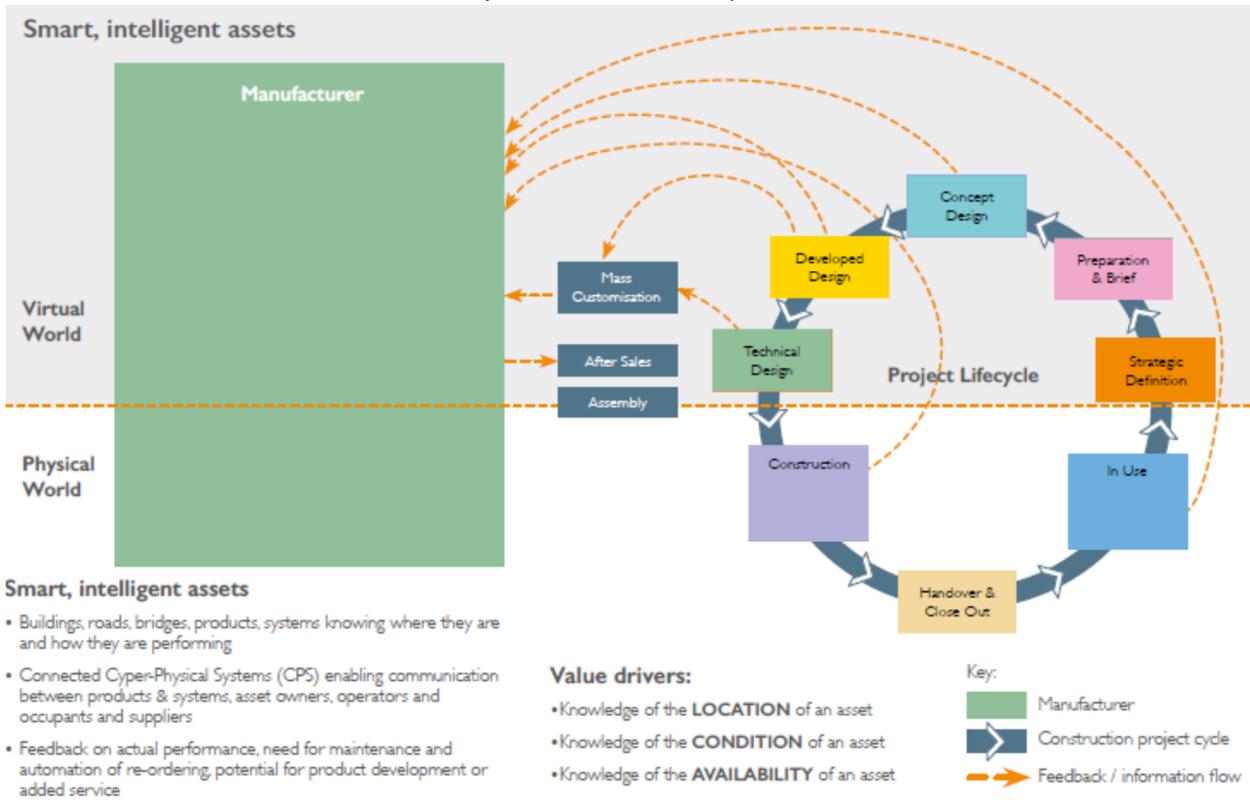


Рисунок 17. Как связаны жизненные циклы интеллектуальных активов в физическом и виртуальном мирах (источник [59])

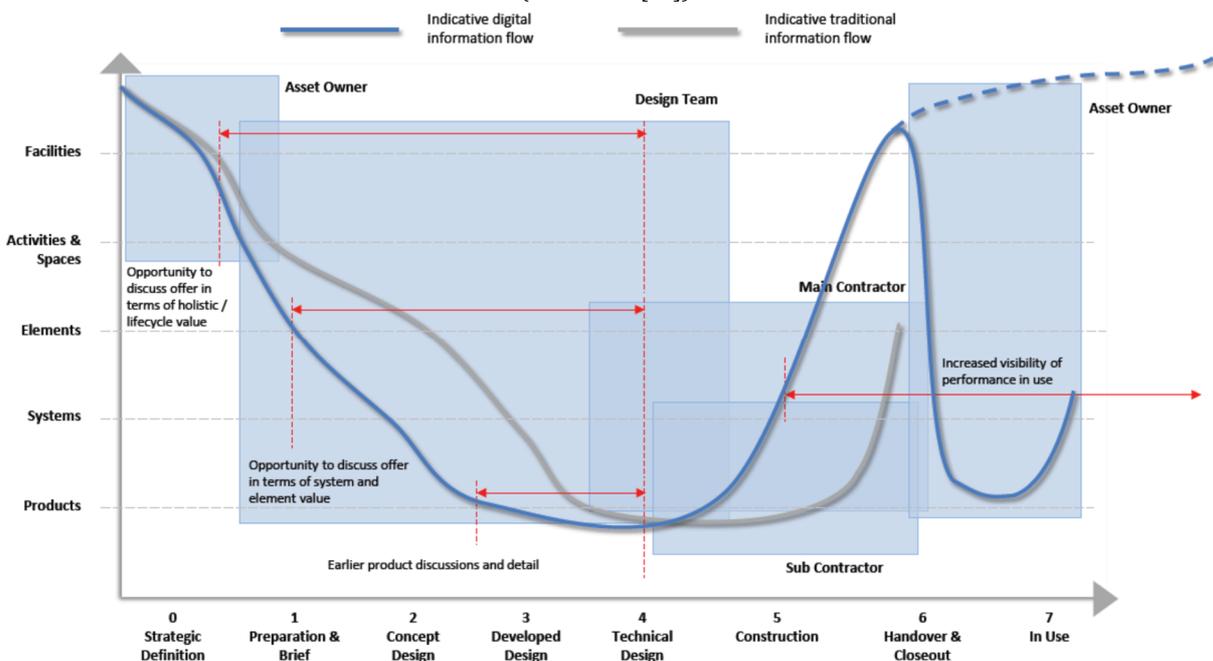


Рисунок 18. Информационный поток, гранулярность и изменение точек взаимодействия с использованием цифровых процессов (источник [45])

Модели BIM 3D особенно полезны на этапе проектирования. Очевидно, что эти 3D-модели требуют правильной информации об активах. Кроме того, важно понимать, что две оговорки могут потенциально ограничить ваши ожидания:

- Модели BIM, как правило, становятся большими. Следовательно, вам необходимо убедиться, какая информация вам действительно нужна на этапе технического обслуживания (части обслуживания конструкции), чтобы ограничить количество данных о ресурсах, которые вы получаете (к сожалению, это всегда компромисс между желаниями и возможностями).

- Именование объектов и их соответствующих свойств в 3D-моделях BIM может отличаться от именования объектов в системах управления активами и для того чтобы это убрать необходим сквозной подход по жизненному циклу (IFC, например).

Как следствие, эта информация, созданная BIM без учета вышесказанного, может оказаться

не совсем полезной для менеджера активов. Кроме того, все цифровые модели должны поддерживаться. Это может означать высокие затраты на техническое обслуживание, а также необходимость конкретных приложений, баз данных и знаний в отношении управления активами. Строительные компании очень часто используют разные приложения и базы данных для своих BIM-моделей, которые они часто используют. Но для группы задач жизненного цикла рекомендуется внедрить стандартные способы работы с обменом информацией для всей информационной цепочки. В противном случае существует риск того, что вы столкнетесь с дополнительными расходами из-за использования разных информационных стандартов. Потеря информации на этапе строительства и позже часто является дополнительными издержками для владельцев активов. Как мы уже говорили выше реальный поезд физического мира едет по реальной физической дороге.

<p>Смешанный трафик</p> 	<p>Все типы трафика, работающих на некоторой железной дороге. Решение, чтобы избежать приоритетности конкретных рынков. Пример: Great Western Main Line</p>
<p>Высокая емкость. Пригородные сообщения</p> 	<p>Интенсивное использование подвижного состава, пути, и мощность станции; тем не менее устойчивое к возмущению. Гибкая и оптимизация работы с другими видами транспорта. Пример: Wessex Route: <u>Woking to Waterloo</u></p>
<p>Выделенные (большой и тяжелый грузовой транспорт)</p> 	<p>Пассажирские перевозки изолированы от грузовых перевозок по времени или по трассе. Пример: Sutton Park Line: Walsall to Castle Bromwich</p>
<p>Город-Город</p> 	<p>Высокоскоростной транспорт, с высокой пропускной способностью обслуживания между основными транспортными узлами. Пример: Восточное побережье Магистраль: Лондон-Йорк (London to York)</p>
<p>Новые рынки</p> 	<p>Выявление и использование необслуживаемых потребностей для грузов и пассажиров, используя неиспользованную способность по-новому. Пример: Borders Railway</p>
<p>Низкий спрос</p> 	<p>Для областей сети, где спрос на железнодорожные перевозки является низким - обычно для сельских маршрутов Пример: Heart of Wales Line</p>

Таблица 1. Разные типы нагрузок и перевозок на железных дорогах (источник [16])

Условия быстрого создания цифровой железной дороги не предполагают последовательное решение задач инфраструктуры и подвижного состава и локомотивов – они связаны между собой и проектируются одновременно, оказывая друг на друга очень существенное влияние. Если строить реальные отношения, то необходимо понять, что разные условия железнодорожных линий диктуют разные условия реализации проекта цифровой железной дороги.

В таблице 1 приведен пример классификации разных типов нагрузок и перевозок на железных

дорогах, которые позволяют определить разные требования к реализации на них цифровой железной дороги.

В условиях пока отсутствующих полных и достаточных правил на синхронизацию инфраструктуры (BIM) и подвижного состава и локомотивов (PLM) в ЕС практикуют привлечение промышленных железнодорожных лидеров к реализации в качестве ответственных за реконструкцию и строительство и сравнивают результаты, полученные на практике (таблица 2). Такая практика привела к появлению у них компетенций в части BIM.

Компания	Проект	Решение
Alstom	Banedanmark worked in collaboration with Alstom targeting specific network areas that suffered with poor capacity. Conventional trackside modifications created a potential for additional capacity improvements. In certain areas of the network the target is to achieve a capacity improvement of 30% with the introduction of the Alstom ICONIS TM and ATLAS ETCS Level 2 (no signals).  Bologna Railways –Tirano railway station (RFI) In operation since 2006/07, a significant performance improvement, which can be quantified as up to 30% capacity increase	TM + ETCS L2 (No Signals)  30% Capacity Improvement
Hitachi	Lab Simulation applied to Rome's Railway Node. includes data that detailed track works modifications (e.g. rail alignments, curvature reductions), change in Operational rules, Signalling rearrangement (e.g.	Level 2 between +8% and 13% Capacity Improvement  Level 3 between 18% and 22% Capacity
	track sections length), and Timetables optimisation	Improvement
Indra	Spanish Railway Network, managed and controlled by Indra's TM technologies TMS alone does not create new capacity on the railway network, but delivers optimum use of existing capacity and improved timetable reliability.	TM (only)  Improved Timetable fulfilment
Siemens	Thameslink, UK System requirements of increasing service from 20 tph to 24 tph (20% increase). However, the system is designed to support 30 trains per hour, hence further capacity improvement is possible.  Erfurt –Leipzig line A reduction in journey time of approximately 40% as the enhanced safety	TM + ETCS L2 (with Signals) + ATO  20% Capacity Increase
Thales	Munich, Stuttgart and Frankfurt lines Improved flighting at bottleneck junctions can result in 7% improvement and major stations see significant improvements over 15% Austrian rail network  TM with ETCS with L2 has been seen to improve capacity at Austria by 30% on specific lines.	TM+ C - DAS or ATO +15% Capacity Increase  30% Capacity Increase

Таблица 2. Результаты разных компаний по увеличению пропускной способности на конкретных участках европейских железных дорог при реализации требований ERTMS в ходе их реконструкции и строительства (источник [20])

## 5 Согласование цифровых моделей

Цифровой двойник ([https://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_twin](https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_twin)) относится к цифровой реплике физических активов, процессов и систем, которые могут использоваться для различных целей. Цифровое представление обеспечивает как элементы, так и динамику того, как работает устройство и «Интернет вещей» и живет на протяжении всего его жизненного цикла (PLM). Digital Twins интегрируют искусственный интеллект, компьютерное обучение и аналитику программного обеспечения с данными для создания живых цифровых моделей моделирования, которые обновляются и изменяются по мере изменения их физических коллег. Цифровой двойник постоянно учится и обновляется из нескольких источников, чтобы представить их состояние, состояние или положение в реальном времени. Эта обучающая система, учится на себе, используя данные датчиков, которые передают различные аспекты его рабочего состояния; От человеческих экспертов, таких как инженеры с глубокими и соответствующими знаниями в области промышленности; от других подобных машин; от других подобных парков машин; и из более крупных систем и сред, в которых он может быть частью. Цифровой двойник также интегрирует исторические данные прошлого использования машины в факторную модель.

В различных отраслях промышленности цифровые близнецы уже используются для оптимизации работы и обслуживания физических активов, систем и производственных процессов. Они являются формирующей технологией для Industrial Internet of Things, где физические объекты могут жить и взаимодействовать с другими машинами и людьми практически. Стоит, впрочем, сказать, что сегодня происходит разделение понятий IoT и WoT [72] и без развития систем мобильной и дешевой радиосвязи, как мы говорили выше, такое развитие не может быть тотальным на всю железнодорожную сеть. Однако появление специализированного железнодорожного LTE-R дает такие возможности как, впрочем, и другие виды радиосвязи с необходимой пропускной способностью.

Примером того, как Digital Twins используются для оптимизации машин, является поддержание оборудования для производства электроэнергии, такого как энергетические турбины, реактивные двигатели и локомотивы. Другим примером цифровых двойников является использование 3D-моделирования для создания цифровых

компаньонов для физических объектов. Они могут использоваться для просмотра состояния фактического физического объекта, который предоставляет способ проектировать физические объекты в цифровой мир. В BIM направлении уже звучат высказывания о том, что BIM это и есть цифровой двойник [1]. Например, когда датчики собирают данные с подключенного устройства, данные датчиков могут использоваться для обновления «цифровой двойной» копии состояния устройства в реальном времени. Термин «тень устройства» также используется для концепции цифрового двойника. Цифровой двойник должен быть обновленной и точной копией свойств и состояний физического объекта, включая форму, положение, жест, состояние и движение. Аналогичные позиции возникают и в новом BIM, что делает возможным проведение цифровых тестирований виртуального подвижного состава и локомотивов на виртуальной же инфраструктуре.

Конечно цифровой двойник также может использоваться в процессе эксплуатации как подвижных, так и недвижимых активов для мониторинга, диагностики и прогнозирования для оптимизации совместной эффективности и использования активов. В этой области сенсорные данные могут быть объединены с историческими данными, человеческими знаниями и парком движущихся объектов и симуляционным обучением для улучшения результатов прогнозирования. Таким образом, комплексные прогнозы и платформы умной системы обслуживания (Intelligent Maintenance System), о которой шла речь выше, могут использовать использование цифровых близнецов для поиска основной причины проблем и повышения производительности цифровой железной дороги.

Для того чтобы цифровая железная дорога получила точно вовремя (JIT) локомотивы и подвижной состав, а также была построена точно вовремя (JIT) инфраструктура недостаточно только цифровых двойников – нужны динамичные механизмы реакции в реальном времени, работающие в реальном времени. Возможно этим «интеллектуальным динамическим клеем» сможет выступить блокчейн [23], потому что во многом это задачи не только производства, но и логистики [18,23] и возможно, что и мобильное производство так же будет уместным [24].

Возможности развития собственно самого PLM и его интерфейсов с другими технологиями так же значительны. Для понимания этого мы воспользовались материалами ведущего центра

США по тематике PLM – Purdue University PLM Center of Excellence (Центр управления жизненным циклом продукта). Этот центр управления жизненным циклом продукта (PLM) является междисциплинарным исследовательским центром в Университете Пердью (США). Центр объединяет таланты и ресурсы экспертов из Политехнического института Purdue, колледжей инженерных наук и школы менеджмента Krannert в единое целенаправленное предприятие, которое служит отраслевым ресурсом. Благодаря исследованиям, обучению и внедрению управления жизненным циклом продукта центр предоставляет своим партнерам в бизнесе и отрасли знания и инструменты для улучшения своей прибыльности.

Материалы этого центра от мая 2017 года так

собственно и называются – как технология цифровых двойников может помочь трансформации производств (How Digital Twin Technology Can Help Manufacturers Transform). В них говорится, что определение цифрового продукта является основой того, как информация о продукте перемещается через эту социальную-производственную систему.

Однако, производственный процесс все еще последовательный:

- повторное назначение динамической модели все еще отсутствует;
- MBD (model base definition-определение процесса через модель) должно выйти за пределы этой формы;
- полный цикл жизненного цикла все еще не подключен.

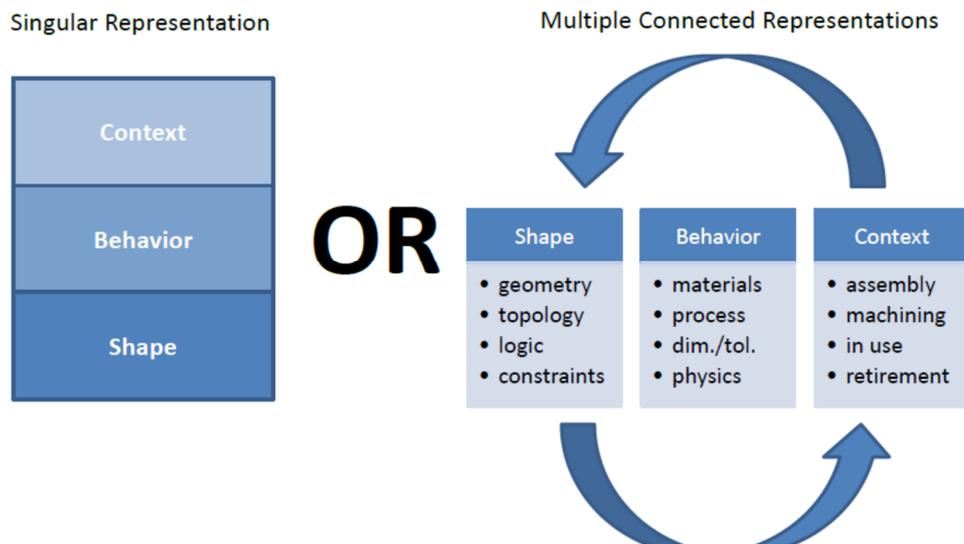


Рисунок 19. Сингулярное представление против множественных связанных представлений (источник – Purdue University PLM Center of Excellence)

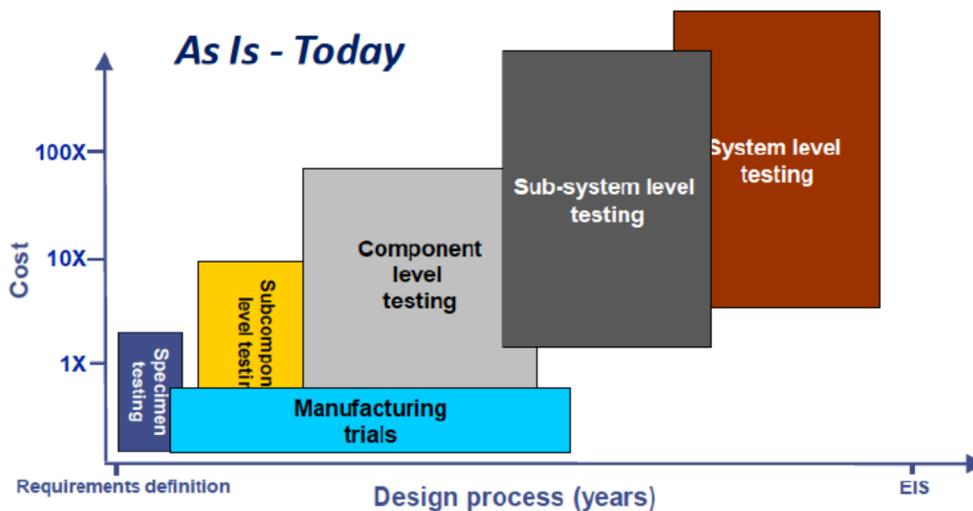


Рисунок 20. Как выглядит процесс производства сегодня (источник Purdue University PLM Center of Excellence)

Проблематика текущего состояния и необходимости будущих возможностей приведена на рисунке 19 и требования множественных связанных представлений практически совпадают с идеологией IFC и возможностями его развития.

На рисунках 20 и 21 так же приведены два вида производственных процессов. Будущих

процесс с физическим моделированием или MBD так же сближает позиции PLM с правилами IFC.

Собственно, физическое моделирование или MBD и есть основа возможностей построения цифровых двойников движущихся объектов цифровой железной дороги как показано на рисунке 22.

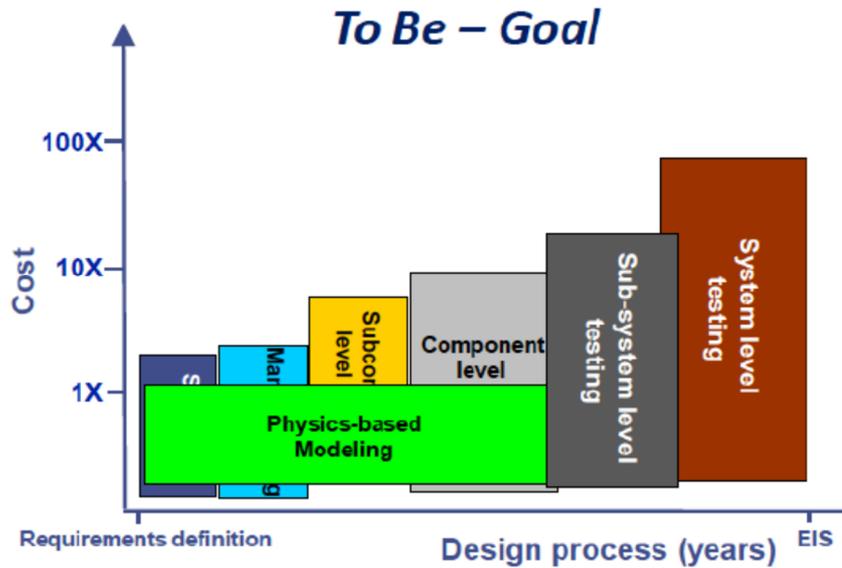


Рисунок 21. Как должен выглядеть производственный процесс завтра с физическим моделированием или MBD (источник – Purdue University PLM Center of Excellence)

## MBD and the Digital Twin

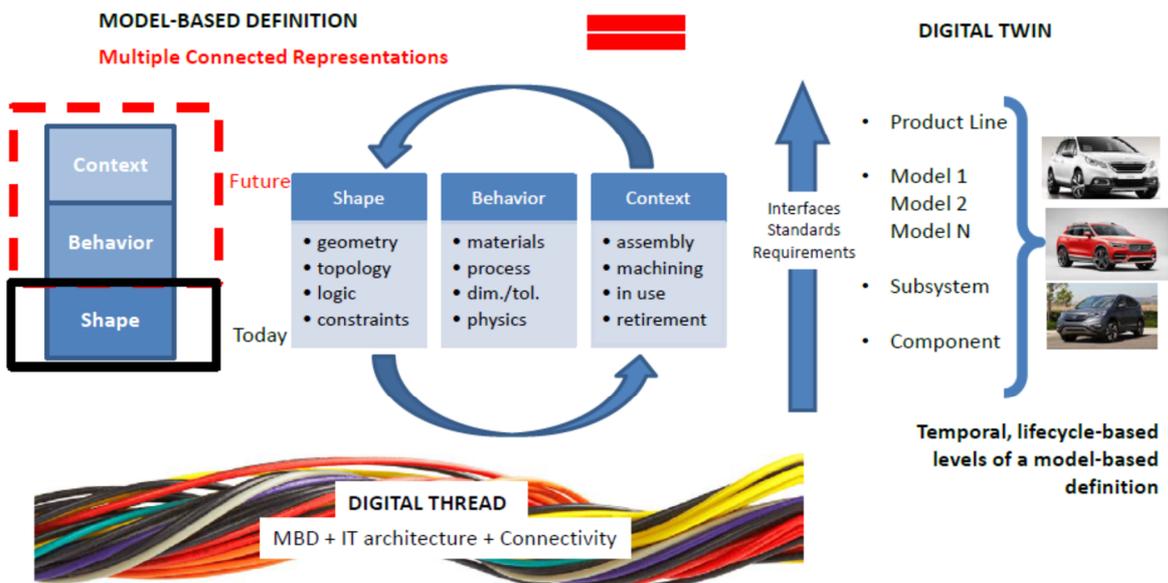


Рисунок 22. MBD и цифровые двойники (источник – Purdue University PLM Center of Excellence)

Объективными причинами для роста темы MBD и цифровых двойников считаются следующие прогнозируемые факты:

- К 2018 году 20% всего бизнес-контента будут созданы машинами
- К 2018 году более 3 миллионов рабочих во всем мире будут контролироваться через «goboboss»,
- К 2020 году более 35 миллиардов вещей будут подключены к Интернету
- Растущий диапазон материалов, пригодных для 3D-печати, к 2019 году составит совокупный годовой прирост в 64,1%.

Предприятие, базирующееся на моделях, (MBE-a model-based enterprise) – это новая производственная среда. Это организация, которая трансформировалась, чтобы использовать информацию из моделей в своих различных мероприятиях и процессах принятия решений. В этой среде модель служит в качестве динамического артефакта, используемого различными авторами и потребителями информации для выполнения соответствующих задач. MBE охватывает обратную связь от различных этапов жизненного цикла, чтобы улучшить представление модели для создания последующих продуктов и итераций продукта. Люди, работающие на предприятии, имеют

четкий и измеряемый взгляд на информацию о цифровых продуктах, которая может быть использована в повседневной работе.

Основанное на модели производство (MBx) это: разработка на основе моделей, производство на основе моделей (MBm), поддержка на основе моделей (MB) и любая другая модель (например, на IFC как части MBx) является категориями деятельности в предприятиях, базирующихся на моделях. Любые из этих действий (и люди в них) используют данные цифрового продукта для представления формы, поведенческой и контекстной информации, переносимой определением на основе модели, для выполнения их функциональной роли. Деятельность, основанная на модели, ведется, опираясь на интеллектуальные и архивные возможности моделей, отвечая на их высокие уровни соответствия (верности) физическому объекту или системе цифровых железных дорог.

Определение модели (MBD) – это вещь. Это цифровое представление (артефакт) объекта или системы. Оно является репрезентативным для физического объекта или системы и всех его атрибутов и используется для передачи информации в рамках различных MBx активностях на предприятии, основанном на модели.

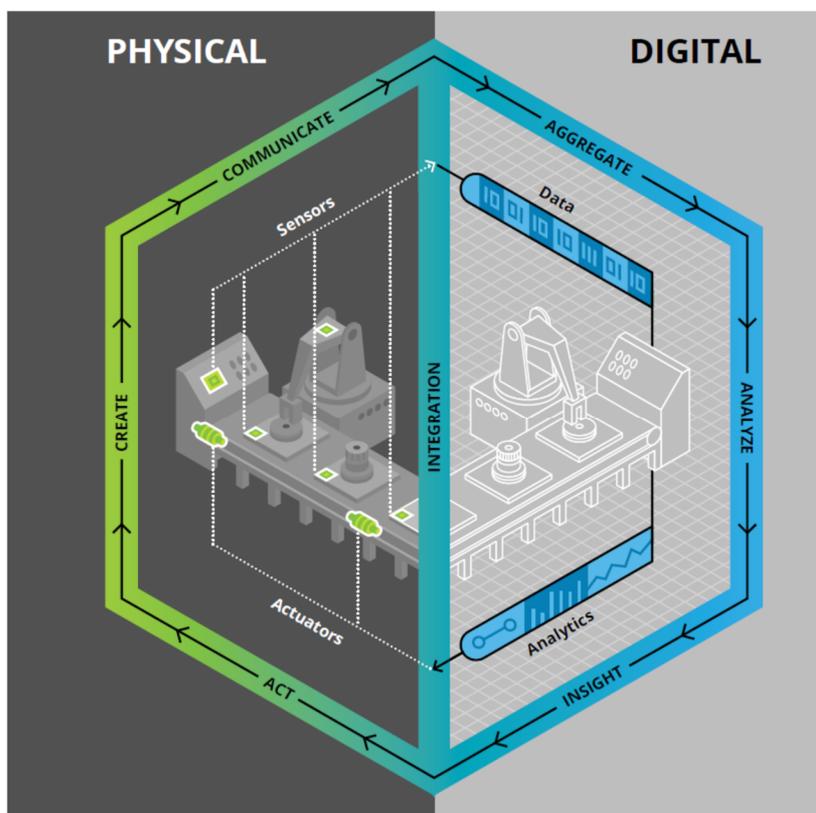


Рисунок 23. Производственный процесс на базе модели и цифровых двойников (источник [32])

MBD богата информацией – формой, поведением и контекстом – и она перемещает информационную архитектуру внутри предприятия (включая расширенную цепочку поставок и клиентов), предоставляя информацию различным авторам и потребителям, которые в ней нуждаются. Модельное определение аналогично цифровому двойнику, хотя большинство людей сегодня не думают об этом в таком широком представлении.

И цифровой поток представляет собой комбинацию MBD и ИТ-архитектуры, которая соединяет различные функциональные области предприятия на основе модели. На рисунке 23 показан производственный процесс на базе модели и цифровых двойников.

Наряду с приведенным выше примером принятия стандартов IFC для цифрового производства в сталелитейной промышленности США приведем цитату из [43] о производстве промышленной продукции для морских портов с помощью IFC: «Интеграция CADMATIC Plant Design и Tekla Structures с помощью IFC-интерфейса позволяет обеспечить свободный доступ к информации, объединив результаты проектирования на этапах КЖ и КМ (конструкции железобетонные и металлические для морских портов) с проектной моделью предприятия. Использование 3D-модели обеспечивает достижение экономической эффективности, улучшенной безопасности, более четкого контроля сроков выполнения проекта и в дальнейшем позволяет осуществлять контроль и анализ рисков при управлении предприятием».

В России ряд промышленных предприятий так же умеют использовать BIM для загрузки своих ЧПУ, но к сожалению эта практика не стала распространенной и тем более правилом отрасли.

## 6 Заключение

Адекватное управление информацией имеет жизненно важное значение для владельца дороги. Основываясь на информации о своей сети, владелец дороги может принять правильные решения в нужное время, чтобы свести к минимуму затраты на эксплуатацию, техническое обслуживание и строительство и реализовать максимальную производительность сетей инфраструктуры. Передача данных из одной организации в другую или одного процесса в другую происходят постоянно; это занимает много времени и уязвимо для потери информации и ошибок. Следовательно, существует потребность в новых стандартах для

информации и обмена информацией. Эти стандарты должны быть как на уровне данных, так и на уровне процесса.

Открытая технология BIM позволяет контролировать и транспортировать всю информацию от процесса к процессу, от фазы к фазе (даже в течение всего его жизненного цикла) и от организации до организации очень эффективным способом. Это становится все более важным, поскольку транспортники почти всегда работают на международном рынке. Мы полагаем что новый BIM станет одним из важнейших факторов для этого цифрового перехода в строительном секторе. В качестве предварительного условия объекты инфраструктуры должны использовать унифицированные описания инфраструктуры (один язык), одну уникальную схему классификации и подлежащую оцифрованной закупке. На сегодняшний день эти стандарты BIM разрабатываются на национальном и международном уровне. Однако необходима синхронизация этого развития на российском уровне.

Учитывая огромную важность этого направления и его влияние не только на транспорт, но и на промышленность, а также на обустройство городов и территорий мы попробовали сформулировать для обсуждения в этой части изложенного выше приоритеты национальной реформы в свете безусловного выполнения решений [5,6,7]. К ним как мы полагаем относятся:

1. Интеграция наших национальных железнодорожных, автомобильных, авиационных, портовых и морских цепочек поставок и улучшение интеграции между землепользованием и планированием инфраструктуры;
2. Повышение эффективности системы и максимальное использование существующей инфраструктуры, в то же время, отвечающее ожиданиям сообщества в отношении стабильности, безопасности, доступа и надежности;
3. Разработка устойчивых, эффективных моделей финансирования и реализации проектов;
4. Улучшение возможностей инфраструктуры и транспортных систем для реагирования на новые и возникающие проблемы и нагрузки, а также на уменьшении необходимости в дорогостоящей новой инфраструктуре;
5. Улучшение экологических характеристик инфраструктуры и транспортных систем, включая смягчение неблагоприятных

- экологических последствий, таких как выбросы вредных веществ от транспорта;
6. Продолжение акцента на безопасности на транспорте при сохранении осведомленности о технологических изменениях (позитивных и

- разрушительных), которые могут повлиять на устойчивость и безопасность;
7. Устранение барьеров на пути инноваций и использовании новых и появляющихся технологий.

## Литература

1. BIM THE DIGITAL TWIN. Garry Nodwell Chief Technologist (BIM) United Utilities INSTITUTE OF WATER MAGAZINE. SUMMER 2017. ISSUE 194.
2. NATIONAL POLICY FRAMEWORK FOR LAND TRANSPORT TECHNOLOGY ACTION PLAN: 2016–2019 Transport and Infrastructure Council Commonwealth of Australia 2016 ISBN 978-1-925401-82-0 August 2016 / INFRA-2991
3. Land Transport Regulation 2040. Technology, trends and other factors of change. Foundation paper NTC Australia National Transport Commission. October, 2016.
4. Guideline. Building Information Modelling (BIM) for Transport and Main Roads A guide to enabling BIM on Road Infrastructure Projects. May 2017. State of Queensland (Department of Transport and Main Roads), 2017.
5. Указ Президента Российской Федерации «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» от 1 декабря 2016 года № 642.
6. Указ Президента Российской Федерации «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации» от 9 мая 2017 года № 2013.
7. Указ Президента Российской Федерации «О стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года» от 13 мая 2017 года № 208.
8. The Business Value of BIM for Infrastructure 2017 SmartMarket Report. Dodge Data & Analytics, 2017.
9. ОТЧЕТ. Оценка применения BIM-технологий в строительстве. Результаты исследования эффективности применения BIM-технологий в инвестиционно-строительных проектах российских компаний. НИУ МГСУ совместно с ООО «КОНКУРАТОР». Москва, 2016.
10. Rail supply digitization. Roland Berger study. January, 2017.
11. Добрынин А.П., Черных К.Ю., Куприяновский В.П., Куприяновский П.В., Сиягов С.А. Цифровая экономика – различные пути к эффективному применению технологий (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA и другие) // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Том 4, № 1. – С. 4-11.
12. Куприяновский В.П., Уткин Н.А., Намиот Д.Е., Куприяновский П.В. Цифровая экономика = модели данных + большие данные + архитектура + приложения? // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Том 4, № 5. – С. 1-13.
13. Куприяновский В.П., Соколов И.А., Талашкин Г.Н., Дунаев О.Н., Зажигалкин А.В., Распопов В.В., Намиот Д.Е., Покусаев О.Н. Цифровая совместная экономика: технологии, платформы и библиотеки в промышленности, строительстве, транспорте и логистике // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 6. – С. 56-75.
14. Куприяновский В.П., Суконников Г.В., Сиягов С.А., Намиот Д.Е., Евтушенко С.Н., Федорова Н.О. Интернет цифровой железной дороги // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Том 4, № 12. – С. 53-68.
15. Куприяновский В.П. и др. Стандартизация Умных городов, Интернета вещей и Больших данных. Соображения по практическому использованию в России // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Том 4, № 2. – С. 34-40.
16. Куприяновский В.П., Куренков П.В., Бубнова Г.В., Дунаев О.П., Сиягов С.А., Намиот Д.Е. Экономика инноваций цифровой железной дороги. Опыт Великобритании // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 3. – С. 79-99.
17. Куприяновский В.П., Сиягов С.А., Суконников Г.В., Федорова Н.О., Добрынин А.П., Намиот Д.Е. Новая парадигма цифровой железной дороги – стандартизация жизненного цикла активов // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 2. – С. 64-84.
18. Куприяновский В.П., Евтушенко С.Н., Дунаев О.Н., Бубнова Г.В., Дрожжинов В.И., Намиот Д.Е., Сиягов С.А. Пправительство, промышленность, логистика, инновации и интеллектуальная мобильность в цифровой экономике // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Том 13, № 1. – С. 58-80.
19. Замолотчиков Д.Г., Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Суконников Г.В., Федорова Н.О., Бубнов П.М. Комфортная среда и ресурсосбережение на пассажирских станциях и вокзалах в жизненном цикле активов цифровых железных дорог // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 3. – С. 100-116.
20. Куприяновский В.П., Суконников Г.В., Дунаев О.Н., Федорова Н.О., Куприяновский П.В., Намиот Д.Е. Пропускная способность и экономика цифровой железной дороги при трансформации сигнализации и управления поездами // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 3. – С. 117-132.
21. Куприяновский В.П., Соколов И.А., Дунаев О.Н., Зажигалкин А.В., Евтушенко С.Н., Степаненко А.В., Покусаев О.Н., Куприяновская Ю.В. Соображения по проблемам создания цифровой железной дороги для нового шелькового пути трансконтинентального логистического партнерства в целях экономического развития стран, входящих в ЕАЭС и России // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 9. – С. 119-140.
22. Соколов И.А., Куприяновский В.П., Дунаев О.Н., Сиягов С.А., Куренков П.В., Намиот Д.Е., Добрынин А.П., Колесников А.Н., Гоник М.М. Прорывные инновационные технологии для инфраструктур. Евразийская цифровая железная дорога как основа логистического коридора нового Шелкового пути // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 9. – С. 102-118.
23. Куприяновский В.П., Сиягов С.А., Климов А.А., Петров А.В., Намиот Д.Е. Цифровые цепи поставок и технологии на базе блокчейн в совместной экономике // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 8. – С. 80-95.
24. Куприяновский В.П., Соколов И.А., Евтушенко С.Н., Дунаев О.Н., Распопов В.В., Намиот Д.Е., Уткин Н.А., Куприяновский П.В. Мобильное производство на базе совместной экономики, цифровых технологий и логистики // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 8. – С. 47-69.
25. Куприяновский В.П. и др. Интернет Вещей на промышленных предприятиях // International Journal of Open Information

- Technologies. – 2016. – Том 4, № 12. – С. 69-78.
26. Куприяновский В.П. и др. Трансформация промышленности в цифровой экономике — проектирование и производство // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 1. – С. 50-70.
  27. Куприяновский В.П. и др. Трансформация промышленности в цифровой экономике – экосистема и жизненный цикл // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 1. – С. 34-49.
  28. Куприяновский В.П., Сияглов С.А., Намиот Д.Е., Шнепс-Шнеппе М.А., Ишмуратов А.Р., Добрынин А.П., Колесников А.Н. Гигабитное общество и инновации в цифровой экономике // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Том 13, № 1. – С. 89-115.
  29. Куприяновский В.П., Сияглов 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. – Том 4, №3. – С. 1-8.
  30. Куприяновский В.П., Сияглов 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. – Том 4, №. 3. – С. 9-20.
  31. Соколов И.А., Куприяновский В.П., Сияглов С.А., Андреев А.И., Намиот Д.Е., Бубнов П.М., Добрынин А.П., Куприяновский П.В. Умные города, инфраструктуры и их антитеррористическая устойчивость. Опыт интеграции антитеррористических стандартов США и создания программного обеспечения для цифровой безопасности // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 7. – С. 45-65.
  32. Industry 4.0 and the digital twin. Manufacturing meets its match. 2017 Deloitte Development LLC.
  33. IMPACTS AND BENEFITS OF IMPLEMENTING BUILDING INFORMATION MODELING ON BRIDGE INFRASTRUCTURE PROJECTS. A University Transportation Center sponsored by the U.S. Department of Transportation serving the Mountain-Plains Region. 2014.
  34. 34.Bridge Information Model Standardization. VOLUME II: SCHEMA ANALYSIS. April 2016. U S Department of Transportation Federal Highway Administration FHWA-HIF-16-011.
  35. Bridge Information Model Standardization VOLUME I: INFORMATION EXCHANGES April 2016. U S Department of Transportation Federal Highway Administration. FHWA-HIF-16-011.
  36. Bridge Information Modeling Standardization INTRODUCTION . April 2016. . U S Department of Transportation Federal Highway Administration. FHWA-HIF-16-011.
  37. Digital Documentation of Element Condition for Bridge Evaluation. Yelda Turkan, PhD Transportation Engineer Institute for Transportation Iowa State University Simon Laflamme, PhD Assistant Professor Civil, Construction, and Environmental Engineering Firas Al-Shalabi Research Assistant Institute for Transportation Iowa State University 2015. A Cooperative Research Project sponsored by U.S. Department of Transportation-Research and Innovative Technology Administration.
  38. Jousting with Dragons: A Resilience Engineering approach to managing SMS in the transport sector Discussion Paper 2017-19. Prepared for the Roundtable on Safety Management Systems (23-24 March, 2017 – Paris) Eric Arne Lofquist BI Norwegian Business School, Bergen, Norway. August, 2017.
  39. ENGINEERING DRAFTING GUIDELINES FOR HIGHWAY AND BRIDGE PROJECTS VERSION 2.1. Alberta Transportation. June, 2016.
  40. A NEW METHODOLOGY FOR INTEROPERABILITY OF HETEROGENEOUS BRIDGE INFORMATION MODELS A Dissertation Presented to The Academic Faculty By Aaron Costin In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the School of Civil and Environmental Engineering Georgia Institute of Technology. May, 2016.
  41. Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector. Strategic action for construction sector performance: driving value, innovation and growth. EUBIM Task Group. Co-funded by European Union, 2017.
  42. Information management for European Road Infrastructure using Linked Data. Investigation Requirements. March, 31. 2017. Document name INTERLINK D.2 D.3 – WPA & WPB Report.docx.
  43. Рантала Ю. Новая эпоха взаимодействия в создании промышленных предприятий и морских сооружений // Рациональное Управление Предприятием. – 2017. № 1. – С. 46-47.
  44. Technical Report 2017/06 TG Asset Management final report CEDR, 2017.
  45. BIM WITH BOOTS ON. FINALCAD. 2017.
  46. Michael Filzmoser, Iva Kovacic, and Dragos-Cristian Vasilescu. Integrated Design Studios: Education to Overcome Silo-thinking and Enable Full BIM-exploitation in AEC. The Engineering Project Organization Journal (August 2017) 7, 1.
  47. Technical Report 2017-05 Utilising BIM for NRA, CEDR, April, 2017.
  48. Ertms EUROPEAN RAIL TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM Deployment action plan THE TRANS-EUROPEAN TRANSPORT NETWORK. Mobility and Transport. EC, 2017.
  49. We create the railway of the future. Bane NOR. 2017
  50. Шнепс-Шнеппе М. А. и др. Цифровая железная дорога и переход от сети GSM-R к LTE-R и 5G-R-состоится ли он? // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 1.-С. 71-80.
  51. Сияглов С.А., Куприяновский В.П., Куренков П.В., Намиот Д.Е., Степаненко А.В., Бубнов П.М., Распопов В.В., Селезнев С.П., Куприяновская Ю.В. Строительство и инженерия на основе стандартов BIM как основа трансформаций инфраструктур в цифровой экономике // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 5. – С. 46-79.
  52. Kupriyanovsky V. et al. Digital Railroad-an integrated information model as the basis of the digital transformation // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С. 32-42.
  53. Sinyagov S. et al. Digital Railroad-create digital assets. Based on materials from Network Rail (UK) project asset management system modernization // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С. 43-54.
  54. Намиот Д.Е., Куприяновский В.П., Николаев Д., Зубарева Е.В. Стандарты в области больших данных // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Том 4, № 11. – С. 12-18.
  55. Куприяновский В.П. и др. Цифровая экономика и интернет вещей. Преодоление силоса данных // International Journal of Open Information Technologies – 2016. – Том 4, № 8. – С. 36-42.
  56. Bridges for Service Life Beyond 100 Years: Service Limit State Design Modjeski and Masters, Inc. with University of Nebraska, Lincoln University of Delaware NCS Consultants, LLC. 2015.
  57. Thomas, Larry W. Legal Issues Surrounding the Use of Digital Intellectual Property on Design and Construction Projects. 2013.
  58. Tamera L. McCuen and Dominique M. Pittenger Building Information Modeling for Airports. 2016.
  59. The Future for Construction. Product Manufacturing Digitalisation, Industry 4.0 and the Circular Economy. October, 2016.
  60. Steve Thompson PCSG Ltd on behalf of the BIM Task Group Product Data Definition. A technical specification for defining and sharing structured digital construction product information. 13, April, 2016.

61. Jim Plume, John Mitchell, David Marchant, Peter Newton Precinct Information Modelling. Position Paper. CRC for Low Carbon Living Ltd supported by the Cooperative Research Centres program, an Australian Government initiative. August, 2017.
62. ADVANCES IN CIVIL INTEGRATED MANAGEMENT SCAN TEAM REPORT. NCHRP Project 20-68A, Scan 13-02 Supported by the National Cooperative Highway Research Program. April, 2015.
63. Working with Open BIM Standards to Source Legal Spaces for a 3D Cadastre GIMA MSc. Thesis. 07, March 2016.
64. Akinade, O.O. (2017) BIM-based software for construction waste analytics using artificial intelligence hybrid models. PhD, University of the West of England. Available from: <http://eprints.uwe.ac.uk/31762>
65. Schaijk Stijn van, afstudeerverslag Building Information Model (BIM) based process mining Eindhoven University of Technology, 2016. URL: <https://www.dropbox.com/s/ww1htr6kahuv717/Master%20Thesis%20Stijn%20van%20Schaijk%20Digital%20Version.pdf?dl=0>
66. Yu Manlin, afstudeerverslag A Linked Data approach for information integration between BIM and sensor values. 2016.
67. E. (Esper) Achkar A BIM-integrated approach to Construction Quality Management. Enabling information and knowledge management during the execution phase of a project lifecycle. 2016.
68. Соколов И.А., Дрожжинов В.И., Райков А.Н., Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Сухомлин В.А. Искусственный интеллект как стратегический инструмент экономического развития страны и совершенствования ее государственного управления. Часть 2. Перспективы применения искусственного интеллекта в России для государственного управления // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 9. – С. 76-101.
69. Соколов И.А., Дрожжинов В.И., Райков А.Н., Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Сухомлин В.А. Искусственный интеллект как стратегический инструмент экономического развития страны и совершенствования ее государственного управления. Часть 1. Опыт Великобритании и США // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 9. – С. 57-75.
70. 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.
71. BIM for Heritage. Developing a Historic Building Information. Published by Historic England July 2017
72. Куприяновский В.П. и др. Оптимизация ресурсов в цифровой экономике // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Том 4, № 12. – С. 86-96.
73. Китаев А.Е. и др. Железнодорожная станция 2.0. Новая концепция развития цифровой железной дороги // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 2. – С. 85-96.
74. Замолотчиков Д.Г. и др. Комфортная среда и ресурсосбережение на пассажирских станциях и вокзалах в жизненном цикле активов цифровых железных дорог. // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 3. – С. 100-116.
75. Куприяновский В.П., Шнепс-Шнеппе М.А., Намиот Д.Е., Селезнев С.П., Синягов С.А., Куприяновская Ю.В. Веб Вещей и Интернет Вещей в цифровой экономике // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 5. – С. 38-45.

## References

1. BIM THE DIGITAL TWIN. Garry Nodwell Chief Technologist (BIM) United Utilities INSTITUTE OF WATER MAGAZINE. SUMMER 2017. ISSUE 194.
2. NATIONAL POLICY FRAMEWORK FOR LAND TRANSPORT TECHNOLOGY ACTION PLAN: 2016–2019 Transport and Infrastructure Council Commonwealth of Australia 2016 ISBN 978-1-925401-82-0 August 2016 / INFRA-2991
3. Land Transport Regulation 2040. Technology, trends and other factors of change. Foundation paper NTC Australia National Transport Commission. October, 2016.
4. Guideline. Building Information Modelling (BIM) for Transport and Main Roads A guide to enabling BIM on Road Infrastructure Projects. May 2017. State of Queensland (Department of Transport and Main Roads), 2017.
5. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii «O Strategii nauchno-tehnologicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii» ot 1 dekabrya 2016 goda № 642.
6. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii «O strategii razvitiya informacionnogo obshhestva v Rossijskoj Federacii» ot 9 maja 2017 goda № 2013.
7. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii «O strategii jekonomicheskoy bezopasnosti Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda» ot 13 maja 2017 goda № 208.
8. The Business Value of BIM for Infrastructure 2017 SmartMarket Report. Dodge Data & Analytics, 2017.
9. ОТЧЕТ. Оценка применения BIM-технологий в строительстве. Результаты исследования эффективности применения BIM-технологий в инвестиционно-строительных проектах российских компаний. НИУ МГСУ совместно с ООО «KONKURATOR». Москва, 2016.
10. Rail supply digitization. Roland Berger study. January, 2017.
11. Dobrynin A.P., Chernyh K.Ju., Kupriyanovskij V.P., Kupriyanovskij P.V., Sinjagov S.A. Cifrovaja jekonomika – razlichnye puti k jeffektivnomu primeneniju tehnologij (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA i drugie) // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Том 4, № 1. – С. 4-11.
12. Kupriyanovskij V.P., Utkin N.A., Namiot D.E., Kupriyanovskij P.V. Cifrovaja jekonomika = modeli dannyh + bol'shie dannye + arhitektura + prilozhenija? // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Том 4, № 5. – С. 1-13.
13. Kupriyanovskij V.P., Sokolov I.A., Talashkin G.N., Dunaev O.N., Zazhigalkin A.V., Raspopov V.V., Namiot D.E., Pokusaev O.N. Cifrovaja sovmestnaja jekonomika: tehnologii, platformy i biblioteki v promyshlennosti, stroitel'stve, transporte i logistike // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 6. – С. 56-75.
14. Kupriyanovskij V.P., Sukonnikov G.V., Sinjagov S.A., Namiot D.E., Evtushenko S.N., Fedorova N.O. Internet cifrovoy zheleznoj dorogi // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Том 4, № 12. – С. 53-68.
15. Kupriyanovskij V.P. i dr. Standartizacija Umnyh gorodov, Interneta veshhej i Bol'shij dannyh. Soobrazhenija po prakticheskomu ispol'zovaniju v Rossii // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Том 4, № 2. – С. 34-40.
16. Kupriyanovskij V.P., Kurenkov P.V., Bubnova G.V., Dunaev O.P., Sinjagov S.A., Namiot D.E. Jekonomika innovacij cifrovoy zheleznoj dorogi. Opyt Velikobritanii // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 3. – С. 79-99.
17. Kupriyanovskij V.P., Sinjagov S.A., Sukonnikov G.V., Fedorova N.O., Dobrynin A.P., Namiot D.E. Novaja paradigma cifrovoy zheleznoj dorogi – standartizacija zhiznennogo cikla aktivov // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 2. – С. 64-84.

18. Kuprijanovskij V.P., Evtushenko S.N., Dunaev O.N., Bubnova G.V., Drozhzhin V.I., Namiot D.E., Sinjagov S.A. Ppravitel'stvo, promyshlennost', logistika, innovacii i intellektual'naja mobil'nost' v cifrovoj jekonomike // Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie. – 2017. – Tom 13, № 1. – S. 58-80.
19. Zamolodchikov D.G., Kuprijanovskij V.P., Namiot D.E., Sukonnikov G.V., Fedorova N.O., Bubnov P.M. Komfortnaja sreda i resursosberezhenie na passazhirskih stancijah i vokzalah v zhiznennom cikle aktivov cifrovych zheleznyh dorog // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Tom 5, № 3. – S. 100-116.
20. Kuprijanovskij V.P., Sukonnikov G.V., Dunaev O.N., Fedorova N.O., Kuprijanovskij P.V., Namiot D.E. Propusknaja sposobnost' i jekonomika cifrovoj zheleznoj dorogi pri transformacii signalizacii i upravlenija poezdami // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Tom 5, № 3. – S. 117-132.
21. Kuprijanovskij V.P., Sokolov I.A., Dunaev O.N., Zazhigalkin A.V., Evtushenko S.N., Stepanenko A.V., Pokusaev O.N., Kuprijanovskaja Ju.V. Soobrazhenija po problemam sozdanija cifrovoj zheleznoj dorogi dlja novogo shelkovogo puti transkontinental'nogo logisticheskogo partnerstva v celjah jekonomicheskogo razvitiya stran vhodjashih v EAJeS i Rossii // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Tom 5, № 9. – S. 119-140.
22. Sokolov I.A., Kuprijanovskij V.P., Dunaev O.N., Sinjagov S.A., Kurenkov P.V., Namiot D.E., Dobrynin A.P., Kolesnikov A.N., Gonik M.M. Proryvnye innovacionnye tehnologii dlja infrastruktur. Evrazijskaja cifrovaja zheleznaia doroga kak osnova logisticheskogo koridora novogo Shelkovogo puti // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Tom 5, № 9. – S. 102-118.
23. Kuprijanovskij V.P., Sinjagov S.A., Klimov A.A., Petrov A.V., Namiot D.E. Cifrovye cepi postavok i tehnologii na baze blokchejn v sovmestnoj jekonomike // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Tom 5, № 8. – S. 80-95.
24. Kuprijanovskij V.P., Sokolov I.A., Evtushenko S.N., Dunaev O.N., Raspopov V.V., Namiot D.E., Utkin N.A., Kuprijanovskij P.V. Mobil'noe proizvodstvo na baze sovmestnoj jekonomiki, cifrovych tehnologii i logistiki // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Tom 5, № 8. – S. 47-69.
25. Kuprijanovskij V.P. i dr. Internet Veshhej na promyshlennyh predpriyatijah // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Tom 4, № 12. – S. 69-78.
26. Kuprijanovskij V.P. i dr. Transformacija promyshlennosti v cifrovoj jekonomike — proektirovanie i proizvodstvo // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Tom 5, № 1. – S. 50-70.
27. Kuprijanovskij V.P. i dr. Transformacija promyshlennosti v cifrovoj jekonomike – jekosistema i zhiznennyj cikel // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Tom 5, № 1. – S. 34-49.
28. Kuprijanovskij V.P., Sinjagov S.A., Namiot D.E., Shnepes-Shneppe M.A., Ishmuratov A.R., Dobrynin A.P., Kolesnikov A.N. Gigabitnoe obshhestvo i innovacii v cifrovoj jekonomike // Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie. – 2017. – Tom 13, № 1. – S. 89-115.
29. Kuprijanovskij V.P., Sinjagov S.A., Dobrynin A.P. BIM – Cifrovaja jekonomika. Kak dostigli uspeha? Prakticheskij podhod k teoreticheskoi koncepcii. Chast' 1. Podhody i osnovnye preimushhestva BIM // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Tom 4, № 3. – S. 1-8.
30. Kuprijanovskij V.P., Sinjagov S.A., Dobrynin A.P. BIM-Cifrovaja jekonomika. Kak dostigli uspeha? Prakticheskij podhod k teoreticheskoi koncepcii. Chast' 2. Cifrovaja jekonomika // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Tom 4, № 3. – S. 9-20.
31. Sokolov I.A., Kuprijanovskij V.P., Sinjagov S.A., Andreev A.I., Namiot D.E., Bubnov P.M., Dobrynin A.P., Kuprijanovskij P.V. Umnye goroda, infrastruktury i ih antiterroristicheskaja ustojchivost'. Opyt integracii antiterroristicheskikh standartov SShA i sozdanija programmnoo obespechenija dlja cifrovoj bezopasnosti // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Tom 5, № 7. – S. 45-65.
32. Industry 4.0 and the digital twin. Manufacturing meets its match. 2017 Deloitte Development LLC.
33. IMPACTS AND BENEFITS OF IMPLEMENTING BUILDING INFORMATION MODELING ON BRIDGE INFRASTRUCTURE PROJECTS. A University Transportation Center sponsored by the U.S. Department of Transportation serving the Mountain-Plains Region. 2014.
34. Bridge Information Model Standardization. VOLUME II: SCHEMA ANALYSIS. April 2016. U S Department of Transportation Federal Highway Administration FHWA-HIF-16-011.
35. Bridge Information Model Standardization VOLUME I: INFORMATION EXCHANGES April 2016. U S Department of Transportation Federal Highway Administration. FHWA-HIF-16-011.
36. Bridge Information Modeling Standardization INTRODUCTION. April 2016. . U S Department of Transportation Federal Highway Administration. FHWA-HIF-16-011.
37. Digital Documentation of Element Condition for Bridge Evaluation. Yelda Turkan, PhD Transportation Engineer Institute for Transportation Iowa State University Simon Laflamme, PhD Assistant Professor Civil, Construction, and Environmental Engineering Firas Al-Shalabi Research Assistant Institute for Transportation Iowa State University 2015. A Cooperative Research Project sponsored by U.S. Department of Transportation-Research and Innovative Technology Administration.
38. Jousting with Dragons: A Resilience Engineering approach to managing SMS in the transport sector Discussion Paper 2017-19. Prepared for the Roundtable on Safety Management Systems (23-24 March, 2017 – Paris) Eric Arne Lofquist BI Norwegian Business School, Bergen, Norway. August, 2017.
39. ENGINEERING DRAFTING GUIDELINES FOR HIGHWAY AND BRIDGE PROJECTS VERSION 2.1. Alberta Transportation. June, 2016.
40. A NEW METHODOLOGY FOR INTEROPERABILITY OF HETEROGENEOUS BRIDGE INFORMATION MODELS A Dissertation Presented to The Academic Faculty By Aaron Costin In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the School of Civil and Environmental Engineering Georgia Institute of Technology. May, 2016.
41. Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector. Strategic action for construction sector performance: driving value, innovation and growth. EUBIM Task Group. Co-funded by European Union, 2017.
42. Information management for European Road Infrastructure using Linked Data. Investigation Requirements. March, 31. 2017. Document name INTERLINK D.2 D.3 – WPA & WPB Report.docx.
43. Rantala Ju. Novaja jepoha vzaimodejstvija v sozdanii promyshlennyh predpriyatij i morskich sooruzhenij // Racional'noe Upravlenie Predpriyatiem. – 2017. № 1. – S. 46-47.
44. Technical Report 2017/06 TG Asset Management final report CEDR, 2017.
45. BIM WITH BOOTS ON. FINALCAD. 2017.
46. Michael Filzmoser, Iva Kovacic, and Dragos-Cristian Vasilescu. Integrated Design Studios: Education to Overcome Silo-thinking and Enable Full BIM-exploitation in AEC. The Engineering Project Organization Journal (August 2017) 7, 1.
47. Technical Report 2017-05 Utilising BIM for NRA, CEDR, April, 2017.
48. Ertms EUROPEAN RAIL TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM Deployment action plan THE TRANS-EUROPEAN TRANSPORT NETWORK.

- Mobility and Transport. EC. 2017.
49. We create the railway of the future. Bane NOR. 2017
  50. Shneps-Shneppe M. A. i dr. Cifrovaja zheleznaia doroga i perehod ot seti GSM-R k LTE-R i 5G-R-sostoitsja li on? // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 1.-S. 71-80.
  51. Sinjagov S.A., Kuprijanovskij V.P., Kurenkov P.V., Namiot D.E., Stepanenko A.V., Bubnov P.M., Raspopov V.V., Seleznev S.P., Kuprijanovskaja Ju.V. Stroitel'stvo i inzhenerija na osnove standartov BIM kak osnova transformacij infrastruktur v cifrovoj jekonomike // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 5. – S. 46-79.
  52. Kuprijanovskij V. et al. Digital Railroad-an integrated information model as the basis of the digital transformation // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – S. 32-42.
  53. Sinyagov S. et al. Digital Railroad-create digital assets. Based on materials from Network Rail (UK) project asset management system modernization // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – S. 43-54.
  54. Namiot D.E., Kuprijanovskij V.P., Nikolaev D., Zubareva E.V. Standarty v oblasti bol'shikh dannyh // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Том 4, № 11. – S. 12-18.
  55. Kuprijanovskij V.P. i dr. Cifrovaja jekonomika i internet veshhej. Preodolenie silosa dannyh // International Journal of Open Information Technologies – 2016. – Том 4, № 8. – S. 36-42.
  56. Bridges for Service Life Beyond 100 Years: Service Limit State Design Modjeski and Masters, Inc. with University of Nebraska, Lincoln University of Delaware NCS Consultants, LLC. 2015.
  57. Thomas, Larry W. Legal Issues Surrounding the Use of Digital Intellectual Property on Design and Construction Projects. 2013.
  58. Tamera L. McCuen and Dominique M. Pittenger Building Information Modeling for Airports. 2016.
  59. The Future for Construction. Product Manufacturing Digitalisation, Industry 4.0 and the Circular Economy. October, 2016.
  60. Steve Thompson PCSC Ltd on behalf of the BIM Task Group Product Data Definition. A technical specification for defining and sharing structured digital construction product information. 13, April, 2016.
  61. Jim Plume, John Mitchell, David Marchant, Peter Newton Precinct Information Modelling. Position Paper. CRC for Low Carbon Living Ltd supported by the Cooperative Research Centres program, an Australian Government initiative. August, 2017.
  62. ADVANCES IN CIVIL INTEGRATED MANAGEMENT SCAN TEAM REPORT. NCHRP Project 20-68A, Scan 13-02 Supported by the National Cooperative Highway Research Program. April, 2015.
  63. Working with Open BIM Standards to Source Legal Spaces for a 3D Cadastre GIMA MSc. Thesis. 07, March 2016.
  64. Akinade, O.O. (2017) BIM-based software for construction waste analytics using artificial intelligence hybrid models. PhD, University of the West of England. Available from: <http://eprints.uwe.ac.uk/31762>
  65. Schaijk Stijn van, afstudeerverslag Building Information Model (BIM) based process mining Eindhoven University of Technology, 2016. URL: <https://www.dropbox.com/s/ww1htr6kahuv717/Master%20Thesis%20Stijn%20van%20Schaijk%20Digital%20Version.pdf?dl=0>
  66. Yu Manlin, afstudeerverslag A Linked Data approach for information integration between BIM and sensor values. 2016.
  67. E. (Esper) Achkar A BIM-integrated approach to Construction Quality Management. Enabling information and knowledge management during the execution phase of a project lifecycle. 2016.
  68. Sokolov I.A., Drozhzhinov V.I., Rajkov A.N., Kuprijanovskij V.P., Namiot D.E., Suhomlin V.A. Iskusstvennyj intellekt kak strategicheskij instrument jekonomicheskogo razvitija strany i sovershenstvovaniya ee gosudarstvennogo upravlenija. Chast' 2. Perspektivy primenenija iskusstvennogo intellekta v Rossii dlja gosudarstvennogo upravlenija // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 9. – S. 76-101.
  69. Sokolov I.A., Drozhzhinov V.I., Rajkov A.N., Kuprijanovskij V.P., Namiot D.E., Suhomlin V.A. Iskusstvennyj intellekt kak strategicheskij instrument jekonomicheskogo razvitija strany i sovershenstvovaniya ee gosudarstvennogo upravlenija. Chast' 1. Opyt Velikobritanii i SSHA // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 9. – S. 57-75.
  70. Kuprijanovskij V. et al. The new five-year plan for BIM-infrastructure and Smart Cities // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 8. – S. 20-35.
  71. BIM for Heritage. Developing a Historic Building Information. Published by Historic England July 2017
  72. Kuprijanovskij V.P. i dr. Optimizacija resursov v cifrovoj jekonomike // International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Том 4, № 12. – S. 86-96.
  73. Kitaev A.E. i dr. Zheleznodorozhnaja stancija 2.0. Novaja koncepcija razvitija cifrovoj zheleznoj dorogi // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 2. – S. 85-96.
  74. Zamolodchikov D.G. i dr. Komfortnaja sreda i resursosberezhenie na passazhirskih stancijah i vokzalah v zhizennom cikle aktivov cifrovyh zheleznyh dorog. // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 3. – S. 100-116.
  75. Kuprijanovskij V.P., Shneps-Shneppe M.A., Namiot D.E., Seleznev S.P., Sinjagov S.A., Kuprijanovskaja Ju.V. Veb Veshhej i Internet Veshhej v cifrovoj jekonomike // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Том 5, № 5. – S. 38-45.

Поступила 20.09.2017

#### Об авторах:

**Куприяновский Василий Павлович**, заместитель директора Национального центра компетенций в области цифровой экономики, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, [vpkupriyanovsky@gmail.com](mailto:vpkupriyanovsky@gmail.com)

**Аленьков Вячеслав Владимирович**, директор по системной инженерии и информационным технологиям, Госкорпорация «Росатом»; Акционерное общество Инжиниринговая компания «АСЭ», [alenkov@mail.ru](mailto:alenkov@mail.ru)

**Климов Александр Алексеевич**, кандидат технических наук, первый проректор, Российский университет транспорта (МИИТ), [aaklimov1961@gmail.com](mailto:aaklimov1961@gmail.com)

**Соколов Игорь Анатольевич**, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, директор, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, [isokolovran@gmail.com](mailto:isokolovran@gmail.com)

**Зажигалкин Александр Владимирович**, Начальник Центра инновационного развития, ОАО «Российские железные дороги», [zashigalkin@mail.ru](mailto:zashigalkin@mail.ru)

**Note on the authors:**

**Kupriyanovsky Vasily P.**, Deputy Director of the National Compensation Center for Digital Economy, Lomonosov Moscow State University, [vpkupriyanovsky@gmail.com](mailto:vpkupriyanovsky@gmail.com)

**Alenkov Vyacheslav V.**, Director of Systems Engineering and Information Technology, Rosatom State Atomic Energy Corporation, Moscow, ASE Joint Stock Engineering Company, [alenkov@mail.ru](mailto:alenkov@mail.ru)

**Klimov Alexander A.**, Candidate of Technical Sciences, First Vice-Rector, Russian University of Transport (RUT-MIIT), [aaklimov1961@gmail.com](mailto:aaklimov1961@gmail.com)

**Sokolov Igor A.**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Director of the Federal State Institution Federal Research Center «Information and Management» of the Russian Academy of Sciences, [isokolovran@gmail.com](mailto:isokolovran@gmail.com)

**Zashigalkin Alexande V.**, Head of Center for Innovations Development, JSC Russian Railways, [zashigalkin@mail.ru](mailto:zashigalkin@mail.ru)