Строительство и инженерия на основе стандартов BIM как основа трансформаций инфраструктур в цифровой экономике

С.А.Синягов, В.П.Куприяновский, П.В.Куренков, Д.Е.Намиот, А.В.Степаненко, П.М.Бубнов, В.В.Распопов, С.П.Селезнев, Ю.В.Куприяновская

***Аннотация* – Данная статья рассматривает вопросы трансформации инфраструктур в цифровой экономике. В качестве примеров рассмотрены строительство и железные дороги. Проекты цифровой железной дороги стали ключевыми для очень большого числа стран и международных объединений. Многие из них уже реализуются в первоочередном порядке. Уже даже их частичная реализация приводит к огромным сдвигам в логистике, промышленности и жизненных укладов регионов и городов. Строительство является «горизонтальной» отраслью, которая имеет значительное взаимодействие с множеством других секторов. В работе рассматривается определяющая роль BIM (Building Information Modeling). Изначально, BIM модели, которые описывали весь жизненный цикл строительного проекта, применялись только в строительной отрасли. В настоящее время применение BIM находится на подъеме во многих других областях и, особенно, в части инфраструктурных проектов.**

***Ключевые слова* — BIM, Digital Economy, Digital Railways, Internet of Things**

I. Введение

Число людей на планете растет, и люди переезжают в города. Растет мобильность населения, производств и товаров. Все виды транспорта находятся в цифровой трансформации для того, чтобы справится с этими вызовами, увеличивая за счет все более точных расчетов и инноваций свои емкости, гибкость и скорость. Все эти процессы уже привели к необходимости физических преобразований инфраструктур и внедрению все боле сложных цифровых систем управления и контроля, при увеличении требований на безопасность. Появились термины Интернет-поездов, автомобилей, самолетов, морских и речных судов. Однако все движущиеся средства нуждаются в инфраструктуре, а ее преобразование – это очень затратное дело.

На примере двух видов транспорта железной дороги и авиационных перевозок мы попробовали понять роль строительных процессов и инженерии, обнаружив, что и сами они находятся в процессе цифровой трансформации. В основе этих процессов лежат как объективные данные о реальном физическом мире, так и процессы создания все более сложных искусственных возможностей. Столкнувшись с огромным объемом материала, мы ограничились подробным описанием процессов связанных с цифровой строительной отраслью на примере цифровой железной дороги, дополняя ее примерами применения в авиационных перевозок.

Развитие проектов цифровой железной дороги в рамках цифровой экономики в мире стало практически всеобщим и происходит по двум направлениям: развитие железных дорог высокой пропускной способности и высокоскоростных железных дорог (ВСМ). В обоих случаях оно планируется как согласованное развитие всей железнодорожной сети и невозможно без строительных изменений на этой сети. На самом деле и развитие железнодорожной сети не самоцель, а задача, связанная с оптимальным перемещением людей и грузов, решение которой должно учитывать возможности автодорог, водных и морских путей и авиации. В этом плане главным являются задаваемые характеристики этих сложных инженерных сооружений которые должны соблюдаться при эксплуатации создаваемых или реконструируемых объектов транспорта и в частности железнодорожных сетей и, следовательно, оптимизация как самого строительства и создание безшовных условий перехода к экономически приемлемым условиям эксплуатации в общем жизненном цикле цифровых железных дорог. Все эти этапы должны быть увязаны по времени с другими событиями, по большей части, в городах, так как

Статья получена 20 апреля 2017
С.А.Синягов - Национальный центр компетенций в области цифровой экономики (email: ssinyagov@gmail.com)
В.П.Куприяновский Национальный центр компетенций в области цифровой экономики (email: vpkupriyanovsky@gmail.com)
П.В.Куренков МГУПС (МИИТ) Императора Николая II (email: petrkurenkov@mail.ru)
Д.Е.Намиот - МГУ имени М.В. Ломоносова (email:dnamiot@gmail.com)
А.В.Степаненко - Союз строителей железных дорог (email:stepanenkoinfo@gmail.com)
П.М.Бубнов - СУ-308 (email:2502736@gmail.com)
В.В.Распопов - Фонд Развития Промышленности (email:raspopov@frprf.ru)
С.П.Селезнев - Фактор ТС (e-mail: spseleznev@yandex.ru)
Ю.В.Куприяновская - Университет Оксфорда (email: Yulia.Kupriyanovskaya@sbs.ox.ac.uk).

человечество уже во многих странах переехало в города или переедет туда очень скоро.

Чем вызвана необходимость продолжения цифровых трансформаций в строительстве? В статьях [5, 6, 17-20, 55] было показано, что собственно само появление цифровой экономики, во многом, связано с технологиями BIM и собственно железнодорожным строительством. Но темпы сегодняшних цифровых преобразований таковы, что уже сегодня строительная отрасль стала объектов научных исследований и критики как та часть цифровой экономики, которая стала узким местом, сдерживающим ее развитие.

Из множества исследований на эту тему мы выбрали работу McKinsey [1], хотя уже второй год, например, именно инновации и информационные технологии в строительстве обсуждаются как одна из самых главных тем на мировом экономическом форуме [2]. Согласно [1]:

«Строительная отрасль созрела для использования новых взрывных технологий. Большие проекты по классам активов обычно занимают на 20 процентов больше времени, чем запланировано, и до 80 процентов превышают бюджет (рисунок 1). На некоторых рынках с 1990-х годов производительность строительных работ фактически снизилась (рисунок 2); финансовая отдача для подрядчиков зачастую относительно невелика и нестабильна.

В то время, как строительный сектор медленно внедрял инновации в технологиях и в частности информационных технологиях, в решении основных задач также сохраняется проблема. Планирование проекта, например, остается несогласованным между офисом и полем и часто делается на бумаге. Контракты не включают стимулы для разделения рисков и инноваций; управление производительностью неадекватно, а практика цепочки поставок по-прежнему остается несложной. В отрасли еще не внедрены новые цифровые технологии, требующие авансовых инвестиций, даже если долгосрочные выгоды значительны (рисунок 3). Расходы на НИОКР в строительстве значительно отстают от расходов в других отраслях: менее 1 процента от доходов, в то время, как в автомобильном и аэрокосмическом секторах - 3,5-4,5 процента. Это относится и к расходам на информационные технологии, на которые приходится менее 1% доходов от строительства, хотя для отрасли был разработан целый ряд новых программных решений.

Технические трудности, характерные для строительного сектора, играют роль в медленных темпах внедрения цифровых технологий. Развертывание решений на строительных площадках для нескольких площадках, которые географически рассредоточены - сравните, например, нефтепровод с аэропортом, - задача непростая. И с учетом различных уровней сложности небольших строительных фирм, которые часто выполняют функции субподрядчиков, создание новых возможностей в масштабе - еще одна проблема.

Однако ничего из этого не станет легче. Проекты становятся все более сложными и масштабными. Растущий спрос на экологически чувствительное строительство означает, что традиционная практика должна измениться. И нехватка квалифицированной рабочей силы и руководящего персонала только ухудшится. Это глубокие проблемы, требующие новых способов мышления и работы. Традиционно сектор стремился сосредоточиться на постепенном улучшении, отчасти потому, что многие считают, что каждый проект уникален, что невозможно масштабировать новые идеи, а внедрение новых технологий нецелесообразно.

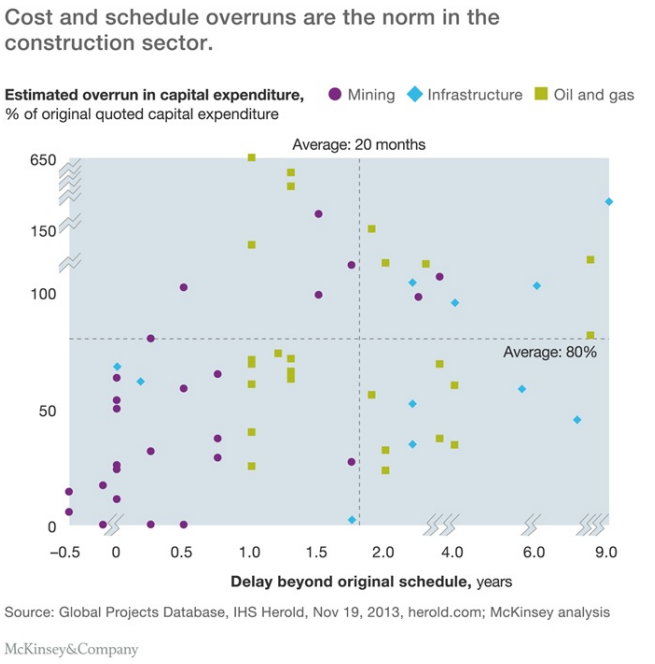

Рис. 1. Увеличение цены и сдвиги сроков в строительном секторе по сравнению с другими секторами экономики ([1])

Рис. 2. Отставание по показателям производительности труда в строительном секторе по сравнению с другими секторами экономики ([1])

По оценке Глобального института McKinsey, мировому рынку понадобится потратить на инфраструктуру до 2030 года 57 триллионов долл. США, чтобы не отставать от роста мирового ВВП. Это серьезный стимул для игроков строительной отрасли

определять решения для преобразования производительности и реализации проектов с помощью новых технологий и совершенствования практики».

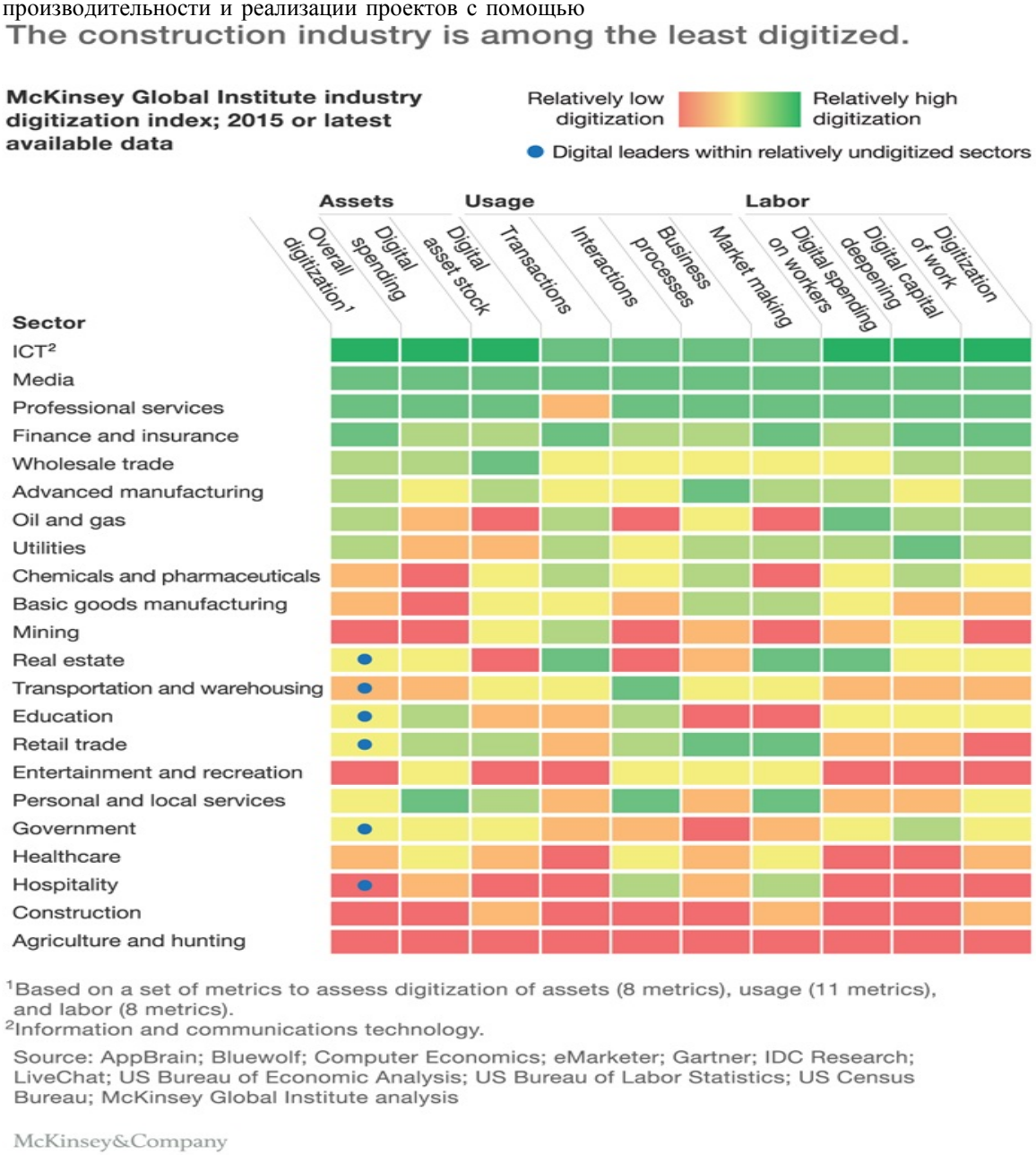

Рис. 3. Отставание в строительном секторе по сравнению с другими секторами экономики по показателям внедрения информационных технологий ([1])

II Состояние проектов цифровой железной дороги и внедрение BIM

Есть много материалов по быстрому развитию цифровых железных дорог и BIM, о которых мы уже писали [4-13, 17-20, 22 , 55], поэтому мы отсылаем читателя к этим публикациям и приведем другие примеры, которые нам показались примечательными для выбранной темы. Это развитие BCM в США, BIM в Китае и цифровые железные дороги в Скандинавии.

BIM является аббревиатурой для Building Information Modeling и описывает весь жизненный цикл строительного проекта. На основе BIM к модели с данными о физических высоте, ширине и глубине компонентов или измерениях, добавляются две «временные» и денежные затраты. Это, в конечном итоге, приводит к BIM модели, которая за счет коллективной работы с данными ее наполняющими, приводит к революции в способе конструирования и подборе компонентов для строительства через их цифровое описание, содержащееся в цифровой BIM библиотеке, к революции в организации строительства и эксплуатации. BIM направлен на то, чтобы сделать строительные проекты более экономическими, устойчивыми и пунктуальными. Некоторые исследователи даже говорят о BIM модели, добавляя измерение управления объектами жизненного цикла, но для этого нужна ясная связь с бизнес-процессами, например, на железных дорогах.

Первоначально применение BIM происходило из области строительства зданий, но в настоящее время находится на подъеме во многих других областях и,

особенно, на инфраструктурных проектах. Так в Великобритании, именно при сложном структурном железнодорожном проекте, в очень сложном проекте в условиях старого города Лондона и был запущен знаменитый британский BIM [23,27,28,30]. В ходе развития BIM в Великобритании появились реализации для ВСМ HS2 [29].На последнем стоит остановиться особо. Собственно, HS2 объявлено как второе поколение ВСМ в мире, которое должно вобрать все лучшее, что было в области ВСМ в Европе, Китае и Японии. Проект ВСМ HS2 рассматривается в Великобритании не только как важнейший национальный проект, но и считается самым важным для страны за последние 150 лет.

Как и в России (ВСМ Москва-Казань) в Великобритании создана отдельная организация HS2, которая публикует свои документы, и они доступны через сайт правительства. В начале 2017 года была опубликована целая серия публичных документов HS2 [56-61]. Из общего документа о принципах проектирования (дизайна) [61] мы приводим цитату, чтобы показать читателю то значение, которое придается в Великобритании этому ВСМ проекту. Нам представляется, что многому у них стоит поучиться:

“Это видение дизайна определяет ту роль, которую дизайн может играть в том, чтобы сделать High Speed Two катализатором роста в Великобритании. В нем излагается наше стремление к разработке новой национальной высокоскоростной железнодорожной сети Великобритании. Тогда это заставляет нас учитывать незабываемые критерии, которые мы разработали с ведущими дизайнерами. Они фокусируется на тех вещах, которые поднимут нас за пределы обычного и предоставят нам средства для постоянной критики и проверки того, что мы на правильном курсе. Наша отправная точка заключается в том, что мы будем предлагать соотношение цены и качества за счет применения лучших в мире практик проектирования и строительства. Мы понимаем, что хороший дизайн экономит ресурсы. Действительно, плохой дизайн - это долгосрочная стоимость для налогоплательщика и наших будущих клиентов. Применяются все основополагающие принципы хорошего дизайна. Наша высокоскоростная инфраструктура должна хорошо выглядеть, хорошо работать и легко обслуживаться. Она должна отвечать строгим требованиям безопасности, стабильности и устойчивости. Но наш мандат - выйти за рамки хорошего и стать образцовым проектом. Наши цели состоят в трансформации, и это потребует большой изобретательности и таланта...

Каждый проект проекта HS2 это важный шаг для наших дизайнеров, архитекторов и инженеров. Он информирует наших подрядчиков и партнеров о наших рекомендациях и спецификациях, которые сейчас строят железнодорожную систему. Наша задача для каждой команды дизайнеров состоит в том, чтобы соответствовать основам хорошего проектирования, а затем пройти дополнительный путь, чтобы реализовать инновации и ценность, которую мы ищем для каждого гражданина в Великобритании. Ни один проект не является здесь незначительным. Все, что мы создаем, разработано, и каждая дисциплина рассматривается в нашей интерпретации дизайна. Каждую фразу - мы проектируем от пикселя к городу - от цифровых систем до городской инфраструктуры и многое другое. Концепция HS2 Design Vision начинается с идеи проектирования для всех, чтобы получить выгоду и наслаждаться результатом. Надеемся, вам понравится читать об этом и поможет нам, поскольку теперь мы сделаем это реальным”.

Стоит так же сказать, что безусловным императивом в проектировании и эксплуатации HS2 на все жизненном цикле этой ВСМ являются BIM технологии (рисунок 4).

Рис. 4 . Использование BIM технологий на всем жизненном цикле ВСМ HS2

Практически одновременно с Великобританией BIM проект начался в Финляндии, который быстро перерос на всю Скандинавию и несколько позже на всю Европу. Так, Федеральное министерство транспорта и цифровой инфраструктуры Германии опубликовало «дорожную карту» для осуществления BIM в Германии в декабре 2015, в которой говорится, что BIM станет неотъемлемой частью будущих правительственных инфраструктурных проектов [45]. Сегодня сфера охвата и география применения BIM огромна — это практически весь мир и планирование и осуществление всех физических трансформаций, главного инструмента цифровых преобразований или развития в реальности подавляющей части цифровой экономики.

Довольно длительное время США были в стороне от планов создания у себя ВСМ. Причиной тому были хорошие автомобильные дороги, обилие и доступность автомобилей и относительная дешевизна топлива. Конечно, сами железные дороги очень интенсивно использовались в части грузовых и пассажирских перевозок по всей стране и у США свои собственные технологии цифровых железных дорог, а уже в 2018 году вся железнодорожная сеть страны должна быть переведена в новый цифровой формат PTC[7]. Это и многие другие причины, общие для всех стран, такие как

рост населения, экология и самое главное экономические причины создали условия для начала эпохи ВСМ в США. На рисунке 5 мы приводим карту будущих ВСМ США, давая возможность читателю самому представить последствия реализации этих планов, например, для развития промышленности создающей подвижной состав и локомотивы. Мы полагаем, что это сравнимо только с невероятным ростом ВСМ в Китае. В какой-то мере, есть очень существенные преимущества такой последовательности железнодорожных проектов. Цифровая железная дорога в части высокой пропускной способности невероятно существенно меняет пассажирские железнодорожные потоки и создает новую «карту», имея которую можно гораздо точнее понять, где и как ВСМ должны будут проходить. Великобритания уже объявила о реализации ВСМ HS2 (это будет уже второе поколение ВСМ, которое должно вобрать лучшее из опыта Европы, Китая и Японии) и стоит подождать результатов и стандартов на лучшие решения в класса HS2. Часть такого рода стандартов уже опубликована BSI. По такому же пути пошла и Норвегия, о которой речь пойдет ниже.

Писать про BIM в США надо, но это страна, в которой, по мнению многих, BIM родился, как и IFC, о котором речь пойдет дальше, и это тема отдельной статьи. Скажем только, что это страна в технологиях BIM, скорее всего, №1 в мире. Просто особенности устройства этой страны привели к большому обилию правил созданных для практически каждого штата. Для иллюстрации этого ниже мы обсудим применение BIM в США в аэропортах.

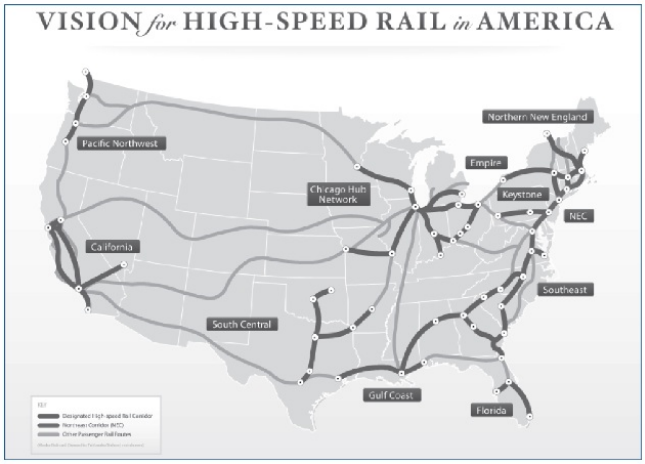

Рис. 5. Общее виденье развития ВСМ в США ([3])

В настоящее время Китай является очень быстро развивающейся страной, когда речь заходит о внедрении BIM. Прогноз Dodge Data & Analysis в 2015 году показывает, что число архитекторов и подрядчиков, которые будут использовать BIM для более 30% своих проектов в течение следующих двух лет, будет расти в Китае на 108%. Средний мировой темп роста в этой области составляет 95%. Китай находится среди пяти быстрорастущих регионов BIM, наряду с Великобританией, Южной Кореей, Австралией и Германией. Исследование также проанализировало отношение пользователей, не относящихся к пользователям BIM, в Китае и результатом является то, что 89% пользователей, не являющихся пользователями, заинтересованы в BIM, только у 11% из них нет к нему интереса. Это исследование было основано на довольно небольшой выборке из 350 архитекторов и подрядчиков в Китае, 296 BIM пользователей и 54 пользователей, не являющихся репрезентативными для всей китайской строительной отрасли, но оно явно указывает на то , что знания и принятие BIM уже широко распространены. [42]

Как и в других частях мира, китайская строительная промышленность ценит следующие преимущества, полученные из BIM:

- лучшие проектные и дизайнерские решения;
- уменьшение ошибок и упущений в строительных документах, так как эффект от ручной работы с ошибками близок к нулю;
- расширение участия клиентов и улучшение понимания;
- сокращение объема доработок и т. д.

Все эти аспекты объединяют то, что они снижают рабочую нагрузку и повышают прозрачность сложных строительных проектов, что помогает сохранить низкую стоимость и минимизировать ошибки. [42]

В год 2012, Китайская академия строительных исследований (CABR) и ряд других организации создали BIM Союз Китая для содействия скоординированному развитию в Китае BIM технологии, стандартов и программного обеспечения. Тем не менее, правительство Китая еще не выпустило «дорожную карту» для реализации BIM, которая планирует и описывает обязательный уровень BIM на строительных работах, как это сделали другие страны. «12 пятилетка 2011-2015 годы» - (план развития строительной отрасли), предложенный Министерством Городского и сельского развития Китайской Народной Республики уже определяла BIM как ключевую технологию для развития информационных систем в строительстве.

Фактическим толчком к такому быстрому развитию стал контракт между BSI (Британским институтом стандартизации) и уполномоченным органом Китая по стандартизации в 2014 году о локализации британских BIM стандартов для КНР. Кроме стандартов на BIM в контракте содержались необходимые для Китая стандарты на строительную технику и ряд других позиций. Это позволило сегодня стать КНР одним из мировых лидеров создания стандартов BIM для железных дорог мира [5].

Скандинавские страны в части BIM и многих других вопросов выступают совместно и, безусловно, находятся на очень хорошем уровне, как в части BIM, так и в части проектов по цифровой железной дороге. По многим позициям они просто лидируют. Все эти страны, безусловно, северные и соседи России, и их опыт для наших условий, несомненно, очень полезен. В части BIM крайне выразителен рисунок 6, который наглядно показывает как мировую систему взаимоотношений, так

и локальную (скандинавскую) в части того, как организованна стандартизация, развитие и сотрудничество.

Рис. 6. Схема организации работ по BIM от страновых организаций до международных организаций на примере транспортников Скандинавии (источник — шведская транспортная администрация TRAFIKVERKET)

Проекты железных дорог часто включают множество различных дисциплин, а также лиц, принимающих решения, и органов власти. 3D и другие цифровые инструменты BIM позволяют тесно сотрудничать заказчикам, клиентам и партнерам в течении всего проекта. Для обеспечения интегрированных услуг и четкой связи между сторонами использует 3D-дизайн и проектирование с самого раннего этапа проектного процесса. Добавление BIM (моделирование информации о зданиях) в этот инструментарий, позволяет объединить несколько слоев информации о проекте в одну согласованную виртуальную модель, которая доступна из любого места на земле. Последнее позволяет организовать виртуальную работу лучших специалистов и сэкономить расходы. Благодаря таким цифровым решениям скандинавские железнодорожники остаются на острие управления активами, когда дело доходит до эксплуатации и обслуживания.

Так в, казалось бы, небольшой Дании уже строится ВСМ Фюн. Это новая высокоскоростная железнодорожная линия на Западной Фунене в Дании. Эта ВСМ всего около 35 километров в длину и с максимальной скоростью около 300 км/ч. Новая железная дорога будет проходить, в основном, вдоль автомагистрали на датский остров Фюн, как транспортное железнодорожное средство связывания восточного и западного побережий Дании. Она будет состоять из двухпутных железнодорожных секций с путевой техникой, электрификацией и новой системой управления и сигнализации (ERTMS), а также мостов, проходов для фауны, дорог и дренажных систем.

Проект также включает в себя два моста, длинный туннель под автомагистралью в северном направлении и мост над автомагистралью в южном направлении. В проекте задействованы дисциплины BIM и 3D-модели являются фундаментальными инструментами при подготовке оценок воздействия тех или иных решений на весь проект в целом, чтобы определить наиболее устойчивые решения из разных вариантов и минимизировать воздействие новой железнодорожной линии на окружающую среду.

Первый шаг к новому поколению цифровых железных дорог делает Швеция проектом ВСМ «Ист-Линк». Эта запланированная скоростная железная дорога, цель которой — улучшить инфраструктуру Восточной Швеции, а также связь этого региона с остальной Европой. При максимальной скорости 320 км / ч железная дорога сократит время в пути между крупными городами региона и позволит пассажирам быстрее добираться к рабочим местам, образовательным учреждениям, домам и квартирам и к развлекательным мероприятиям. Строящийся первый этап 150-километровой железнодорожной линии начат в 2017 году, а первые поезда планируется пустить в 2028 году. Новая высокоскоростная железная дорога является частью будущего ВСМ между Стокгольмом, Гётеборг и Мальмё.

Наибольшую последовательность в реализации цифровой железной дороги целиком на страну делает Норвегия. Ее планы не включают пока ВСМ, но предполагают замену всего подвижного состава, как и в Великобритании. Железнодорожному транспорту, правительство уделяет первостепенное внимание в части

развития связи между городами или проекту InterCity (IC).

В Норвегии существует единая эксплутационная железнодорожная служба, за исключением районов общественных станций и грузовых терминалов, построенных до 1997 года, и частных подъездных путей. Все пути являются стандартными и имеют в общей сложности 4230 километров, из которых 2489 километров электрифицированы, а 245 километров является двухпутными.

Следует сказать, что более 80% граждан Норвегии живут в городах, и при этом Норвегия имеет самую маленькую плотность населения в Европе после Исландии. Необходимо учесть огромное количество гор и фиордов, и размещение значительной части страны за полярным кругом. К концу 2024 года будут образовываться смежные двухпутные линии в Тёнсберг, Фредрикстад и Хамар, что позволит создать услуги железнодорожных составов с получасовой частотой в течение операционного дня. К концу 2026 года, двухпутные линии будут распространены до Сарпсборга. Основное предположение правительства заключается в том, что будущее планирование будет направлено на завершение всей IC-системы в 2030. Строительство линии Oslo-Ski Follo начнется в начале периода.

Вообще-то говоря, трудно себе представить более сложные условия для строительства и функционирования железных дорог, чем условия Норвегии. Вероятно, именно поэтому там всего 245 км двухпутных дорого из 4230 км. И тем убедительнее, как нам кажется, планируемый результат перехода к цифровым железным дорогам в этой стране — интервал между пассажирскими поездами полчаса, рост грузоперевозок на железной дороге и скорость в 200-250 км в час в суровых горных и северных условиях. Без перехода на полностью цифровую сигнализацию и управлением, то есть на цифровую железную дорогу, с заменой всего подвижного состава, так как цифровое управление им становится недостижимым при модернизациях или непомерно дорогим, все запланированное было бы просто невозможным в указанные сроки.

В свете основных транспортных проблем в предстоящие десятилетия, особенно в городских районах, а также при четкой приоритезации правительством железной дороги в этих районах, план не предусматривает строительство отдельных высокоскоростных железных дорог в Норвегии в наступающий плановый период. Маршруты для новой инфраструктуры на линиях IC будут, однако, будут построены для обеспечения 250 км / ч на участках, которые не влекут за собой значительных дополнительные расходы по сравнению с принятой скоростью 200 км / ч и, следовательно, могут быть включены в любые будущие скоростные сети.

Ожидается, что грузовые перевозки вырастут на 35-40 процентов в тонно-километрах 2040 году. Транспортная система должна обладать возможность справляться с этим ростом, обеспечивая при этом более широкую транспортировку грузов морем и по железным дорогам. В крупнейших городских районах общественный транспорт должен быть усилен до предела. Необходимо обеспечить, чтобы рост пассажирских перевозок в городских районах был поглощен общественным транспортом, ездой на велосипеде и ходьбой.

.

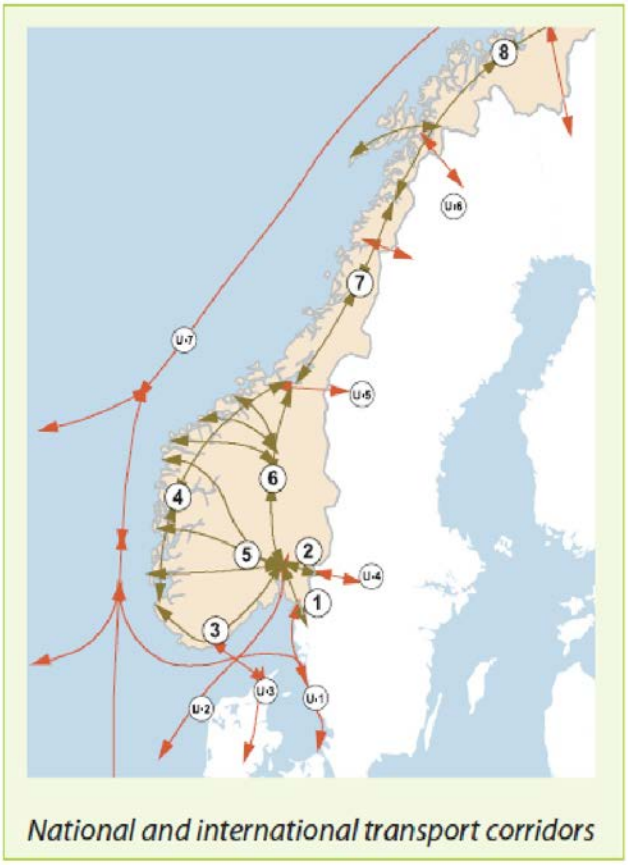

Рис. 7. Национальные и международные транспортные коридоры Норвегии

Часть этого огромного проекта - самый крупный инфраструктурный проект в Норвегии это железнодорожный туннель Follo Line. Новая двухпутная железнодорожная линия Follobanen свяжет, через этот туннель, столицу Осло с близлежащем перекрестком общественного транспорта и с одним из самых загруженных участков в норвежской дорожной сети. Follobanen (Follo Line — по-английски) будет способствовать экономическому росту этой области. Выбранное решение будет рассчитано на скорости до 250 км / ч и имеет цель обеспечить минимальную структурную продолжительности жизни проекта в 100 лет.

Проект Follo Line в настоящее время является самым крупным проектом в Норвегии. Он будет включать самый длинный железнодорожный туннель в Северных странах. Новые формы двухпутных железнодорожных линий - основная часть развития InterCity на юг от

столицы. Туннель Follo Line станет первым длинным двойным тоннелем Норвегии и одним из первых, который нужно построить с использованием туннельных машин. Основные строительные работы начались в 2015 году с завершение работ в конце 2021 года. Обширная работа предстоит на центральном вокзале Осло. Предстоит строительство новой станции и перестройка существующих железнодорожных линий. Сегодня туннельное строительство в условиях городской среды оказывается и быстрее и дешевле наземных вариантов, и это справедливо и для России.

Необходимо сказать, что ранее в Норвегии уже был успешно реализован комплексный транспортный проект целиком на страну, когда все норвежские аэропорты и авиация получили единую цифровую систему управления, как воздушным движением, так и аэропортами. Мы уже приводили цифру роста пропускной способности аэропорта Хитроу на 60% после такого преобразования [8] и полагаем, что в Норвегии в таком преобразовании были примерно такие же цифры. В текущем транспортном плане страны этот положительный опыт учитывается, и уже согласованно развиваются идеи комплексных транспортных коридоров (рисунок 7), автомобильных дорог и автотранспорта (рисунок 8), а так же портов и морских перевозок.

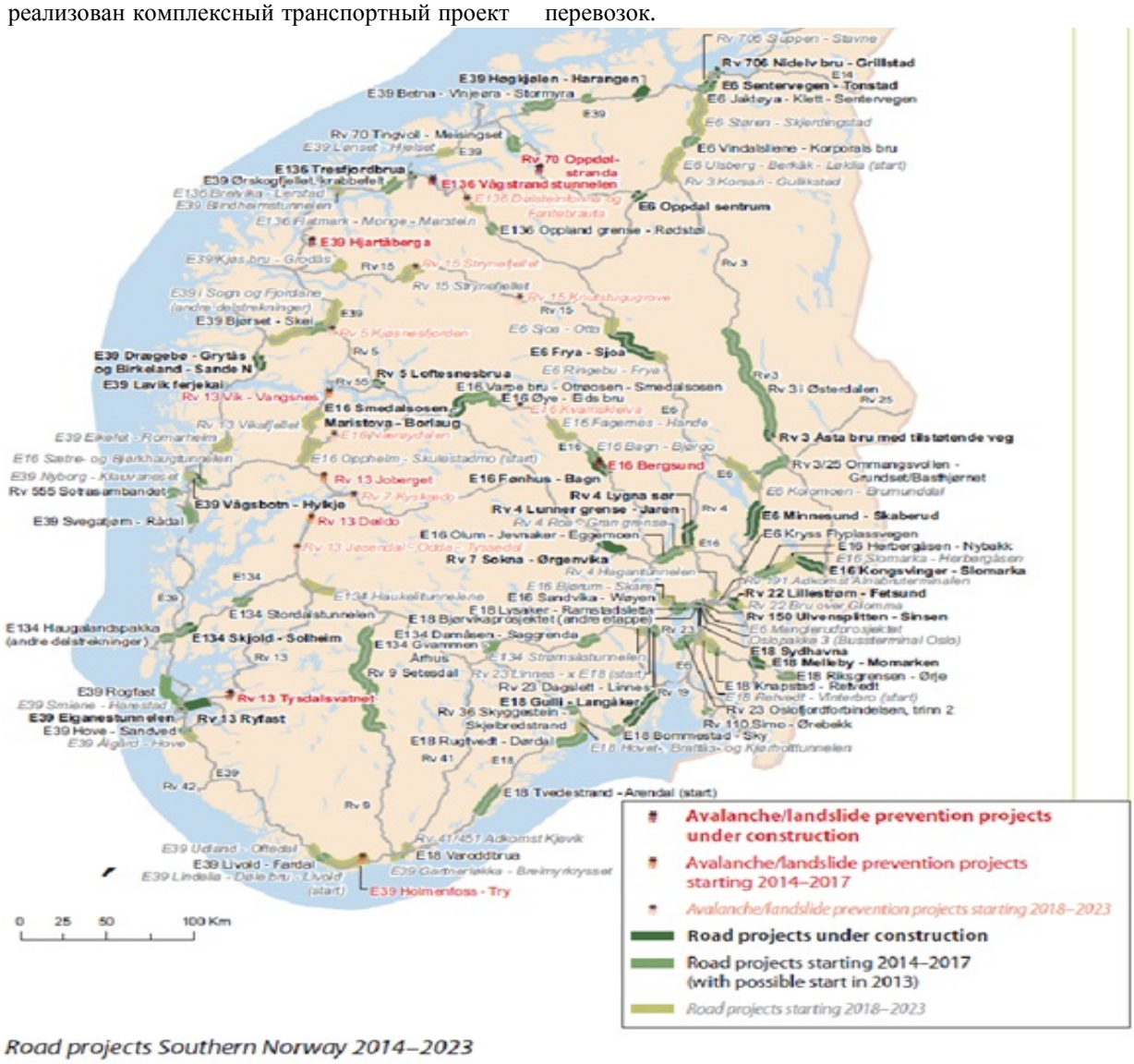

Рис. 8. Проекты автодорожного строительства в Норвегии (Южная часть страны).

III Роль моделей на цифровой железной дороге. Объединение подходов RTM и BIM Rail

Выше мы постарались нарисовать картину развития цифровых железных дорог в самых сложных и отчасти похожих на Россию условиях Скандинавии, обратив особое внимание на самую северную из стран — Норвегию. И там везде мы находим слово информационная модель или BIM. Слово модель чрезвычайно популярно. В случае цифровых железных дорого мы его рассматриваем как в [62] в виде двух подходов к модели: как средства описания физической инфраструктуры железных дорого и ее элементов (для этого существуют различные формальные языки) и наполнения этой базы данных элементами измерения и характеристиками, которые получены либо из реального мира, либо из цифровой BIM библиотеки и модель, как описание различных бизнес-процессов на железной дороге в процессе эксплуатации. Детальное рассмотрение создания международного стандарта BIM-Rail было проведено в [5]. Однако напомним читателю,

что это совместная работа железнодорожников Европы и Азии. По китайскому варианту этого стандарта уже появятся с 2017 года работы на железных дорогах Китая, и это огромная часть стандартов для цифровой железной дороги. Выпуск международного стандарта планируется на 2018. По всем инфраструктурным BIM проектам в IFC окончание планируется на 2020 год. В 2017 году в России должны появиться национальные стандарты IFC.

Вне зависимости от любых инноваций или типов моделей, есть простая и ясная формула расчетов, приведенная на рисунке 9. Так же на рисунке 10 показан график роста экономических эффектов в жизненном цикле сооружений при использовании BIM. И тот и другой график составлен большой международной строительной компанией AECOM, работающей, в том числе, успешно и в России (они строили, например, стадион Спартак в Москве).

Принципиально важен рисунок 11 о принципиальных выгодах в цифровом подходе по отношению к бумажному — отсутствие спадов в получении доходов и их плавный рост. Спады и даже провалы доходности вызваны при бумажном подходе неизбежными потерями необходимой информации или избытком ненужной и банальной необходимостью ее понять и освоить для выполнения бизнес-процедур на нужном этапе жизненного цикла. Цифровой подход, в значительной мере базирующийся на BIM, позволяет этого избежать.

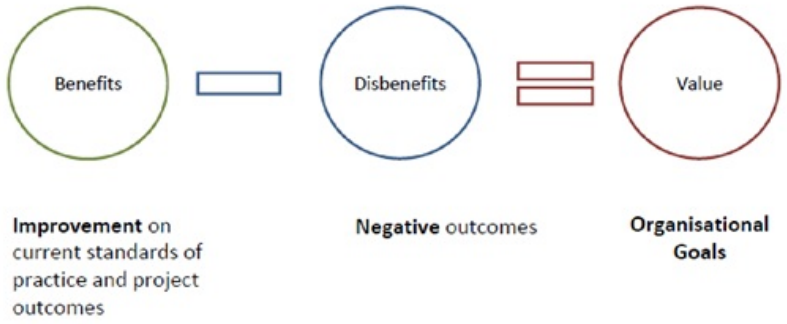

Рис. 9. Простая схема расчетов эффективности внедрения инноваций (источник — компания AECOM)

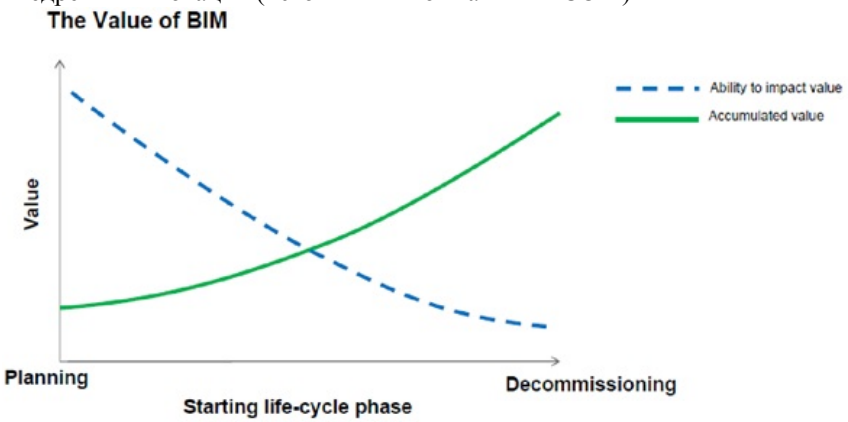

Рис. 10. Рост накопленных экономических эффектов от внедрения BIM в жизненном цикле (источник — компания AECOM)

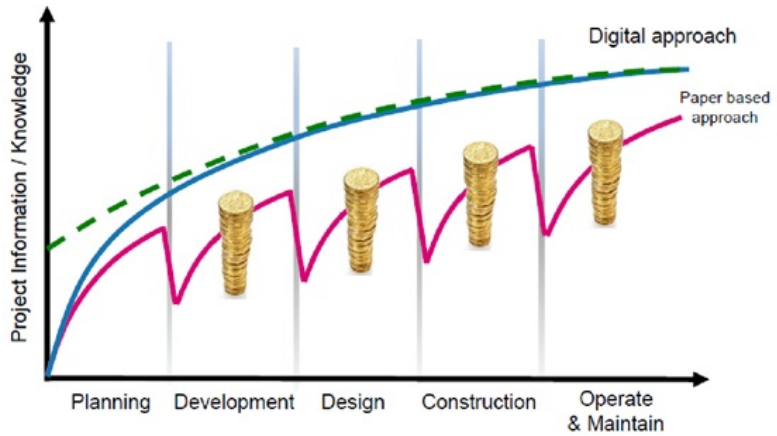

Рис. 11. Выгоды в цифровом подходе по отношению к бумажному - отсутствие спадов в получении доходов и их плавный рост (источник — компания AECOM).

Железнодорожный бизнес сталкивается с трудной задачей - с точки зрения конкуренции и сотрудничества с другими видами транспорта и, прежде всего, в части экономических показателей и возможностей при достижении последних увеличить свою пропускную способность. На сегодняшний день наилучшие в этой части планы объявила Великобритания — увеличение емкости железной дороги без объемного нового строительства на 50% (из них 40% достигается за счет перехода на цифровую сигнализацию) и снижение стоимости перевозок на 50 % (из них 30 % достигается за счет перехода на цифровую сигнализацию). Планируется в сжатые сроки модернизировать всю железнодорожную сеть страны и сделать замену всего подвижного состава. По отдельной, но связанной программе строятся BCM (HS2), о которых мы упоминали выше. Такая глобальная эффективность достигается, прежде всего, в области за счет цифрового подхода к сетевой инфраструктуре железных дорог. На рисунках 12 и 13 показаны как взаимосвязанные этапы, так и участники процессов цифровой трансформации железных дорог.

Комплексная трансформация инфраструктуры железных дорог будет происходить за счет технологий (и не только цифровых), но также в основном за счет потенциала для организации эффективного сотрудничества по всей цепочке создания стоимости. Одним из основных рычагов эффективности совместной работы является внедрение цифровой непрерывности на всем протяжении жизненного цикла создания или модернизации и функционирования инфраструктуры. Проще говоря, нужна общая информация, которой делятся все участники процесса.

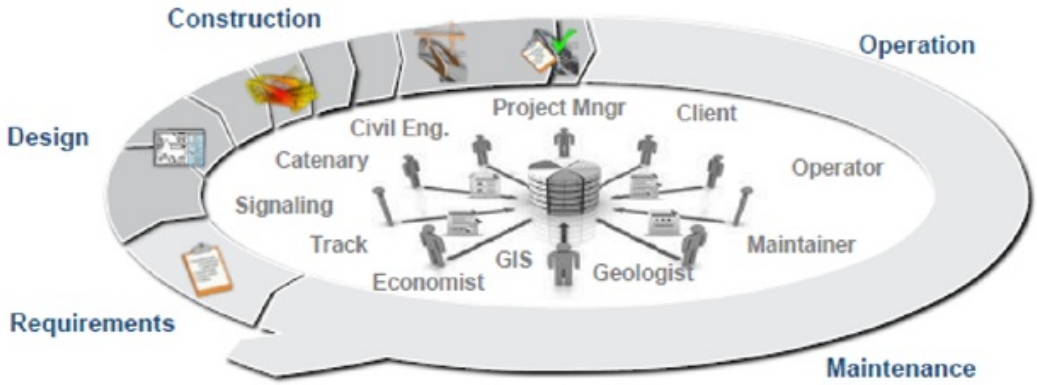

Рис. 12. Взаимосвязанные этапы и участники процессов цифровой трансформации железных дорог (источник - RailTech Europe 2017 - Utrecht - March 28th, 2017)

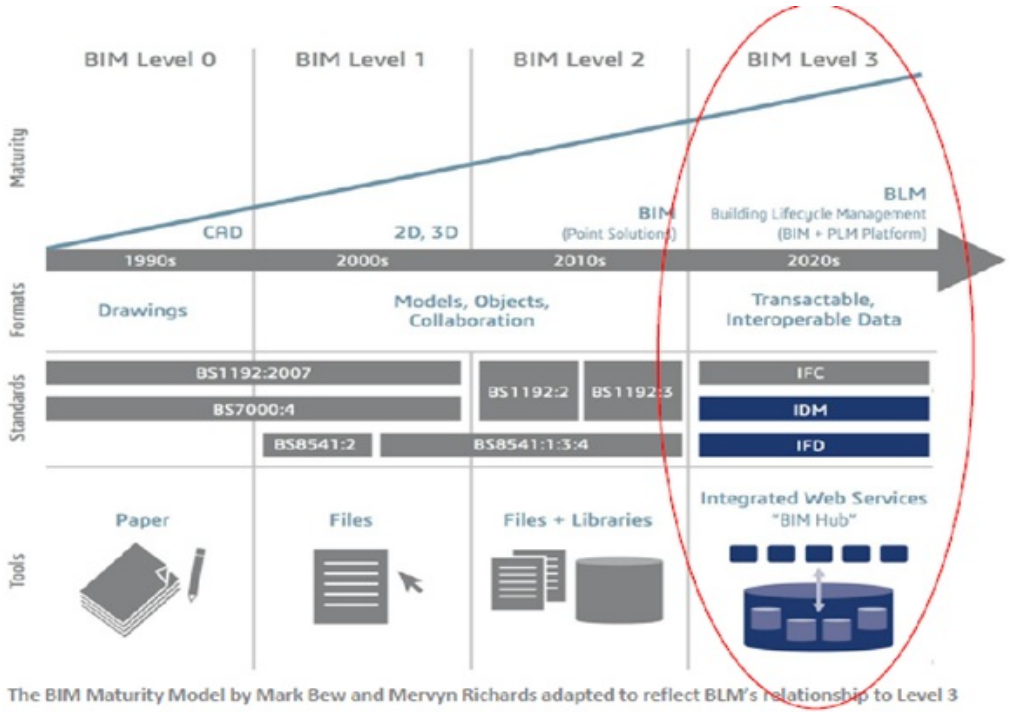

Рис. 13. Стандарты, появление BIM библиотек и интеграция с ВЕБ сервисами и IFC на третьем уровне BIM (Великобритания, источник -RailTech Europe 2017 - Utrecht - March 28th, 2017)

Значительный опыт в цифровой непрерывности жизненного цикла и эксплуатации инфраструктуры накопила сегодня Великобритания, и одной из важных инициатив такой непрерывности в бизнес-процессах, безусловно, является стремление к BIM Level 3. На этом уровне меняются стандарты, ранее отработанные цифровые BIM библиотеки позволяют осуществить интеграцию с ВЕБ сервисами и IFC (на третьем уровне BIM Великобритания). Во многом на нем базируется полностью интегрированный и совместный процесс, обеспечиваемый «веб-сервисами» и соответствующий новым стандартам Industry Foundation Class (IFC), который позволяет использовать в BIM последовательность 4D построения, 5D информацию о стоимости и 6D информацию об управлении жизненным циклом проекта. Кроме того, BIM начинает интегрироваться с цифровой инженерией и железнодорожной промышленностью (рисунок 14) так как PLM,BIM,CAD имеют общие корни [63].

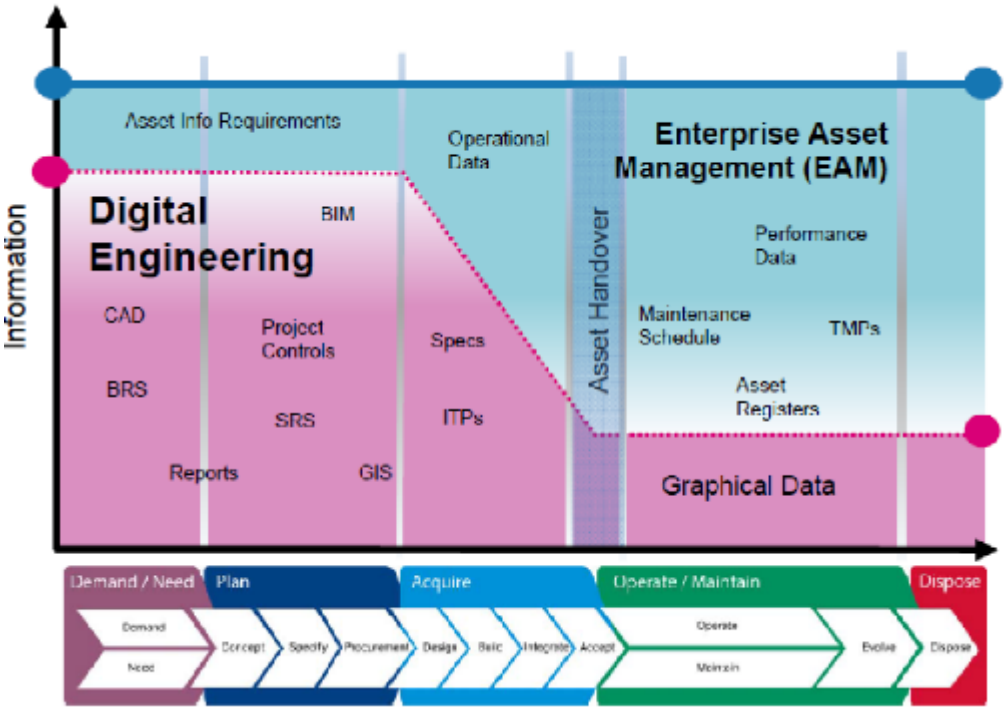

Рис. 14. Интеграция BIM, GIS, CAD в цифровой инженерии. Источник - компания AECOM)

Как BIM, так и цифровая инженерия имеют общие механизмы описания и совместного использования информации о проектируемых, производимых и устанавливаемых в ходе строительства элементах - это цифровые библиотеки. Необходимо отметить, что они сегодня так же имеют общую маркировку (наиболее распространенной являются штрих-коды). Структуру библиотек цифровой инженерии и BIM можно увидеть на рисунке 15.

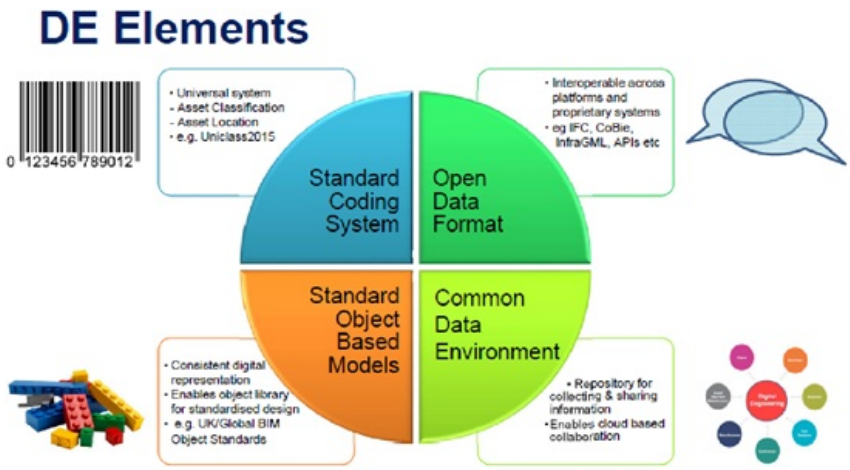

Рис. 14. Структура библиотек цифровой инженерии и BIM источник — компания AECOM)

Железнодорожная система сложна. Жизненный цикл и эксплуатация ее инфраструктуры связаны с гетерогенными технологиями, культурами и языками. Железнодорожная инфраструктура объединяет две основные цепочки создания стоимости: развития (проектирование и строительство) и эксплуатации (эксплуатация и техническое обслуживание), два разных мира, каждый со своей спецификой.

Железнодорожная инфраструктура имеет большую сложность: территориальную сеть, города и т.п. образуют широкие взаимосвязанные инфраструктуры. Важнейшим ключевым фактором успеха сотрудничества на железной дороге является обмен на общем языке (моделей) и данными между всеми партнерами на протяжении всего жизненного цикла. Вот неполный перечень того, что это включает: обслуживание, технологии и активы, установки, линейные ссылки, географию, управление движением, маршруты и мощность, топологию сети, схемы и т.п.

Одна и та же сеть и одна общая цель: доступность, но работают два разных языка. Результат этих особенностей может быть отображен историческими различиями между двумя основными операционными цепочками мгновенных сообщений: Управление трафиком и Обслуживанием сети (рисунок 16). Схемы общего взаимодействия в процессе стандартизации можно увидеть на рисунке 17.

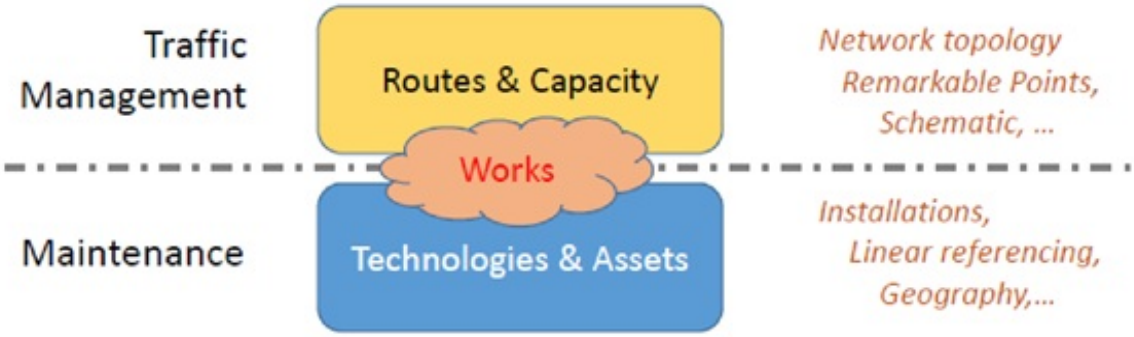

Рис. 16. Две основные операционные цепочки мгновенных сообщений: Управление трафиком и Обслуживание сети. (источник - RailTech Europe 2017 - Utrecht - March 28th, 2017)

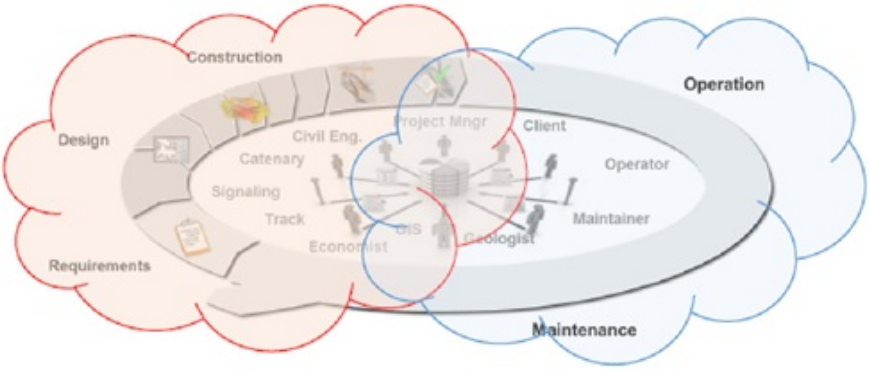

Рис. 17. Взаимосвязанные этапы и участники процессов цифровой трансформации железных дорог в разрезе определения участков пересечений двух основных направлений стандартизации (источник - RailTech Europe 2017 - Utrecht - March 28th, 2017)

Общий язык для жизненного цикла и эксплуатации железных дорог в случае цифровой железной дороги абсолютно необходим. Внедрение цифровой непрерывности в железнодорожной инфраструктуре требует такого общего языка, охватывающего множество технологий и измерений: функционального проектирования, топологий, геометрий, географических особенностей, линейных привязок, физических активов, фаз проекта и времени.

Одно из решений этого сложного требования заключается в двух отдельно развивающихся инициативах по стандартизации. Этими инициативами являются:

- стандартная модель и формат обмена данными для проектирования и строительства (BIM Rail на IFC);
- стандартная модель и формат обмена для описания функций и работы включения цифровой непрерывности для работы на рельсовом транспорте.

RailTopoModel: проект железной дороги, построенный на площадке UIC и поддерживаемый 15+ IM производителями компонент, локомотивов и подвижного состава для цифровой железной дороги (рисунок 18). RTM это стандартная модель для совместного использования общего функционального описания железнодорожной системы и поддержки операционных процессов между партнерами. **RailTopoModel** - это объектная модель, написанная на языке UML, независимая от любого конкретного использования, созданная как основа для виртуализации железнодорожной системы, ее дизайна, жизненного цикла и эксплуатации. Основа RTM включает в себя структурирование спецификаций для железной дороги: сетевая многоуровневая топология (трасса, линия и т.п.), локализацию и реферирование (линейная часть, география и т.п.), пунктуальность движения, линейные и воздушные объекты и свойства, время измерения событий и т.д..

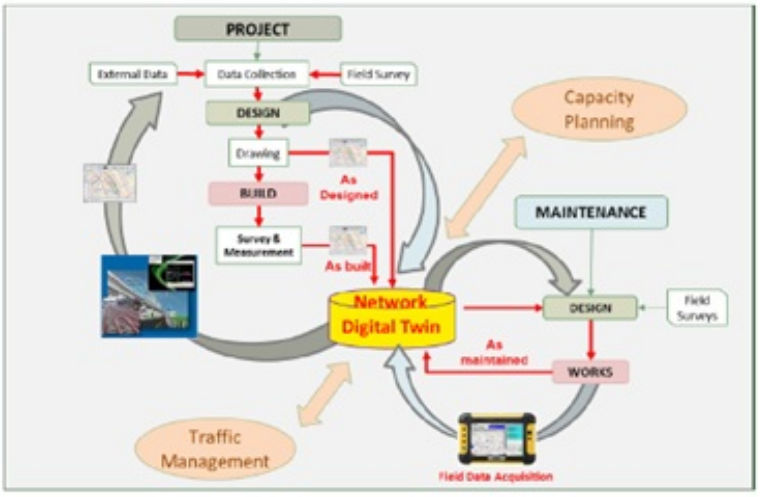

Рис. 18. RailTopoModel: проект железной дороги, построенный на площадке UIC и поддерживаемый 15+ IM производителями компонент, локомотивов и подвижного состава для цифровой железной дороги. (источник - RailTech Europe 2017 - Utrecht - March 28th, 2017)

Рис. 19. Два базовых элемента balis ецифровой сигнализации и управления ERTMS/ETCS с пометкой RailML между ними (источник -RailTech Europe 2017 - Utrecht - March 28th, 2017)

Для формализованного обмена данными в RTM используется RailML®: формат обмена на основе XML для цифровой железной дороги RailTech Europe, который включает:

- railML® (Язык разметки на железной дороге) использует XML для систематического описания железнодорожных данных и включает в себя другие стандартные XML-схемы, такие как MathML и GML, когда это релевантно;
- railML® определяется потребностями всего железнодорожного сектора (IM, RU, Власть, Промышленность)
- railML® разработан в рамках партнерства независимых компаний и организаций (железных дорог, университетов и отраслей промышленности)
- railML® в основном используется для проектов железнодорожных компаний и производителей, программных и консалтинговых фирм

В настоящее время доступны следующие под-схемы (railML® версия 2.3):

- инфраструктура, для описания дороги;
- подвижной состав, для описания транспортных средств;
- временные таблицы, для описания расписаний;
- системы блокировки для описания сигнализации и маршрутов (версия 3)

RailML® версии 3.1, основанный на RailTopoModel, будет опубликован как бета к лету 2017 [46,47]. Два упомянутых исследования [46,47] делали специально под эту тему BIM Rail + RTM университеты Германии и Финляндии в 2017 году. Привлечение университетов, имеющих фундаментальные компетенции, происходит в этих проектах во всех странах, где разворачиваются эти работы — нужны фундаментальные знания в математике для расчетов, прикладной математики, чтобы работать с искусственными языками описания моделей, физики, чтобы считать динамику движения, для расчета оптимальной динамики торможения поездов и т.д.

Конечно, результаты этих работ включаются как нотации на UML или IFC в описания на этих искусственных языках и потом трактуются в виде текстов на разных языках и для того, чтобы читатель мог их посмотреть в разных видах (есть и издание на русском [66]) - [23-45]. Для систем реального времени цифровой железной дороги тексты на любом обычном языке уже не годятся и поэтому используют то, что написано на этих искусственных языках. Здесь и действует принцип - «цифровое первое», который уже, впрочем, определен рядом правительств даже в своей работе с гражданами и компаниями, когда весь набор данных и любое официальное общение, в первую очередь, принимает только цифровую форму. В случае использования этих стандартов цифровой железной дороги появляются еще два непременных участника, пишущих на искусственных (математических) языках OGC (гео-информационные модели) и W3C (все стандарты Интернета, включая семантический интернет, интернет вещей или IoT). В случае последнего, это уже далеко не один формальный математический язык! Представьте себе юридические сложности и объем работы юридической науки в этой части, которую совершенно справедливо отмечает А. Ю. Быков в своей статье [67]. Зададим только один вопрос: «Что имеет в этом случае юридическую силу?».

Некоторые программные составляющие и информационные ресурсы RTM (не исчерпывающие список) включают:

- RailVIVID®: универсальный просмотрщик файлов railML®
- (программное обеспечение с открытым исходным кодом (EUPL) для проверки качества и просмотра данных (география сети, объекты и свойства, диаграммы расписания, описание и свойства подвижного состава);
- RINF: реестр инфраструктуры для всех стран-членов ЕС (+ Швейцария и Норвегия) в формате XML-данных, поддерживающий все данные, требуемые RINF, и предоставляет переводчику возможность передавать специальный формат RINF;
- ETCS: описание сети для настройки balise данными в формате XML-данных для обеспечения точной топологии, геометрии и

информации размещения сигнализации, необходимой для определения положений балансировки сигнализации ETCS и т.д.

Для того, чтобы подчеркнуть особую роль в цифровой железной дороге базовых элемента balis цифровой сигнализации и управления ERTMS/ETCS они изображены на рисунке 19 с пометкой RailML между ними. График работ по системе стандартов RTM мы приводим на рисунке 20.

.

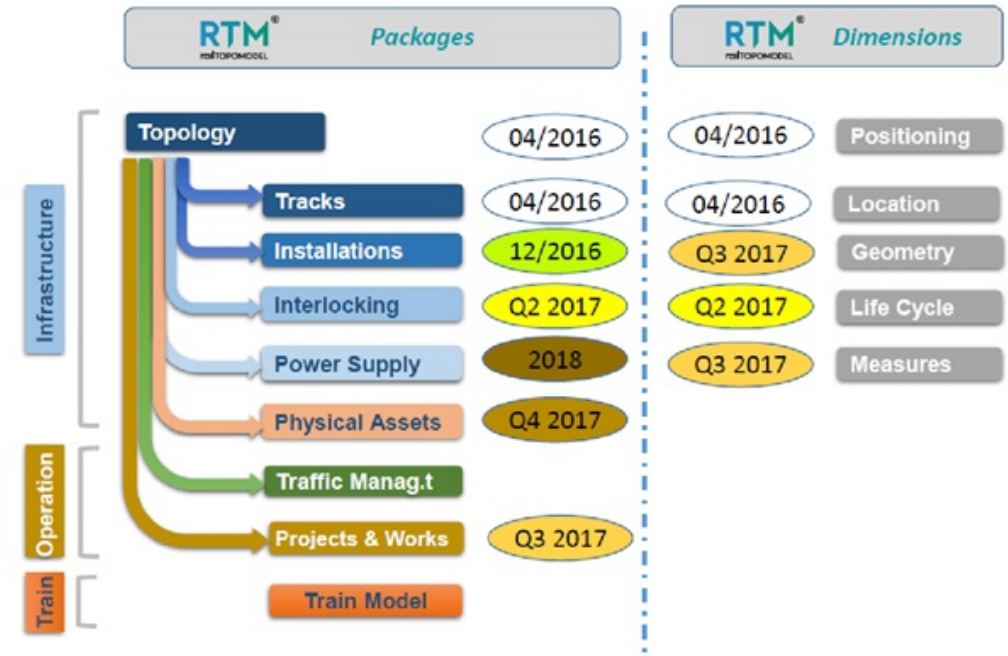

Рис. 20. Экосистема стандартов RTM (источник - RailTech Europe 2017 - Utrecht - March 28th, 2017)

Железнодорожная система сложная; ее жизненный цикл и эксплуатация включают многочисленные измерения и стандарты и железнодорожные проекты в описаниях RTL и BIM должны учитывать эти факторы. Эти факторы отражены на рисунке 21. Заметим, что как подход BIM Rail, так и RTM становятся уже универсальными и затрагивают как инфраструктуру городов, так и вообще транспортного строительства.

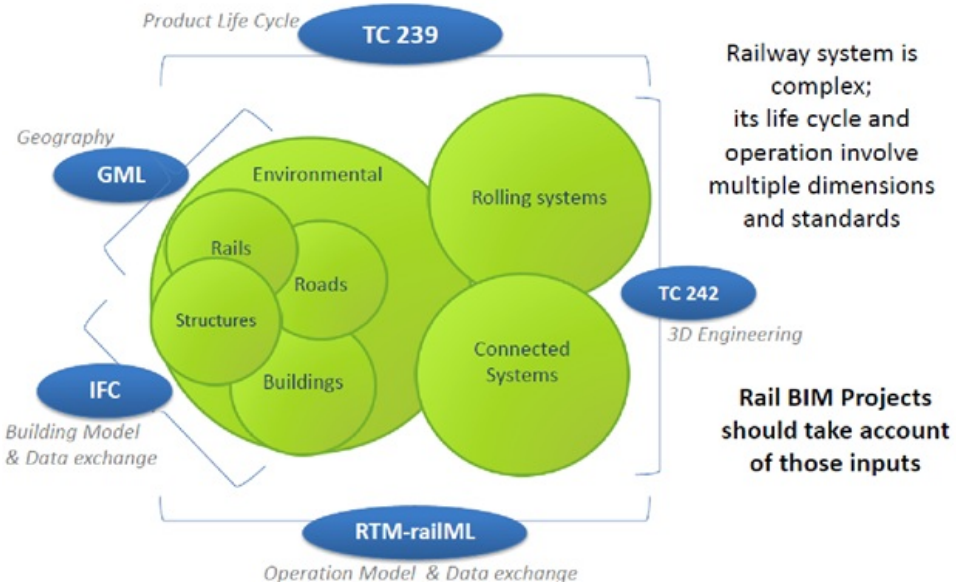

Рис. 21. Экосистема стандартов необходимых для цифровой железной дороги (источник -RailTech Europe 2017 - Utrecht - March 28th, 2017)

Текущая работа по системе BIM Rail (IFC) отражена на рисунке 22. Предварительные спецификации BIM Rail (IFC) выпускаются различными странами, принятыми в BuildingSmart International. Однако и сам язык IFC модернизируется в 5 версию (рисунок 23). IFC 5 в перспективе, включает:

- Общую схему
- Дороги
- Железные дороги
- мосты.

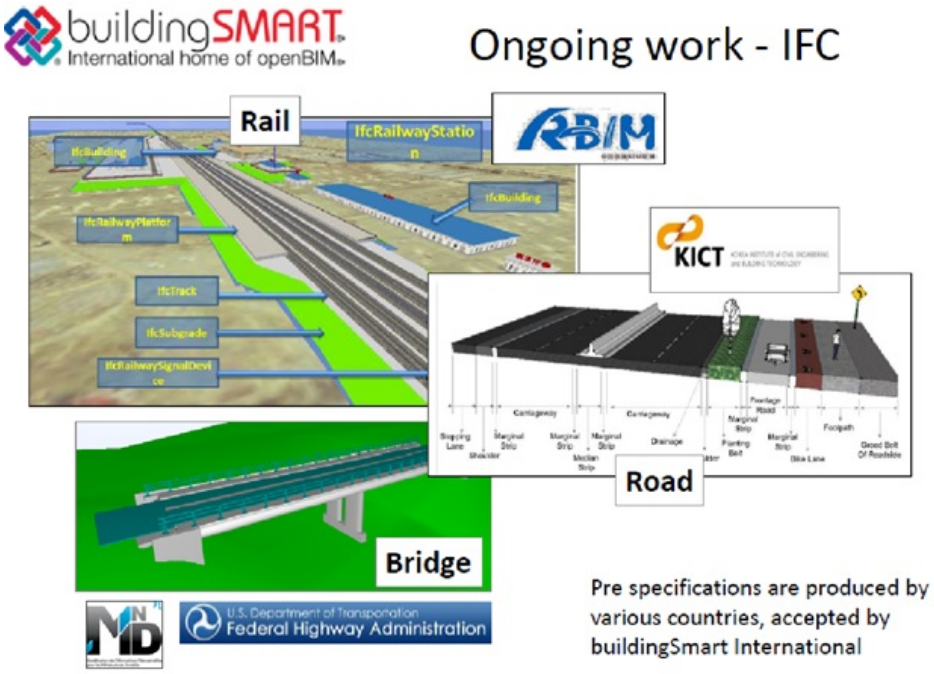

Рис. 22. Визуальное представление областей разрабатываемых стандартов (источник -RailTech Europe 2017 - Utrecht - March 28th, 201

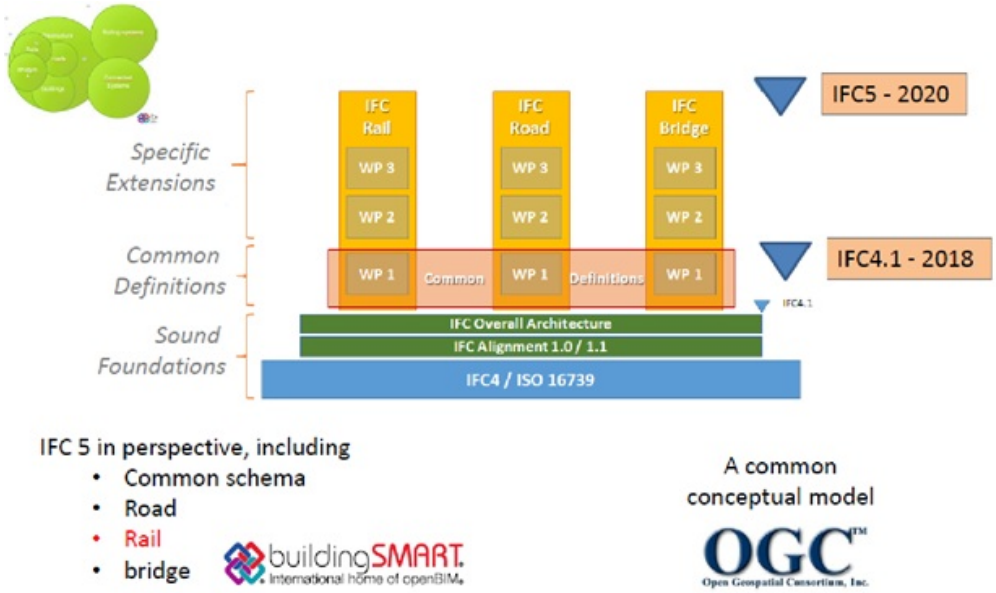

Рис. 23. График изменений в IFC с включением необходимых позиций из OGC.(источник -RailTech Europe 2017 - Utrecht - March 28th, 2017)

Руководители проектов BIM Rail - IFC Rail и RailTopoModel-railML объявили о своем намерении обеспечить согласованность и взаимную дополняемость между обоими стандартами в области моделирования и обмена форматами для железных дорог в 2017 году. Это создает фактическую возможность создания полного набора необходимых международных стандартов и регламентов для цифровых железных дорог. Принципиальная схема обмена между BIM Rail - IFC Rail и RailTopoModel-railML приведена на рисунке 24.

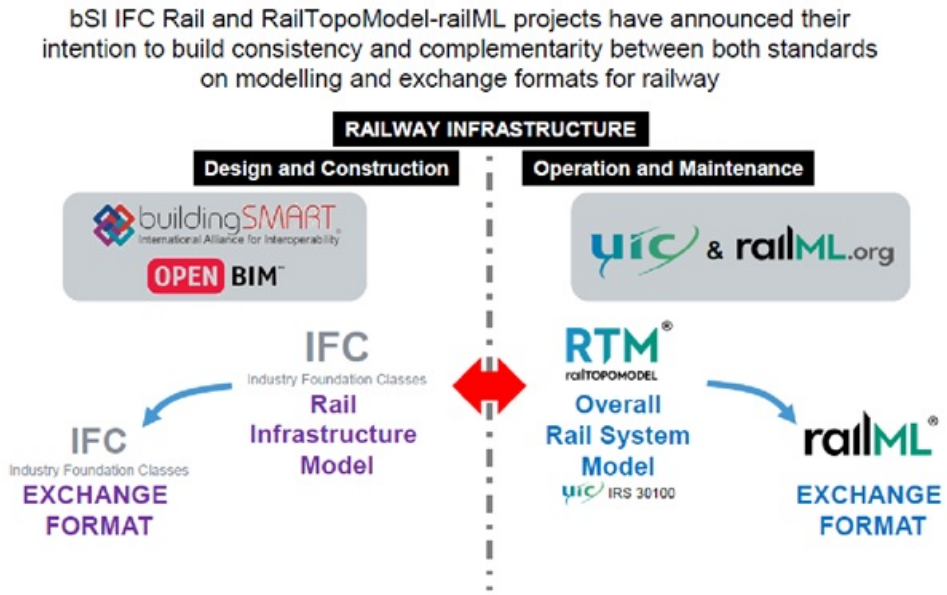

Рис. 24. Принципиальная схема обмена между BIM Rail - IFC Rail и RailTopoModel-railML (источник -RailTech Europe 2017 - Utrecht - March 28th, 2017).

IV BIM в аэропортах

Однако то, что происходит на проектах цифровой железной дороги это только начало стандартизации различных семейств BIM для различных инфраструктурных решений. Ожидается, что значительная часть таких стандартов на IFC появится уже к 2020 году и, вероятно, что удачно найденная схема кооперации BIM Rail - IFC Rail и RailTopoModel-railML будет применяться не только в одной железнодорожной сфере.

Можно предположить, что в первую очередь это случится в аэропортах гражданской авиации. Так как в авиаперевозках уже был достигнут эффект порядка 60% увеличения емкости аэропортов за счет внедрения цифровых методов, и сегодня сами аэропорты становятся узким местом в бурно растущем потоке пассажиров.

Будущее авиаперелетов - тема Стамбульского форума (декабрь 2015 года, проходил с участием России) дала возможность для широкой и глубокой оценки хода развития и возможностей, с которыми сталкивается отрасль воздушных перевозок и ее инфраструктура. Следуя отдельной работе одной из лучших инженерных и строительных компаний в мире ARUP, которой именно и поручили обобщить итоги этого форума [68], можно привести его краткие итоги, которые показывают неизбежность строительных трансформаций в аэропортах.

Физическая негибкость существующих аэропортов требуют трудоемкого физического планирования и капитальных инвестиций в строительство. Но как только строительство завершается, оно постоянно оспаривается органами экологического регулирования, экономической неопределенностью, возникающими новыми требованиями безопасности, изменениями бизнес-моделей авиакомпаний, и продолжающейся физической негибкостью сооружений из бетона и стали для того, чтобы иметь дело с изменяющимися требованиями.

Спрос на авиаперевозки ненасытен, аэропорты полны планами роста развития во многих регионах мира но, скорее всего, они не в состоянии удовлетворить долгосрочный спрос - и многие регионы уже ограничены с точки зрения строительства новых мощностей.

Понять новую технологию, а не построить новое здание необходимо, так как технологический прогресс может дополнить физическое планирование, чтобы свести к минимуму строительство для удовлетворения ожидаемого спроса. Тем не менее, даже если технология теоретически позволяет аэропортам работать умнее, там есть риски и участники отрасли должны совместно использовать данные. Выгоды, однако, могут быть очень существенными, в том числе:

- Обмен данными участниками перевозок от точки до точки в целях содействия успешному завершению процесса путешествия.
- Практика досмотров на экране для определения намерения, которые могли бы уменьшить необходимость физического скрининга, который является текущей практикой.
- Альтернативные багажные процессы, которые могли бы способствовать более эффективному использованию зданий.
- Глобальные меры по изменению процедур входа для обеспечения бесперебойных международных поездок и уменьшения потребностей для традиционных приемов и иммиграции объектов.
- Общие данные по современному опыту пассажиров, которые все больше и больше управляются данными. Но есть несколько владельцев данных на протяжении путешествий из точки в точку. Они владеют пассажирским

опытом, но обмен данными между ними явно недостаточный.

Настало время для авиационной промышленности для разработки более глубокого сотрудничества в целях учета пассажирского и багажного опыта, учета предпочтений клиентов и лучших практик для удовлетворения потребностей пассажиров.

Скрининг: возможности, намерения и риск. Пассажирский скрининг в настоящее время проверяет возможность нанести вред, используя значительные пространство и ресурсы для определения запрещенных предметов. Скрининг на основе оценки рисков вместо этого, оценивает намерение причинить вред, хотя по-прежнему эти методы находятся в младенческом возрасте, но эти предложения обещают сократить необходимость того, чтобы содержать традиционный пункт пропуска путем скрининга и преобразовать его в виртуальный домен.

Багаж - идет своим путем? Есть ли еще необходимость того, что сумка должна сопровождать нас на протяжении всей поездки? Возникающие интеллектуальные технологии работы с багажом, в сочетании с дистанционными отправкой/получением багажа и альтернативой общей экономики транспорта (например, Uber и Lyft), могут означать, что получение своего багажа в аэропорту и ожидание вокруг багажной карусели является делом прошлого. Эти технологии, поддержанные путем отслеживания багажа в реальном времени, приведут к сокращению потребности систем обработки багажа в аэропортах, улучшат эксплуатационную эффективность и снизят пассажирские тревоги.

Оптимизированные терминалы. Эти понятия, когда они собраны вместе, могут привести к радикально упрощенным терминалам, с системами обработки багажа, которые находится в другом месте, или к значительному снижению скрининга пассажиров, пограничного контроля и регистрации, при одновременном уменьшении требующихся для этого физических площадей. Мы можем предусмотреть понятие "единой проверки", меньшие размеры и более оперативно конфигурируемый терминал. Виртуальный заказ и индивидуальный сбор потребительских товаров может еще больше снизить потребности в традиционно сконфигурированном концессионном пространстве.

Новый золотой век воздушных путешествий может быть реализован через умные цифровые форматы и физически более удобные для путешествия экосистемы. Но эти изменения будут трудными, и эти значительные изменения требуют от промышленности предпринять реальные шаги, чтобы эти преобразования стали реальностью.

Примерно половина гражданских авиационных полетов в мире совершается в США и, соответственно, примерно 50% аэропортов мира тоже находится в этой стране. Поэтому мы выбрали именно исследования этой страны для анализа. В США действует программа под названием следующее поколение аэропортов. NextGen начался в декабре 2003 года с закона Vision 100 Century of Reauthorization Aviation. Его цели заключались в том, чтобы «использовать данные из новых наземных и космических технологии связи, навигации и наблюдения; интегрировать потоки данных из нескольких агентств и источников, чтобы обеспечить ситуационную осведомленность и бесперебойную глобальную деятельность для всех соответствующих пользователей системы» [64]. Аэропорты играют решающую роль в достижении этих целей и могут максимизировать выгоды, которые они получают взамен. Пространственным данным воздушного пространства и самолетам в нем, как ключевому аспекту деятельности аэропортов, и посвящен, собственно, NextGen. Пространственные данные могут иметь различные форматы и на разных уровнях точности, полноты и значимости.

За последние несколько десятилетий во многих аэропортах был реализован один такой формат — географические информационные системы (ГИС), для удовлетворения широкого спектра потребностей. В последние годы разработаны дополнительные международные требования к аэропортам о сборе геопространственных данных, достаточных для удовлетворения многочисленных потребностей, таких как проектирование схем захода на посадку по приборам, съемки для строительных целей, навигационные средства (NAVAID), генеральные планы и планы расположения аэропортов (ALP), а также изменения конфигурации аэродрома.

По мере того как в аэропортах переходят к использованию более совершенных решений в области безопасности полетов и аэродромов, оперативной эффективности и ситуационной осведомленности, потребность в этих данных возрастает, и появляются требования высокого качества, текущих и точных пространственных данных, отображающих аэропорты, а также воздушное пространство вокруг аэропортов. Связь этих требований с пространственными данными является предметом цифрового управления воздушным движением, и чем лучше оно становится, тем больше пассажиров пребывает в аэропорты.

Однако, поскольку эта тема не является основной, мы дополним ее всего двумя соображениями: состоянием погоды, крайне важной для авиации именно в зонах аэропортов данными о состоянии воздушного пространства. Здесь отсылаем читателя к очень подробному исследованию [70]. Необходимо быстро и оперативно получать данные в реальном времени о состоянии воздушного пространства, как среды движения самолетов. Для этого, по мнению американских исследователей, лучше всего подходят беспилотные летальные аппараты, объединенные системами радиосвязи и бортовыми вычислителями в

своеобразный интеллектуальный рой, связанный в единую среду наземных цифровых средств [69].

В столь необходимой трансформации собственно аэропортов ключевую роль играет информационное моделирование зданий (BIM), которое представляет собой цифровое представление физического объекта и его функциональных характеристик. Информация BIM может совместно использоваться планировщиками, проектировщиками, конструкторами, операторами и эксплутационным персоналом для предоставления достоверной информации для принятия решений на протяжении всего жизненного цикла объектов аэропортов. BIM предлагает инструменты, которые позволяют лицам, принимающим решения в аэропортах, понимать все компоненты объекта, их местоположение и их атрибуты, как графические, так и систематические, чтобы свести к минимуму совокупную стоимость владения и эксплуатации аэропорта [70].

Целью этого синтеза является предоставление информации об общем, текущем состоянии искусства и практики в приложениях BIM в промышленности и обеспечить моментальный снимок существующего опыта, связанного с появлением BIM в аэропортах Северной Америки[70]. Цель в [70] состоит в том, чтобы предоставлять информацию о BIM и помогать аэропортам в понимании имеющихся возможностей, преимуществ и ценностей, связанных с технологиями BIM. Отмечается, что в настоящее время для операторов аэропортов мало инструкций по внедрению BIM, которые необходимы от концепции проекта до планирования, проектирования, строительства, ввода в эксплуатацию, эксплуатации, технического обслуживания и сноса. Хотя несколько аэропортов использовали некоторые инструменты BIM и процессы, которые на нем базируются в их программах развития, существует нехватка документации по выгодам и урокам.

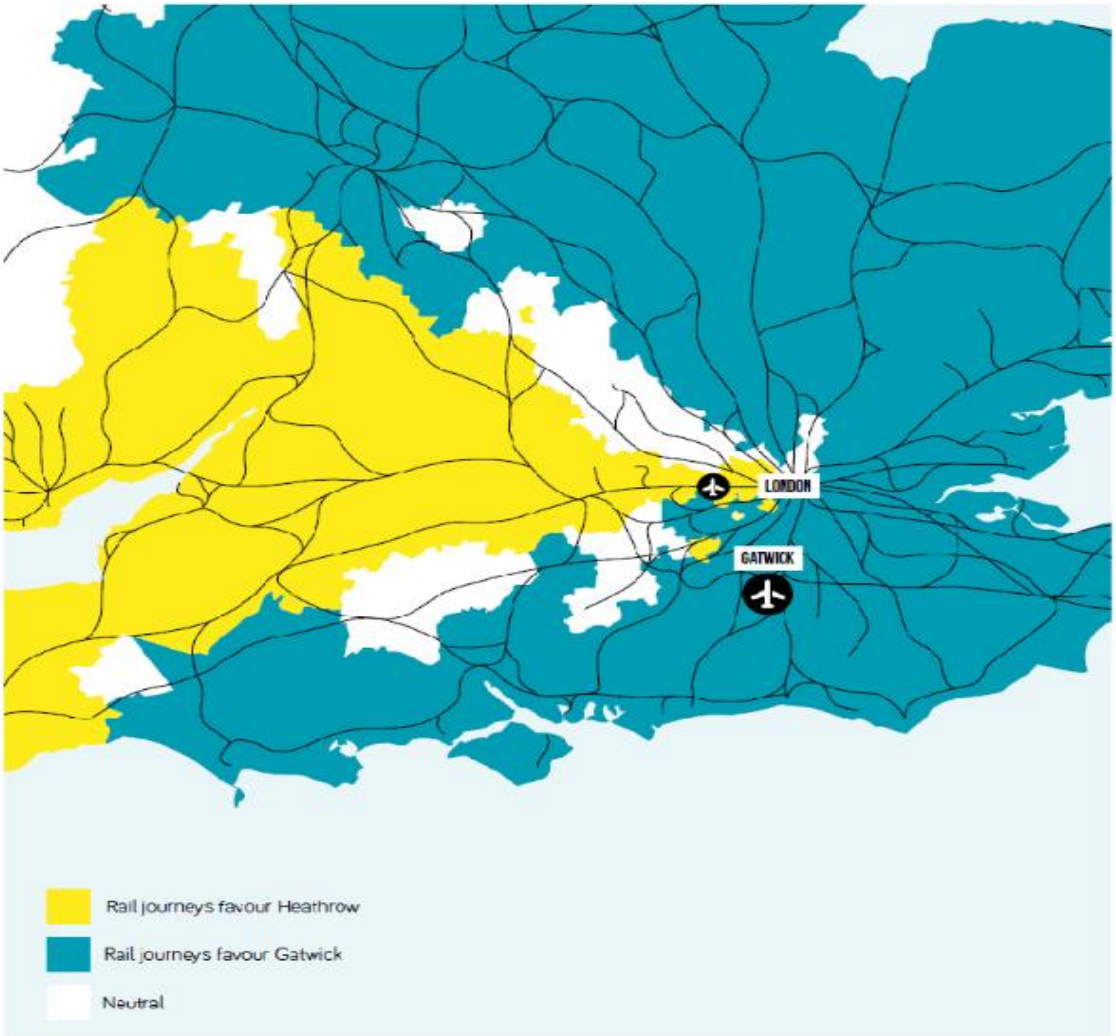

Рис. 25. Железнодорожная доступность аэропортов.

Ранние этапы внедрения BIM в аэропортах это - обнаружение и преодоление барьеров на пути внедрения, связанных с интеграционными вопросами, такими как организационная готовность, разработка стандартов, создание языка договоров и системные взаимосвязи. Результаты исследований показали, что выгоды от BIM обычно не реализуются в краткосрочной перспективе. Отмечена важность количественной оценки преимуществ BIM для экономии затрат и долгосрочного Информационного моделирования зданий для аэропортов

Для того, чтобы перейти к развитию событий по типу цифровой железной дороги, необходимо понимать, что существует мало руководств для аэропортов в части:

- Внедрения всеобъемлющей стратегии управления объектами с поддержкой BIM,
- Разработки значимых ключевых показателей эффективности для BIM,
- Расчета окупаемости инвестиций для BIM и
- Создания языка договора и документов для облегчения реализации BIM.

Завершая эту часть, мы приводим для понимания важности связей работы аэропортов карту из книги, изданной аэропортом Гатвига (Лондон) о его транспортных преимуществах с очень интересным названием для аэропорта - «Железнодорожная революция», которая очень наглядно демонстрирует цену совместных цифровых трансформаций железных дорог и аэропортов (рисунок 25). Это карта, показывающая лучшую железнодорожную доступность аэропорта Гатвика в Европе по отношению к Хитроу

V Цифровое строительство. Как следующие инновации используют BIM

В этой части мы укажем несколько способов, которыми строительная отрасль железных дорог может трансформироваться в течение следующих пяти лет, следуя [1,2] и используя цифровой задел BIM Rail и RTM. Сегодня нет общепризнанного названия этого будущего и в ходу названия семантический BIM, виртуальный BIM, 5D BIM, мульти BIM и многие другие. Поэтому мы, не меняя смысла, их применяем, имея в виду цифровое строительство.

Мы отобрали эти направления в будущем цифрового строительства так, чтобы ни одни из этих способов не являлся футуристическим или даже неправдоподобным. Все они основаны на инновациях, которые применимы к строительному сектору. Эти инновации либо уже развертываются, либо прототипируются, и они практичны и актуальны. Более того, они предназначены для совместной работы, чтобы обеспечить большее сотрудничество на следующих этапах, которое уже стало основой успеха BIM и, так или иначе, становятся мировыми трендами. На железных дорогах Великобритании именно обучение сотрудников стандартам сотрудничества, собственно, предшествовало обучению технологиями BIM. На рисунке 26 приводятся эти пять направлений развития цифровой строительной организации будущего и, конечно, это относится и к строителям цифровых железных дорог. Естественно, что при этом читателю должно быть достаточно ясно, что инвестиции, сделанные в технологии цифрового строительства, будут иметь не только возвратность и прибыльность на каждом этапе, но и многократно использоваться в будущем.

Рис. 26. Цифровая строительная организация будущего — пять направлений развития ([1])

Геодезические и топографические съемки более высокого разрешения - это давно известный в строительстве этап проектно-изыскательских работ. Именно его результаты закладывают основу проектирования и последующего строительства и ошибки на нем, как известно всем практикам, очень дорого обходятся.

Геологические сюрпризы и то, что находится в земле и не обнаружено на этапе проектно-изыскательских работ - основная причина того, что проекты задерживаются, а бюджет - пересматривается. Несоответствия между реальными условиями в поле и предварительными оценками обследования могут потребовать дорогостоящих изменений в объеме проекта в последнюю минуту. Новые методы, которые объединяют фотографии высокой четкости, трехмерное лазерное сканирование и географические информационные системы, благодаря недавним усовершенствованиям технологии беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), могут значительно улучшить точность и скорость этого этапа и снизить стоимость. Например, фотограмметрия обеспечивает высококачественные изображения высокого разрешения в районах съемки, но требует времени для преобразования в пригодный для использования формат. Технология Lidar (Light Identification Detection and Ranging — световое обнаружение и определение дальности) намного быстрее, чем традиционные технологии, и обеспечивает высококачественные трехмерные изображения, которые могут быть интегрированы с инструментами планирования проекта, такими как моделирование информационного моделирования зданий (BIM), как показано на рисунке 27.

Используемый в сочетании с проникающими в землю радарами, магнитометрами и другим оборудованием, лидар может создавать надземные и подземные трехмерные изображения проектных объектов. Это особенно важно в плотных, экологически чувствительных или исторических проектах, где нарушения должны быть сведены к минимуму. Эти передовые методы обследования дополняются географическими информационными системами, которые позволяют накладывать карты, изображения, измерения расстояния и позиции GPS или Глонас. Эта информация затем может быть загружена в другие аналитические и визуализационные системы для использования при планировании и строительстве. Для экономии времени и денег часто используются две или несколько методик обследования. Например, для обследования участков рек для мини-гидроэлектростанций в Юго-Восточной Азии геодезисты использовали лидарные карты для общей информации о местности и беспилотные камеры высокой четкости, чтобы сосредоточиться на конкретной области.

Современные технологии обследования становятся доступнее, чем когда-либо, потому что затраты существенно снизились. Лидар и кинематический GPS в реальном времени теперь доступны, примерно, за 10 000 долларов. Камеры с высоким разрешением, небольшие и достаточно легкие для установки на стандартных промышленных дронах - это быстрее и дешевле, чем использование вертолетных камер для аэросъемок. Специализированные поставщики технологий предлагают недорогие пакеты обследования, включая оборудование для дронов и беспилотного летательного аппарата, услуги по выгрузке и обработке данных, а также программное обеспечение для управления полетами беспилотных летательных аппаратов, сбора данных и информационных панелей для визуализации информации. Некоторые государственные учреждения и неправительственные организации в мире начали предоставлять бесплатные лидарные карты. Появились уже носимые лидары размерностью со смартфон.

Все это проявление великой силы цифровой экономики — консьмеризации, но есть практические примеры использования, например, смартфонов для этих целей, причем для инвентаризации целиком железной дороги с удивительными экономическими эффектами сокращения планируемой стоимости в 3 раза. На наш взгляд, очень важно даже не технические достижения, а установление стандартов на точность проектно-изыскательских работ, например, для обнаружения подземных коммуникаций [9], и это, на наш взгляд, стоит сделать и в России. Все эти цифровые данные могут и должны быть сохранены в инфраструктуре информационных ресурсов BIM. Ключевыми проблемами цифрового строительства вплотную занимается самая серьезная наука. Академия наук США, например, публикует очень подробные исследования, необходимые для практиков строительства. Приведем для читателей лишь примеры: использование мобильных устройств для снижения затрат на строительство [50], геометрические методы для строительства дорог [51], использование новых поколений лидаров и радаров для проектно-изыскательских работ и организации мобильности в строительстве [49]. На работу [48] по современным подходам к жизненному циклу в строительстве мы бы, пожалуй, советовали обратить особое внимание.

Следующее поколение BIM будет, как говорят, уже 5-D информационным моделированием зданий и сооружений. Два новых измерения - время и деньги. Собственно, цифровые результаты проектно-изыскательских работ, о которых шла речь выше, рассматриваются уже как цифровой актив, имеющий свою самостоятельную цену. В 1970-е годы крупные промышленные аэрокосмические компании стали пионерами компьютерного трехмерного моделирования. Это изменило способ проектирования и строительства самолетов и помогло повысить производительность сектора в десять раз. О единых корнях этих технологий мы уже писали [63]. В промышленности проекты - это

тоже уже цифровой актив, как и в цифровом строительстве. Но сегодня в цифровой экономике уже есть много примеров, когда достижения из одной части передаются в части принципов и методов в другую. В целом, успех технологий BIM сделал возможным преобразования отрасли строительства в производство, ликвидируя постепенно ручной труд и превращая строительство в сборочный конвейер из компонент, которые производятся в заводских условиях и, следовательно, становятся дешевле и могут монтироваться как в производстве по принципу JIT.

Строительная отрасль, однако, еще не приняла в целом интегрированную цифровую платформу, которая охватывает планирование проекта, проектирование, строительство, эксплуатацию и техническое обслуживание или полный жизненный цикл, как это уже есть в промышленности. Вместо этого, строительство по-прежнему полагается на заказные программные средства. Кроме того, владельцы проектов и подрядчики часто используют разные цифровые платформы, которые не синхронизируются друг с другом. В результате нет единого источника, который бы обеспечивал интегрированное представление проекта, стоимости и графика проекта в режиме реального времени. Именно это мы обсуждали выше для железнодорожного строительства, и этот задел, экономически самодостаточный сам по себе, обеспечивает и дальнейшее развитие в цифровом строительстве. Создание единых моделей и библиотек элементов позволит практически говорить о следующем поколении 5-D BIM. Оно представляет собой пятимерное представление физических и функциональных характеристик любого проекта. При этом учитывает стоимость и график проекта в дополнение к стандартным параметрам пространственного проектирования в 3-D по одной простой причине - возможностям достоверных расчетов на базе объективных данных. 5D BIM также включает такие детали, как геометрию, технические характеристики, эстетику, тепловые и акустические свойства и т.п.. 5-D платформа BIM позволяет владельцам, заказчикам и подрядчикам определять, анализировать и регистрировать влияние изменений на затраты по проекту и планирование. Визуальный и интуитивный характер 5-D BIM дает подрядчикам больше шансов выявить риски раньше и, следовательно, принимать более правильные решения, так как позволяет моделировать будущий ход строительства (время) и рассматривать варианты. Например, планировщики проекта могут визуализировать и оценивать влияние предлагаемого изменения в проекте на стоимость проекта и графики.

Одно из исследований показало, что 75 процентов тех, кто принял BIM, сообщили о положительной отдаче от своих инвестиций [18]. Там также сообщалось о сокращении времени на циклы проектов и экономии на бумажной и материальной стоимости. Учитывая эти преимущества, ряд правительств, в том числе в Великобритании, Финляндии и Сингапуре, активно начали использование BIM для проектов государственной инфраструктуры [6].

Использование технологии 5-D BIM будет еще более усовершенствовано с помощью технологии дополненной реальности с помощью носимых устройств. Например, носимое, автономное устройство с прозрачным голографическим дисплеем и продвинутыми датчиками может отображать физическую среду для проработки вариантов строительства в поле. Многие компании уже разрабатывают BIM-подобные проектные и строительные решения для этих платформ. В этой среде «смешанной реальности» пользователи могут прикреплять голограммы к физическим объектам и взаимодействовать с данными с помощью жестов, взгляда и голосовых команд.

Объединение 5-D BIM и устройств с расширенной реальностью преобразует строительство, обслуживание и конкретные операции. Чтобы в полной мере воспользоваться технологией BIM, владельцы проектов и подрядчики должны включить ее использование прямо с этапа проектирования, и все заинтересованные стороны должны принять стандартизированные форматы оформления и представления данных, совместимые с моделями, библиотеками и стандартами BIM, о которых мы говорили выше. Общая архитектура 5D BIM приведена на рисунке 27.

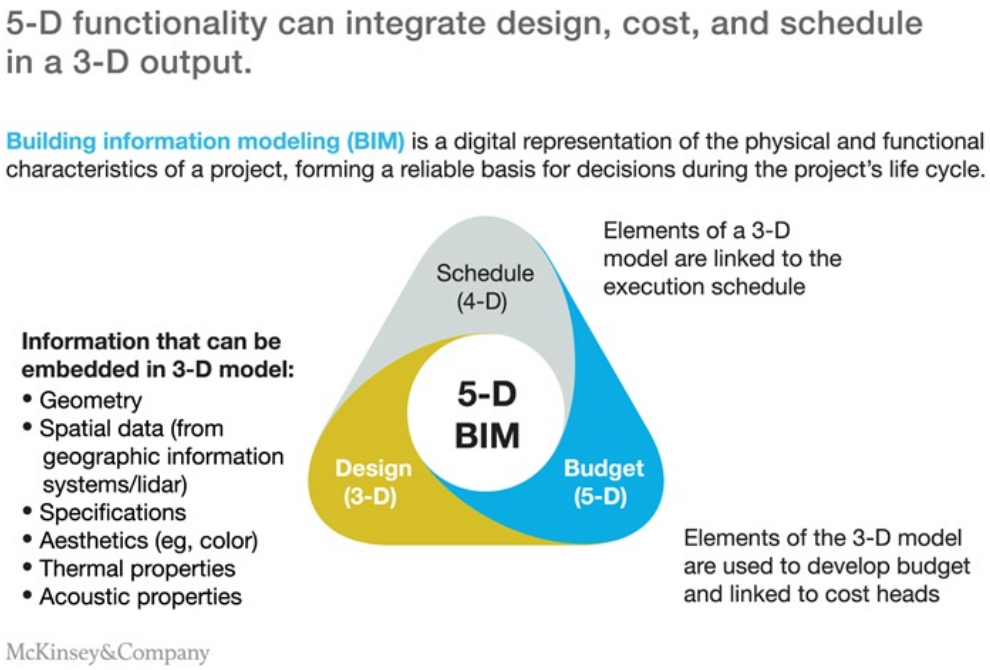

Рис. 27. Цифровое строительство сотрудничество и мобильность через 5D BIM ([1])

Процесс цифровой трансформации в строительстве означает переход от бумажных документов к онлайновому обмену информацией в режиме реального времени для обеспечения прозрачности и сотрудничества, своевременного прогресса в проектах и оценки рисков, контроля качества и, в конечном счете, улучшения и повышения надежности результатов. Но для этого необходимо точно знать, что, когда и где необходимо. Так начинают работать расширенные 5D измерения.

Одной из причин низкой производительности труда в строительной отрасли России является то, что она по-прежнему, в основном, опирается на бумагу для управления своими процессами и результатами, такими, как чертежи, проектные чертежи, заказы на поставку и заказы на цепи поставки, журналы оборудования, ежедневные отчеты о ходе работ, списки для определения виноватых и так далее. Из-за отсутствия стандартов и цифровых технологий, обмен информацией задерживается и может быть не универсальным. Поэтому заказчики, владельцы проектов и подрядчики в России часто работают с разными версиями реальности и отнюдь не виртуальной. Использование бумаги затрудняет сбор и анализ данных. Это важно, потому, что, например, при закупках и заключении договоров, историческая аналитика производительности может привести к лучшим результатам и управлению рисками. Нецеленаправленные бумажные трассы также обычно вызывают разногласия между владельцами проекта (Заказчиками) и подрядчиками по таким вопросам, как оценка состояния хода строительства, изменения заказов и управление требованиями. Наконец, бумажные технологии просто занимают больше времени и требуют гораздо больших затрат. И тут тоже придется принимать решение о том, что является первичным - цифра или бумага.

Владельцы проектов, заказчики и подрядчики в мире уже начинают внедрять решения для цифровой совместной работы и полевой мобильности. Недавно крупная глобальная строительная фирма объявила о совместном соглашении о разработке с поставщиком программного обеспечения для разработки облачной платформы для полевых наблюдений на базе мобильного устройства, которая объединяет планирование проекта, разработку, физический контроль, бюджетирование и управление документами для крупных проектов [1]. Несколько крупных разработчиков проектов уже успешно оцифровали свои рабочие процессы по управлению проектами, и это предстоит сделать и в России для достижения экономически целесообразных результатов в строительстве.

Введение цифры с поля в рабочие потоки и обратно имеет существенные преимущества. В американском туннельном проекте, в котором участвовало почти 600 поставщиков, подрядчик разработал единую платформу для выставления счетов, проведения торгов и управления контрактами. Это сэкономило команде более 20 часов рабочего времени в неделю на человека, сократило время создания отчетов на 75 процентов и ускорило передачу документов на 90 процентов. В другом случае проект стоимостью 5 млрд. долл. США, финансируемый за счет железных дорог, сэкономил более 110 млн. долл. США и повысил производительность за счет использования автоматизированных потоков оформления работ для рассмотрения и утверждения [1].

Решения для мобильности будут оказывать аналогичное каталитическое воздействие и на производительность, но опять же должны базироваться на объективной реальности 5D BIM и предыдущих этапах. Командам централизованного планирования и строительным бригадам на протяжении долгого времени

было сложно подключиться и обмениваться информацией о прогрессе в реальном времени. Некоторые проблемы ограничили принятие таких инструментов полевыми бригадами: проблемы совместимости между мобильными решениями и решениями для централизованного планирования, отсутствие надежной и высокоскоростной широкополосной связи и не-интуитивные конструкции и пользовательские интерфейсы.

Доступность недорогой мобильной связи, в том числе с помощью планшетов и карманных устройств, открыла новое поколение «мобильных » облачных приложений для мобильности цифрового строительства, которые могут быть развернуты, даже на удаленных строительных площадках, с обновлениями в реальном времени. Они являются коммерчески выгодными для подрядчиков и владельцев проектов всех размеров. Особую выгоду, например, могут получить железнодорожные строители в России, у которых удаленные строительные участки зачастую норма, а не исключение.

На самом деле в мире, сегмент решений цифровой совместной работы и мобильности привлек почти 60% всего венчурного финансирования в секторе строительных технологий. Так, один стартап разработал приложения для планшетов и смартфонов, которые позволяют вносить изменения в планы строительства в реальном времени для бригад на месте. Пи этом фотографии на сайте могут быть гиперссылками на планы строительства. Это решение поддерживает основной набор документов с автоматическим контролем версий и облачным доступом. Другие компании предлагают мобильный хронометраж, кодирование стоимости в режиме реального времени, привязку рабочих к конкретным фронтам работ, ведение журналов и отслеживание использования строительной техники.

Так как пользователи, работающие со строителями в поле, такие, как менеджеры проектов, поставщики и операторы принимают информацию из приложений для мобильности в режиме реального времени, они могут изменить способ, которым отрасль делает все, начиная с управления работой и изменениями, отслеживания времени и материалов, диспетчеризации, планирования, измерения производительности, отчетности об инцидентах и т.д.. Все это вполне реализуемо и в России.

VI Интернет вещей и продвинутая аналитика

По таким показателям, как количество людей, обилие строительной техники и объем работы, выполняемой в одно и то же время, участки строительных проектов становятся все плотнее. Теперь они генерируют огромное количество данных, большинство из которых даже не зафиксировано, не говоря уже об измерении и обработке. Особенно это касается сложных инженерных проектов, таких как цифровая железная дорога.

Интернет вещей (IoT) является реальностью во многих других секторах. Датчики и беспроводные технологии позволяют оборудованию и активам стать «умными», связывая их друг с другом. На стройплощадке «Интернет вещей» позволит строительной технике, оборудованию, материалам, конструкциям и даже опалубке «разговаривать» с центральной платформой данных для получения и улучшения критических параметров производительности. Сенсоры, устройства ближней связи (NFC) и другие технологии могут помочь контролировать производительность и надежность персонала и активов. Примеры для строительства, промышленности и в целом для цифровых трансформаций можно посмотреть в публикациях [21,55,73].

Существует несколько возможных вариантов использования IoT в строительстве.

Мониторинг и ремонт строительного оборудования и техники. Усовершенствованные датчики могут позволить машинам обнаруживать и сообщать требования к обслуживанию, отправлять автоматические предупреждения для профилактического обслуживания и компилировать данные об использовании и техническом обслуживании.

Управление запасами и заказ. Связанные системы могут прогнозировать и предупреждать менеджеров сайта, когда запасы заканчиваются и когда заказы должны быть сделаны. Маркировка, NFC и отслеживание материалов также могут точно определять их местоположение и перемещение, а также заниматься согласованием данных физических и электронных ресурсов.

Оценка качества строительных работ и мониторинг конструкций то же имеет значительный потенциал для внедрения технологий IoT. «Умные структуры», которые используют вибрационные датчики для проверки прочности и надежности конструкции во время стадии строительства, могут обнаруживать недостатки, а затем помочь исправлять их на ранней стадии.

Энергоэффективность, реализуемая через датчики и технологии IoT, которые контролируют окружающие условия и расход топлива на активы и оборудование, могут способствовать повышению энергоэффективности на месте строительства и способствовать снижению затрат и повышению безопасности. Так, носимые устройства могут отправлять предупреждения, если водители и операторы засыпают, или если транспортное средство или актив неподвижны, или не работают в течение заданного промежутка времени в часы смены.

Одной из популярных технологий NFC является радиочастотная идентификация (RFID). Это широко используется в логистике, розничной торговле и производственных средах для сбора точной информации о продукте, месте, времени и транзакции. В рассматриваемых выше BIM библиотеках уже сегодня это допустимая маркировка строительных элементов

наравне с бар-кодами [6]. С 1990-х годов в строительстве начали использовать RFID для таких приложений, как слежение за материалами и оборудованием, а также разработка автоматизированных расписаний. И технология NFC развивается дальше, и главное, что падает стоимость RFID, и уже есть нормативная база для их применения в России, включая выделение частот. Вскоре теги RFID смогут включать информацию о спецификациях, датах, дефектах, поставщиках и изготовителях оригинального оборудования, записи технического обслуживания, рабочие параметры и другие приложения. Расходы на оборудование RFID, включая сканеры, приемники и метки, снижаются, и появляются новые приложения. Например, одна британская строительная компания использует RFID для мониторинга инспекции грузовых автомобилей, отслеживания использования инструментов и обучения рабочих на строительных площадках. В Гонгонге RFID помещают в сложные бетонные конструкции при изготовлении примерно с такими же целями. Маркировка имеет крайне важное значение, как для цифровой промышленности, так и для цифрового строительства и их объединяет позиция по электронным библиотекам. В странах, входящих в ЕАЭС все необходимые стандарты для начала работ в части маркировки приняты, и мы их представили на рисунке 32. Известно, что строители и инженеры люди занятые, и мы рекомендуем им две замечательные книги, как на тему маркировки, так и на тему BIM [74,75]. Появление таких книг в прошлом году есть очень хороший знак готовности этих технологий для массового внедрения и у нас в России.

В дополнение к возможностям Интернета вещей, более широкое использование цифровых технологий в процессе планирования строительства и на самой стройплощадке позволяет фирмам собирать данные, которые невозможны для бумажных документов. Это сбор цифровых данных по технологиям M2M или машина к машине, в котором просто нет человека, и сегодня образуются данные в режиме реального времени, на которые так же предполагается реакция в таком же режиме. Выводы, полученные благодаря внедрению передовой аналитики в строительных проектах на базе этих достоверных данных большого объема (Большие данные), могут помочь повысить эффективность, сроки и управление рисками.

Так такая продвинутая аналитика помогла крупному лондонскому инфраструктурному проекту сэкономить время и деньги, когда руководители проектов работали с компанией по аналитике данных для создания веб-адаптивной системы контрольно-измерительных приборов и мониторинга. Система использовала данные с полевых датчиков, данные о ходе строительства, а также о рабочей силе и движении транспортных средств. Статистический анализ, основанный на этой информации, помог командам проекта выявить аномалии и выявить потенциальные риски - важную информацию для корректировки хода строительства для плотного и исторически чувствительного города, такого как Лондон. Подобное применимо и к строительству в российских городах.

Другие примеры этого направления имеются в большом количестве. Например, понимание передовой аналитики помогло нефтегазовому гиганту повысить производительность его инженерных функций на 20-25%, объединив правильные команды, назначив соответствующих руководителей и изменив их рабочие потоки, чтобы минимизировать количество отходов и повысить эффективность. В другом случае крупная ближневосточная строительная фирма работала с компанией-разработчиком программного обеспечения для создания механизма интеллектуального анализа для предотвращения сбоев оборудования на месте для своего парка строительных машин. Это сэкономило миллионы долларов на простоях, расходах на топливо и ремонтных расходах. И симуляции событий, в сочетании с алгоритмами оптимизации, также помогли судостроителям оптимизировать планирование строительства.

VII Новые материалы и конструкция

Новые строительные материалы, такие как самовосстанавливающийся бетон, аэрогели и наноматериалы, а также инновационные подходы к строительству, такие как трехмерная печать и предварительно смонтированные модули, могут снизить затраты и ускорить строительство при одновременном повышении качества и безопасности.

Строительные материалы составляют 1 трлн. долл. США в мировой строительной промышленности в год. Материалы обычно составляют более половины общей стоимости проектов. Большую часть этого спроса составляют традиционные материалы, такие как бетон, цемент и асфальт. Огромное число исследований по традиционным материалам ведется, например, упоминавшиеся исследования Академии наук США и они приносят существенные выгоды в строительстве. Так, в [64] исследуются процессы реального времени поведения бетонов для разных смесей на базе портланд цемента, и это очень солидное академическое издание.

Но новые и лучшие строительные материалы также требуются из-за нескольких тенденций.

Зеленое строительство. Существует огромный толчок для внедрения материалов и технологий с более низким содержанием углерода. В целом эта большая тема представлена в [17,55].

Эффективность затрат. Учитывая существенное давление с точки зрения затрат, существует потребность в структурных изменениях в выборе материалов в дополнение к пошаговым усилиям [1,2].

Гибкость цепи поставок. Транспортировка тяжелых материалов и оборудования имеет огромное значение для затрат и времени цепочки поставок, особенно потому, что многие новые проекты расположены в отдаленных или районах старой или исторической застройки. Для использования этого в цифровом строительстве придется взаимодействовать с цифровой

логистикой и без цифровой базы BIM невозможно использовать цифровую логистику.

Повышенная надежность и прочность. С ростом капитальных затрат и нехваткой земли на многих рынках владельцы настаивают на том, что проекты имеют более длительную коммерческую жизнь. Поэтому сборка более легких и удобных материалов за пределами площадки может повысить эффективность проекта, устранить ограничения на месте на площадке и создать условия для повышения квалификации работающих и сокращения избыточной рабочей силы. Но самое важное - это распространение заводских гарантий и получение лучших характеристик надежности и прочности и увеличения срока жизни сооружений, как состоящих из элементов произведенных в массе своей в заводских условиях.

За последние несколько десятилетий в строительных материалах произошла волна инноваций, разработанная с учетом специфики использования. Есть десятки примеров. Вот некоторые из них, которые особенно интересны [1]:

Самовосстанавливающийся бетон. Это решение использует бактерии в качестве целебного агента для закрытия трещин на бетоне; В настоящее время он находится на этапе доказательства концепции.

Бетонное полотно. Возьмите слой «бетонной ткани», затем добавьте воду и дайте ей высохнуть. Это новшество обычно используется для стоков, каналов и проходов, и теперь оно доступно для коммерческого использования.

Проницаемый верхний слой. Это цементная альтернатива, которая может поглощать 4000 литров воды в минуту. Он находится на стадии раннего принятия.

Аэрогель. Этот сверхпрозрачный, суперизолирующий материал представляет собой воздух 99,98%. Он доступен на коммерческой основе.

Наноматериалы. Эти сверхсильные и сверхлегкие материалы могут, в конечном итоге, заменить собой армирование стали в конструкциях и фундаментах, хотя они все еще находятся в стадии исследования.

Некоторые из этих «материалов будущего» могут переопределить концепцию, дизайн и исполнение проектов. Однако вовлечение новых материалов было медленным из-за недостаточной информированности и дружелюбия в конструкторском и инженерном сообществе, ограниченной цепочки поставок и отсутствия доступности, а также неприятия риска между владельцами проектов и подрядчиками. Многие из этих вопросов позволяет начинать решать задел BIM.

Так, несмотря на то, что, например, этилен-тетрафторэтилен (ETFE) был доступен более 30 лет, он получил широкое распространение после того, как он был использован для строительства части водного стадиона для Олимпийских игр в Пекине в 2008 году. ETFE весит менее 1 процента эквивалентной стеклянной панели. И стоит от 24 до 70 процентов меньше, чтобы его установить. Водный стадион в Пекине проектировался и строился с помощью BIM. и это выявило характеристики ETFE и способствовало его распространению (попадание в BIM библиотеки).

Около 80 процентов всех строительных работ все еще выполняется на месте, но многие разработчики проектов и подрядчики внедряют новые методы за пределами площадки. Эти методы помогают улучшить предсказуемость, согласованность и повторяемость. ETFE это продукт заводской готовности, легкого и быстрого монтажа. Это особенно критично.

Нет ничего более прозрачно связанного с BIM, чем 3-D печать. Печатные субмодули или полные бетонные конструкции для сборки и внутренних работ могут преобразовать строительную отрасль в отношении дизайна, стоимости и времени. Тем не менее, трехмерная печать все еще находится на ранней стадии своего развития и пока не может быть развернута в масштабах и скорости, необходимых для крупных проектов.

Но эта технология позволяет производить специальные формы, которые не могут быть созданы никаким другим способом. Так как она обещает повышение производительности до 80% для некоторых приложений, вместе с важным сокращением отходов и время строительства для некоторых зданий может сокращаться с недель до часов, а индивидуальные компоненты могут предоставляться по более низкой стоимости, то мы решили привести более подробные примеры.

Многие компании настроены оптимистично в этом отношении и указывают на другие отрасли, такие как авиация, где массовое производство 3D-печатных компонентов уже является обычной практикой.

Ниже приведены некоторые примеры пилотных схем в рамках самой строительной отрасли, со сталью и бетоном, например. Теперь применение 3D-печати ранжируется от мостов до домов [2]:

ПРИМЕР 1: В проекте, касающемся стальных компонентов с трехмерной печатью, Arup добился 75% снижения веса и 40% снижения в расходах на материалы по сравнению с традиционными методами производства.

ПРИМЕР 2: Цель проекта Skanska 3D для бетонной печати была продемонстрировать то, что трехмерная печать может быть использована для производства конкретных объектов в формах, которые были неосуществимы для традиционных методов литья из бетона.

ПРИМЕР 3: MX3D, голландский стартап, работающий с партнерами, такими как ArcelorMittal, ABB и Autodesk, разработал трехмерного печатного робота с шестиугольной печатью, способного печатать линии в воздухе, и использовал его для печати пешеходного моста через канал в Амстердаме.

ПРИМЕР 3: WinSun (Китай) строит 10 домов в день с использованием 3D-печатных компонентов здания, и заключил соглашение с египетским правительством на строительство 20 000 одноэтажных домов, используя эту технологию.

Как и в производстве, BIM - это стартовая площадка для применения роботов в строительстве. Строительные проекты, по сути своей, не структурированы и часто непредсказуемы, и они также могут быть размещены в труднодоступных местах и средах. По этим причинам использование роботов пока ограничено. Однако теперь уже есть роботы, которые выборочно используются для повторяющихся и предсказуемых действий, таких как укладка черепицы, кирпичная кладка, сварка и изготовление катушек, снос и утилизация бетона.

Необходимо немного сказать о развитии строительной техники Полуавтономное и автономное оборудование способно выполнять сложные задачи, хотя он по-прежнему требует значительного контроля со стороны человека. Автономное оборудование использует сложные цифровые инструменты и новые технологии, такие как беспилотные летательные аппараты, оставляя для человека-работника только «Контрольные роли».

Полу и автономное оборудование предлагает большой потенциал сокращений затрат на строительство, благодаря уменьшению времени реализации и повышению производительности, более высокому качеству, более высокой точности и меньшему количеству ошибок при выполнении операций, повышению безопасности и так далее. Приведем один пример: Komatsu, японский производитель строительного оборудования, разрабатывает автоматизированные бульдозеры, включающие различные цифровые системы. Дроны, 3D-сканеры и стереокамеры собирают данные о местности, которые затем передаются бульдозерам. Системы этой компании оснащены интеллектуальными системами управления машинами, которые позволяют им выполнять свою работу автономно и, тем самым, ускорить предварительную фазу строительства объектов. На горнорудных карьерах уже широко используются автономные автопоезда этой фирмы.

Компании, которые хотят успешно реализовать эти инновационные подходы, должны будут кардинально изменить свои внутренние процессы планирования, проектирования, закупок и строительства. Они также должны будут инвестировать в автоматизацию и эффективную основу цепи поставок, чтобы обеспечить бесперебойную и своевременную транспортировку материалов с завода на площадку для использования. Наконец, компании, которые решают вертикально интегрировать свои цепочки поставок, должны будут планировать инвестиции, связанные с производством и, самое главное, они не смогут внедрять все эти инновации, не пройдя эпоху внедрения BIM.

В завершение этой части мы приводим рисунки 28 и 29, которые показывают как цифровые технологии строительства, применяемые в цепочке создания стоимости зданий и сооружений, так и жизненный цикл задний и сооружений вокруг технологий и информации BIM, базирующийся также на создании цепочек добавленной стоимости недалекого будущего, в которых каждый этап, как и в предыдущих этапах развития BIM, будет определяться экономическими выгодами..

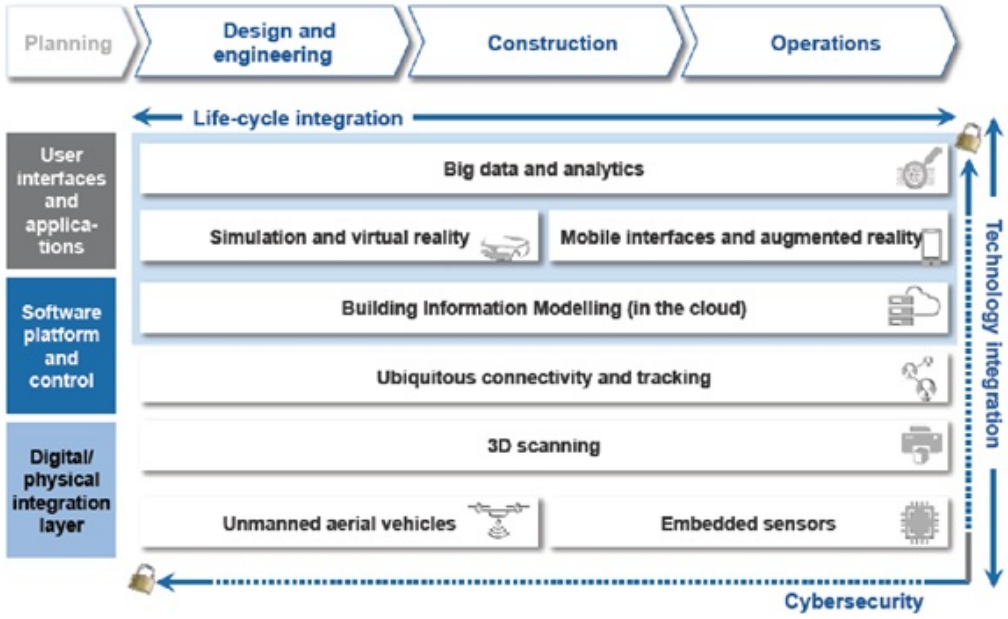

Рис. 28. Цифровые технологии строительства, применяемые в цепочке создания стоимости зданий и сооружений ([2])

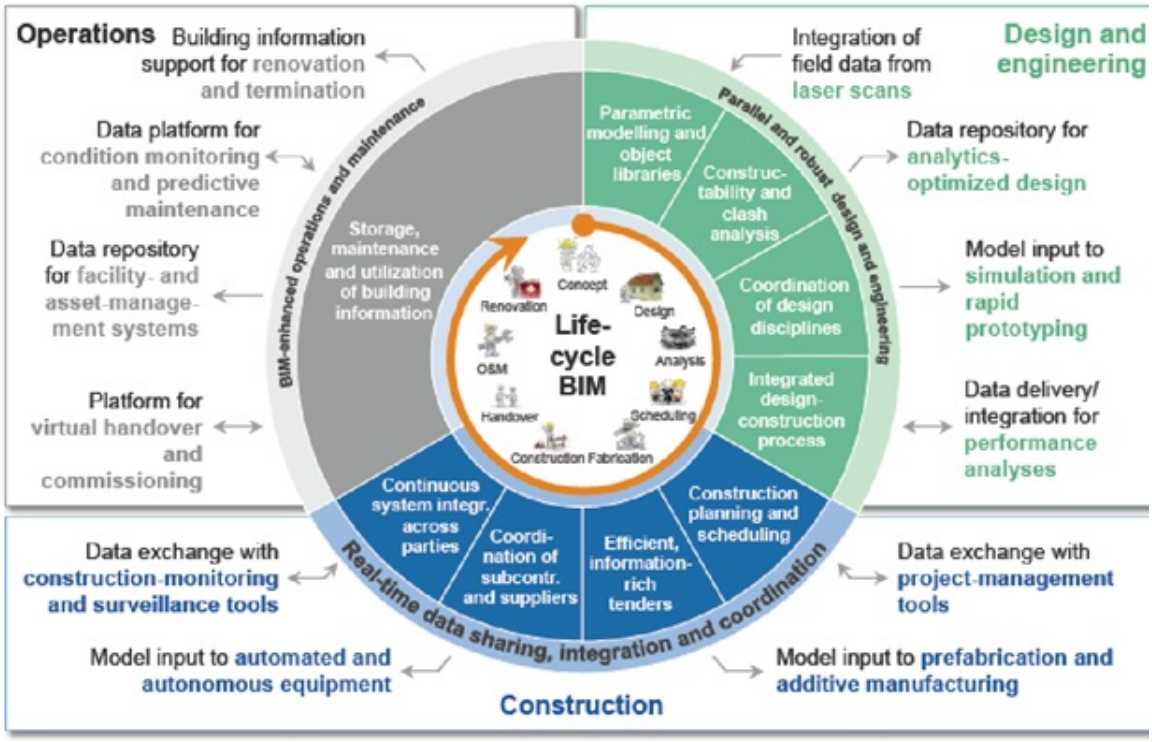

Рис. 29. Жизненный цикл задний и сооружений вокруг технологий и информации BIM базирующийся на создании цепочек добавленной стоимости ([2]).

VIII Выводы

Проекты цифровой железной дороги стали ключевыми для очень большого числа стран и международных объединений. Многие из них уже реализуются в первоочередном порядке. Уже даже их частичная реализация приводит к огромным сдвигам в логистике, промышленности и жизненных укладов регионов и городов. Поэтому развитие проектов стандартизации и нормирования BIM Rail - IFC Rail и RailTopoModel-railML и их интеграция осуществляется ведущими железнодорожными странами Европы и Азии, в сотрудничестве со многими международными объединениями. Конечно, изучение, участие и практическое применение этого для России, которая, как раз в силу географических условий, находится между этими центрами развития, необычайно важно для нашей собственной экономики. Это касается и участия в проекте «Шелковый путь», международной торговле и разделении труда.

Во всех странах участниках проектов BIM Rail - IFC Rail и RailTopoModel-railML произошло привлечение к ним не только отраслевых специалистов, но и фундаментальной национальной науки. Базовые языки в описаниях структур и бизнес процессов - это искусственные формализованные языки, базирующиеся на фундаментальных научных знаниях из многих областей, и интеграция их результатов между собой - это отдельная и очень сложная задача, требующая еще большей квалификации.

Другие отрасли промышленности показали, что первые движущие силы могут создать устойчивое конкурентное преимущество за счет цифровых технологий. В строительном секторе это, вероятно, также имеет место. В течение следующего десятилетия победители этого будут играть ведущую роль в технологических инновациях цифрового строительства.

Строительство является «горизонтальной» отраслью (например, как финансовая индустрия услуг), обслуживающая все отраслевые вертикали; в других секторах. Строительство имеет значительное взаимодействие с множеством других секторов, поскольку создание активов этих секторов почти всегда происходит с помощью зданий или других построенных активов. Упомянем несколько фактов. Жилищное строительство - это около 38% мирового объема строительства; транспорт, энергетика и водная инфраструктура - это 32%; институциональные и коммерческие здания - это 18%; промышленные объекты (от производства цемента до автомобильного производства) - около 13% [2]. Строительная отрасль является крупнейшим глобальным потребителем ресурсов и сырья. Так, она потребляет около 50% мирового производства стали каждый год [2]. Поэтому, очень много сказанного в этой статье относится далеко не только к строительству. Особо необходимо сказать о том, что в большом выигрыше при реализации, например, проектов цифровой железной дороги оказывается промышленность, за счет четкого понимания требований и фактическом участии в процессах, приводящих к плановым долгосрочным контрактам. Преимущества для промышленности и железных дорог при цифровых трансформациях показаны на рисунке 30.

Компании, которые хотят успешно реализовать эти подходы, должны будут кардинально изменить свои внутренние процессы планирования, проектирования, закупок и строительства. Они также должны будут

инвестировать в автоматизацию и эффективную основу цепи поставок, чтобы обеспечить бесперебойную и своевременную транспортировку материалов с завода на площадку для использования. Наконец, компании, которые решают вертикально интегрировать свои цепочки поставок, должны будут планировать инвестиции, связанные с производством и самое главное, они не смогут внедрять все эти инновации, не пройдя эпоху внедрения BIM.

Учитывая плохую репутацию строительной индустрии в области инноваций и внедрения новых технологий, инструментов и подходов, владельцам проектов и подрядчикам необходимо принять новое мышление. Владельцы часто считают, что их ответственность заканчивается, когда они заключают контракты, забывая, что они платят экономические издержки за задержку. Со своей стороны, подрядчики часто делают только минимальные необходимые составляющие для выполнения условий договора, оставляя за собой значительную стоимость. Чтобы отрасль добилась лучших результатов, ей необходимо придерживаться четырех принципов:

Транспарентность и распределение рисков в контрактах. Привычки трудно изменить, и одна из привычек - видеть контракты как возможность состязаться с рисками. Вместо этого контракты должны рассматриваться как инструменты, которые позволяют справедливо делиться рисками и вознаграждениями и помогают обеим сторонам добиться успеха. Это произойдет, если контракты будут четко обозначать обязанности и позволят владельцам и подрядчикам справедливо распределять выгоды, возникающие в результате внедрения технологических и технологических инноваций.

Ориентация на возврат инвестиций. Измерение и передача информации о том, как новая технология улучшит строительство, например, благодаря положительному влиянию на стоимость, график и оптимизацию рисков - это самый верный способ создать убедительный пример для сотрудничества.

Простота и интуитивность в разработке новых решений. Внимание к полю, пользовательские интерфейсы в цифровом строительстве должны быть «дружественными для прораба», чтобы стимулировать использование. Для офиса строительства необходимо построение совместимости с существующими корпоративными решениями, которое уменьшает необходимость тратить больше средств на модернизацию существующих платформ.

Управление изменениями. Чтобы отказаться от бизнеса, как обычно, строительным организациям нужна ясная история изменений. Высшее руководство должно сообщить, почему эти изменения важны, и что это означает для организационной структуры, возможностей и ресурсов. Организации, которые не инвестируют в управление изменениями, столкнутся с тем же сопротивлением, которое возникло во время предыдущих волн развертывания технологий, и с большей вероятностью потерпят неудачу.

Все основные заинтересованные стороны несут ответственность за переход к цифровым технологиям и инновациям. Императивы для каждого различны.

Владельцам проектов, заказчикам и исполнителям необходимо поручать и оценивать результаты новых технологий. Это начинается с обязательного внедрения цифровых технологий в контракты и, возможно, капитализации затрат на цифровые технологии при настройке бюджетов проектов. Чтобы управлять рисками, владельцы и заказчики проектов должны со-инвестировать в пилоты технологии с подрядчиками и разделять вознаграждение пропорционально.

Крайне важно, чтобы подрядчики по инженерным и строительным вопросам пересматривали и перестраивали свои технологии. Для этого им необходимо разработать цифровые дорожные карты, которые идентифицируют очевидные движения, а также более рискованные и длительные перспективы. Необходимо перераспределить организационные ресурсы, назначив главного специалиста по технологиям или главного сотрудника по инновациям, чей мандат - смело думать о цифровой повестке дня и руководить упрощением и цифровыми технологиями внутренних процессов. Компании также должны рассмотреть возможность приобретения или партнерства с технологическими фирмами. Конечно, важно обеспечить, чтобы проектные команды имели бюджеты и полномочия, необходимые им для экспериментального внедрения новых технологий. И очень важно создавать возможности менеджеров проектов, чтобы они стали цифровыми специалистами.

Все предпосылки для того, чтобы делать это в России есть. Дело осталось за малым - нужна твердая воля правительства это делать. Можно сказать, что созданием отдельной организации для реализации проекта ВСМ Москва-Казань этот процесс уже начался для одной из двух составляющих цифровой железной дороги. Необходимо этот процесс начать и для дорог высокой пропускной способности. Логичнее всего начать с создания железнодорожных коридоров для «шелкового пути» по той же схеме, как и для ВСМ Москва-Казань.

Конечно, в цифровом строительстве и инженерии требуется участие как специалистов фундаментальных наук, так и прикладных. Такое сотрудничество – это не такое простое дело [15], но приносит огромные выгоды всем сторонам, и мы думаем, что также будет и в России. Не все так плохо в нашей стране, просто, может быть, необходимо сделать так, чтобы было понятно, что в ней есть все для создания собственной цифровой экономики.

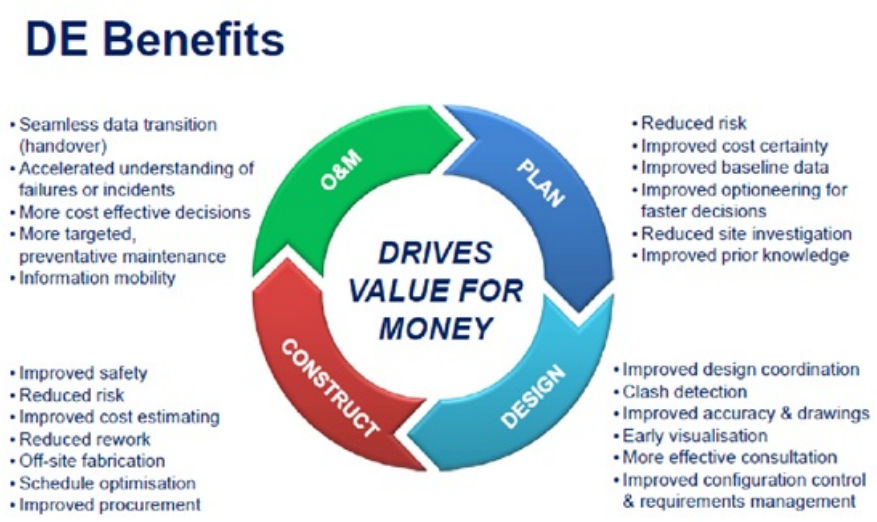

Рис. 30. Преимущества для промышленности и железных дорог цифровых трансформаций (источник — компания AECOM)

В завершении этой статьи необходимо отметить, что развитие взрывных технологий и их изучение для применения на железных дорогах мира интенсивно продолжается и они приведены на рисунке 29, но их внедрение уже будет базироваться на фундаменте BIM Rail - IFC Rail и RailTopoModel-railML, который должен быть сделан для их успешности в России.

Рис. 31. Взрывные технологии следующего этапа для железных дорог (источник — компания AECOM).

Рис. 32. Локализация международных стандартов маркировки в странах входящих в ЕАЭС (источник — Фонд Развития Промышленности)

БИБЛИОГРАФИЯ

[1] Constructions Digital future http://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future. Retrieved: May, 2017

[2] Shaping the Future of Construction. Inspiring innovators redefine the industry Prepared in collaboration with The Boston Consulting Group WEF Feb 2017

[3] High Speed Rail. Brotherhood of Locomotive Engineers and Trainmen 2016.

[4] Куприяновский В. П. и др. Экономика инноваций цифровой железной дороги. Опыт Великобритании //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 3.-С.79-99.

[5] Куприяновский В. П. и др. Новая парадигма цифровой железной дороги-стандартизация жизненного цикла активов //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 2.-С.64-84.

[6] 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.

[7] Kupriyanovsky V. et al. On Internet of Digital Railway //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 12. – С. 53-68.

[8] Kupriyanovsky V. et al. The digital transformation of the economy, the railways, and smart cities. Plans and experience in the UK //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С. 22-31.

[9] 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.

[10] 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.

[11] Nikolaev D. et al. Digital Railroad-an innovative standards and their role on the example of the UK //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С. 55-61.

[12] Kupriyanovsky V. et al. Digital Railroad–forecasts, innovations, and projects //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 9. – С. 34-43.

[13] 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.

[14] IRS 30100:2016. МЕЖДУНАРОДНОЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ РЕШЕНИЕ. RailTopoModel – топологическая модель железнодорожной инфраструктуры. 1 издание, Международный союз железных дорог 2016.

[15] Куприяновский В. П. и др. Information technology in the university system, science and innovation of the digital economy on the example of the UK //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 4. – С. 30-39.

[16] Указ Президента Российской Федерации «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации « от 1 декабря 2016 года № 642

[17] Куприяновский В. П. и др. Оптимизация использования ресурсов в цифровой экономике //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 12.-С.86-96.

[18] Kupriyanovsky V. et al. The economic benefits of the combined use of BIM-GIS models in the construction industry. Review of the state of the world //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 5. – С. 14-25.

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

[20] Куприяновский В. П., Синягов С. А., Добрынин А. П. BIM-Цифровая экономика. Как достигли успеха? Практический подход к теоретической концепции. Часть 2. Цифровая экономика //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 3. - С. 9-20.

[21] Куприяновский В. П. и др. Целостная модель трансформации в цифровой экономике-как стать цифровыми лидерами

//International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 1.-С.26-33.
[22] Куприяновский В. П. и др. Пропускная способность и экономика цифровой железной дороги при трансформации сигнализации и управления поездами //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 3.- С.117-132.
[23] Standard BS 1192:2007+A2:2016. Collaborative production of architectural, engineering and construction information – Code of practice.
[24] Standard BSI SPEC Rail. Railway BIM Data Standard. Version: 1.0, 2015
[25] Standard IRS 30100. RailTopoModel – Railway infrastructure topological model. Version: September, 2016
[26] Standard NBI MS-USTM V3. National BIM Standard - United States® Version 3
[27] Standard PAS 1192-2:2013. Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling.
[28] Standard PAS 1192-3:2014. Specification for information management for the operational phase of assets using building information modelling.
[29] BALL, Matt: On the Fast Track: High Speed 2 Uses BIM to Connect Cities Across the UK. https://redshift.autodesk.com/high-speed-2-bim-connect-ukcities Version: 05.03.2015, Cited: 02.12.2016
[30] BIM TASK GROUP: About Us. http://www.bimtaskgroup.org/about Cited: 24.11.2016
[31] BIM INDUSTRY WORKING GROUP: A report for the Government Construction Client Group - Building Information Modelling (BIM) Working Party Strategy Paper. Version: March 2011
[32] BORMANN, Andre ; LIEBICI, Thomas: IFC Infra Overall Architecture – Project Plan. BuildingSMART, 29.01.11
[33] BUILDINGSMART E.V.: Informationen der Expertengruppe IFC-Rail/IFC-Road. http://www.buildingsmart.de/kos/WNetz?art=News.show&id=522 Published: 26.10.2016
[34] BUILDINGSMART E.V.: buildingSMART - International. http://www.buildingsmart.de/buildingsmart-ev/bs-international Cited: 07.12.2016
[35] BUILDINGSMART INTERNATIONAL LTD.: buildingSMART website. http://buildingsmart.org Status: 29.12.2016
[36] BUILDINGSMART INTERNATIONAL LTD.: Ongoing projects. http://www.buildingsmart-tech.org/infrastructure/projects Status: 11.12.2016
[37] BUILDINGSMART INTERNATIONAL LTD.: Open Standards – the basics. http://buildingsmart.org/standards/technical-vision/openstandards-101 Status: 10.12.2016
[38] BUILDINGSMART INTERNATIONAL LTD.: Specifications. http://www.buildingsmart-tech.org/specifications Status: 10.12.2016
[39] BSI: British Standards and Publicly Available Specifications (PAS) from. http://bimlevel2.org/en/standards Cited: 02.16.16
[40] CABINET OFFICE: Government Construction Strategy. Version: May 2016
[41] CALVERT, Neil: 10 Points and the Benefits of BIM. http://blog.synchroltd.com/10-points-and-the-benefits-of-bim Published: 12.12.2013
[42] DODGE DATA & ANALYTICS: The Business Value of BIM in China. Dodge Data & Analytics, 2015
[43] DOUGLAS, Young: Towards the Open Asset Information Model: Changing the paradigm. https://www.railml.org/en/event-reader/id-7th-uicrailtopomodel-conference.html Presentation during 7th UIC RailTopoModel Conference in Paris on 03.11.2016
[44] EASTMAN, Chuck; TEICLOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen: BIM Handbook: A Guide to Building Information Modelling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. John Wiley & Sons, Inc., 2008
[45] FEDERAL MINISTRY OF TRANSPORT AND DIGITAL INFRASTRUCTURE: Road Map for Digital Design and Construction - Introduction of modern, IT-based processes and technologies for the design, construction and operation of assets in the built environment. Version: December 2015
[46] Comparative Analysis of Building Information Modelling (BIM) and RailTopo- Model/railML in View of their Application to Operationally Relevant Railway Infrastructure. Technical University of Dresden «Friedrich List» Faculty of Transport and Traffic Sciences Institute of Traffic Telematics Chair of Traffic Control and Process Automatization.2017
[47] Pietari Pellinen Developing design process management in BIM based project involving infrastructure and construction engineering Thesis 4/2016 Finnish Transport Agency Helsinki 2016
[48] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. Applying Materials State Awareness to Condition-Based Maintenance and System Life Cycle Management: Summary of a Workshop. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/21821.
[49] Laser Radar Progress and Opportunities in Active Electro-Optical Sensing National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2014
[50] Uses of Mobile Information Technology Devices in the Field for Design, Construction, and Asset Management. A Synthesis of Highway Practice. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016
[51] Neuman, T.R., R.C. Coakley, S. Panguluri, and D.W. Harwood. 2016. A Performance-Based Highway Geometric Design Process. Pre-publication draft of NCHRP Research Report 839. Transportation Research Board, Washington, D.C.
[52] AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM. ACRP SYNTHESIS 70. Research Sponsored by the Federal Aviation Administration Subscriber Categories Aviation • Construction Building Information Modeling for Airports. A Synthesis of Airport Practice. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016
[53] National Transport Plan 2014–2023.Meld. St. 26 (2012 – 2013) Report to the Storting (White Paper) Summary English version
[54] The Follo Line Project Longest. Urban. Complex. Faster.Norwegian National Rail Administration 2015
[55] Замолодчиков 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. – Т. 5. – №. 3.- С.100-116.
[56] High Speed Rail (London-West Midlands) Environmental Minimum Requirements Annex 1: Code of Construction Practice .High Speed Two (HS2) Limited, 2017
[57] High Speed Rail (London-West Midlands) Environmental Minimum Requirements Annex 4: Environmental Memorandum.High Speed Two (HS2) Limited, 2017
[58] High Speed Rail (London-West Midlands) Environmental Minimum Requirements General Principles. High Speed Two (HS2) Limited, 2017
[59] High Speed Rail (London-West Midlands) Environmental Minimum Requirements Annex 3: Heritage Memorandum.High Speed Two (HS2) Limited, 2017
[60] High Speed Rail (London-West Midlands) Environmental Minimum Requirements Annex 2: Planning Memorandum.High Speed Two (HS2) Limited, 2017
[61] HS2 Design Vision April 2017.High Speed Two (HS2) Limited, 2017
[62] Куприяновский В. П. и др. Цифровая экономика = модели данных + большие данные + архитектура + приложения? //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 5. – С.1-13.
[63] Добрынин А. П. и др. 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. – Т. 4. – №. 1. – С.4-11.
[64] Real-Time Smoothness Measurements on Portland Cement Concrete Pavements During Construction. Robert O. Rasmussen, Helga N. Torres, and Richard C. Sohaney The Transtec Group, Inc. Steven M. Karamihas University of Michigan Gary Fick Trinity Construction Management Services, Inc. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2013
[65] NextGen for Airports, Volume 4: Leveraging NextGen Spatial Data to Benefit Airports: Guidebook.National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016
[66] Standard IFC 4. Industry Foundation Classes IFC4 Official Release. Version: 2013

[67] А. Ю. Быков Право цифровой экономики – некоторые народнохозяйственные и политические риски. На пути к гражданскому обществу. Научный журнал ISSN 2223-1790 №1(25) стр 5-15, 2017
[68] Future of Air Travel. ARUP 2016
[69] AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM. ACRP REPORT 144. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD WASHINGTON,D.C.2015 http://www.TRB.org Vehicles and Equipment Unmanned Aircraft Systems (UAS) at Airports: A Primer Kenneth Neubauer, David Fleet Futron Aviation Corporation Norfolk, VA Filippo Grosoli,Merlin Global Services,Solana Beach, CA Harry Verstynen Whirlwind Engineering Poquoson, VA National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2015
[70] AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM ACRP REPORT 160 TRANSPORTATION RESEARCH BOARD WASHINGTON, D.C. 2016 http://www.TRB.org Environment Addressing Significant Weather Impacts on Airports: Quick Start Guide and Toolkit ICF International Fairfax, VA in association with Burrst, Inc. Seattle, WA KRAMER aerotek, inc. Boulder, CO a n d Steven Barrett Cambridge, MA National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016
[71] Building Information Modeling for Airports AIRPORT COOPERATIVE RESEARCH PROGRAM ACRP SYNTHESIS 70 A Synthesis of Airport Practice Sponsored by the Federal Aviation Administration. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016
[72] Rail Revolution: gatwickobviously.com // @LGWobviously on track to transform Europe's best connected airport station
[73] Куприяновский В. П. и др. Интернет Вещей на промышленных предприятиях //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 12. – С. 69-78
[74] Enterprise Labeling For Dummies®, Loftware Special Edition Copyright © 2016 by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
[75] Building Information Modeling For Dummies.2016 John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, West Sussex.

Building and Engineering Based on BIM Standards as the Basis for Transforming Infrastructures in the Digital Economy

Sergey Sinyagov, Vasily Kupriyanovsky, Petr Kurenkov, Dmitry Namiot, Alexey Stepanenko, Petr Bubnov, Vladimir Raspopov, Sergey Seleznev, Julia Kupriyanovsky

Abstract – This article examines the transformation of infrastructures in the digital economy. The paper includes examples for construction and digital railways. The digital railway projects have become a key for a very large number of countries and international associations. Many of them are already implemented as a matter of priority. Even their partial implementations lead to the huge shifts in logistics, industry, and life styles of regions and cities. Construction is a "horizontal" industry, which has significant interaction with many other sectors. The paper examines the defining role of BIM (Building Information Modeling). Initially, BIM models, which described the entire life cycle of a construction project, were applied only in the construction industry. Currently, the application of BIM is on the rise in many other areas and, especially, in the projects related to infrastructures.

Keywords – BIM, Digital Economy, Digital Railways, Internet of Things