

Информационное моделирование (ВІМ), метрополитены, городская железная дорога и станции в транспортной и урбанистической среде в идеологии транзитной ориентации развития городов

В.П. Куприяновский, О.Н. Покусаев, В.В. Талапов, А.В. Семочкин

Аннотация— В этой статье мы продолжаем серию исследований, посвященных применению (использованию) систем информационного моделирования (ВІМ). В работе речь идет об использовании ВІМ при проектировании линий метро. Хорошо интегрированный транзит и развитие территорий создают городские формы и пространства, которые снижают потребность в передвижении на личных автомобилях. Районы с хорошим доступом к общественному транспорту и хорошо спроектированными городскими пространствами, доступными для пешеходов и велосипедистов, становятся очень привлекательными местами для жизни, работы, учебы, игр и общения людей. Такая среда повышает экономическую конкурентоспособность города, снижает локальное загрязнение и глобальные выбросы парниковых газов, а также способствует инклюзивному развитию. В этом развитии выделяются городские железные дороги и метрополитены, создающие базовую инфраструктуру транзитной ориентации развития городов TOD. На ряде примеров рассматривается использование ВІМ при таком проектировании в России и мире. Рассматривается различие между так называемым «маленьким» ВІМ, означающим только частичное использование подхода отдельными пользователями и «большим» ВІМ, который относится к непрерывному использованию ВІМ во всех дисциплинах и на протяжении всего срока службы сооружения.

Ключевые слова—ВІМ, метро, Умный город.

I. ВВЕДЕНИЕ

В 21 веке у пассажирского железнодорожного транспорта, история которого насчитывает почти 200 лет, начался новый этап быстрого роста, связанный как с его востребованностью, так и возможностями, открывшимися с внедрением инновационных технологий и подходов. Востребованность железнодорожного транспорта определена ростом городов (половина населения земли уже живет в них),

ростом мобильности людей, отличными экономическими характеристиками из расчета затрат на одного пассажира и хорошими экологическими показателями электрифицированных линий. Быстрое развитие железных дорог дополняется возможностями гибкой интеграции со всеми видами транспорта для пассажиров, что открывает путь к мультимодальным и синхромодальным системам, а также широкому применению цифровых технологий в развитии, собственно, вокзалов и станций в городах, проходящих сегодня в идеологии транзитной ориентации развития городов (TOD).

Хорошо интегрированный транзит и развитие территорий создают городские формы и пространства, которые снижают потребность в передвижении на личных моторизованных транспортных средствах. Районы с хорошим доступом к общественному транспорту и хорошо спроектированными городскими пространствами, доступными для пешеходов и велосипедистов, становятся очень привлекательными местами для жизни, работы, учебы, игр и общения людей. Такая среда повышает экономическую конкурентоспособность города, снижает локальное загрязнение и глобальные выбросы парниковых газов, а также способствует инклюзивному развитию.

В этом развитии выделяются городские железные дороги и метрополитены, создающие базовую инфраструктуру TOD. Эту инфраструктуру необходимо построить в сложившейся и плотной городской среде, в которой пространство развития ограничено либо возможностями существующих железнодорожных линий либо подземным пространством. Для того, чтобы освоить последнее сегодня активно привлекаются технологии информационного моделирования или ВІМ, в развитии которых в этом секторе железных дорог метрополитенов сегодня лидирует Китай.

Как будущее направление цифровизации, информатизации и интеллектуального развития строительной индустрии, технологию ВІМ называют второй промышленной революцией строительной индустрии [13]. С наступлением пика строительства метро в Китае технология ВІМ была продвинута и

Статья получена 22 января 2021.

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

О.Н.Покусаев - РУТ (МИИТ); bSI (email: o.pokusaev@rut.digital)

В.В.Талапов - независимый исследователь (e-mail: TalapovVV@center.rzd.ru)

А.В.Семочкин - РУТ (МИИТ) (email: a.semochkin@rut.digital)

применена в области метро. Принимая во внимание текущий статус технологии BIM, применяемой на стадии проектирования метро, в этой статье представлено применение технологии BIM в сочетании с историей развития зарубежных стран и статусом инженерной практики. Чтобы подтвердить сказанное сошлемся на исследование [14], посвященному патентному ландшафту умных городов. Так, на рисунке 1 приведена динамика патентования по техническим сегментам. В этой динамике BIM занимает вполне почетное место. На рисунке 2 показан рейтинг патентообладателей по техническим сегментам, и из него в части BIM видно, что этой части превосходящие всех остальных позиции занимают именно китайские железнодорожные компании.

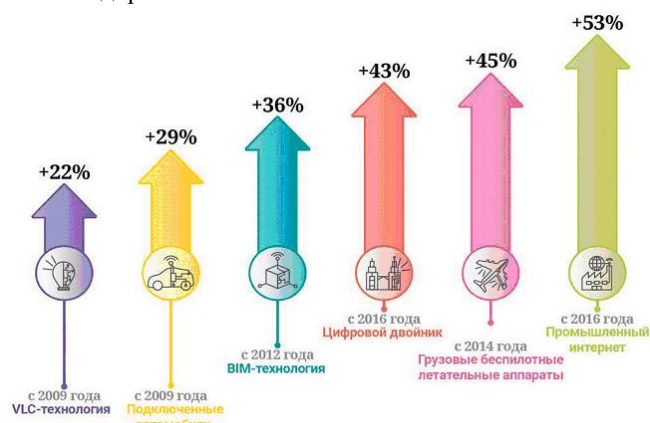


Рис. 1. Динамика патентования по техническим сегментам [14]

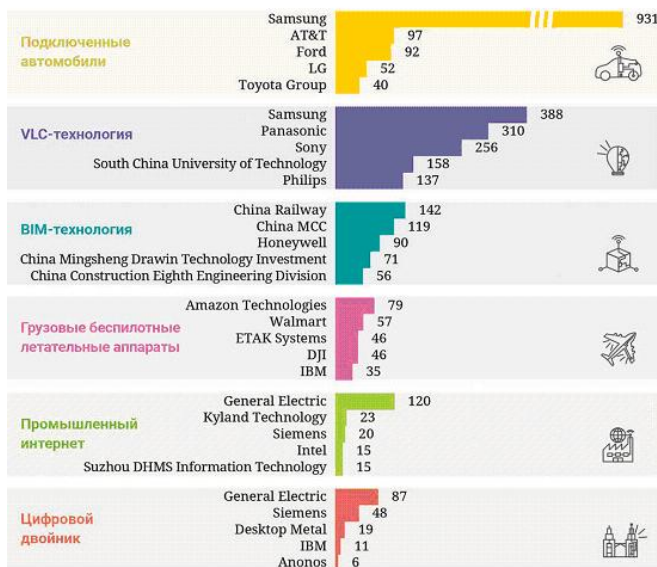


Рис. 2. Рейтинг патентообладателей по техническим сегментам [14]

Исходя из сказанного выше, трудно не согласиться с работой [15], что «В постоянно меняющуюся, прогрессивную эпоху в мире, как и во всех отраслях, строительная промышленность развивается параллельно мировым потребностям и тенденциям. BIM или информационное моделирование зданий - это последний шаг эволюции. Несмотря на то, что BIM существует

более десяти лет, он по-прежнему считается новорожденным. Потому что он развивается каждый день, и довольно сложно предсказать границы того, где он закончится».

Для нашего сравнительного анализа мы выбрали Китай, Саудовскую Аравию, Францию и Россию, но надеемся, что его выводы справедливы и для других стран.

II. СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА, ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ СТАНЦИИ И ВОКЗАЛЫ, КАК ЦЕНТРЫ ИНТЕГРАЦИИ ТРАНЗИТНОЙ ОРИЕНТАЦИИ РАЗВИТИЯ ГОРОДОВ (TOD) И ВКЛАДА В УЛУЧШЕНИЯ ЖИЗНИ ЛЮДЕЙ.

В центре транзитно-ориентированного развития располагается железнодорожная станция, станция метрополитена, остановки трамвая, троллейбуса и автобуса. Центр TOD окружен относительно плотной застройкой, по мере удаления от центра плотность застройки уменьшается. Транзитно-ориентированная застройка располагается на расстоянии в пределах от 400 до 800 метров от транзитных станций и остановок, то есть в зоне пешеходной доступности. Сегодня это расстояние может быть существенно увеличено за счет велосипедного транспорта и микромобильности. Многие европейские и азиатский города, созданные после Второй мировой войны, имеют характеристики транзитно-ориентированного развития.

Транзитно-ориентированное проектирование [1] акцентирует внимание на создании более комфортных условий для пешеходов. Этому способствует оборудование удобных пешеходных переходов, организация зауженной проезжей части, уменьшение этажности зданий по мере их удаленности от транспортных узлов. Еще одно отличие транзитно-ориентированного проектирования от проектирования ориентированного на транспортные пути - сокращение количества парковок для личного автотранспорта. Принципы TOD и реализации сегодня уже расширяются на велосипедные и микромобильные инфраструктуры.

Стандарт TOD [2] декларирует и означает право всех людей на доступ к городу: безопасно ходить и ездить на велосипеде, легко и по доступной цене добраться до самых отдаленных мест назначения посредством быстрого и частого транзита, а также жить хорошей жизнью, не зависящей от автомобилей. Это также означает равные возможности, доступ к образованию и услугам, и выступает за то, чтобы последние два были достижимы с помощью мобильных или недорогих вариантов мобильности.

Стандарт TOD [2] служит нескольким целям. Он служит кратким описанием политики для правительств и лиц, принимающих решения, для разработки планов, политики, законодательства и инвестиционных приоритетов, которые способствуют обеспечению доступа для всех в качестве основного общего блага. Это также уникальный инструмент оценки, который позволяет оценивать планы и продукты городского развития в соответствии с их принципами TOD и целями

реализации. Кроме того, она включает систему распознавания, которая присуждает бронзовый, серебряный и золотой статус созданным проектам развития, которые соответствуют целям TOD и воплощают принципы, которые поддерживает TOD.

Стандарт TOD служит ресурсом для участников, вовлеченных или затронутых процессами городского развития. Это включает в себя законодателей, регуляторов и политиков; правительственные учреждения и технический персонал; разработчиков и инвесторов; гражданских лидеров; профессиональных планировщиков; и представителей общественности.

III. ИНТЕГРАЦИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО И ЧАСТНОГО ТРАНСПОРТА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ НА БАЗЕ СТАНДАРТОВ TOD

Так как именно станции метро, железнодорожные станции и вокзалы в широком понимании как вида рельсового транспорта стали естественными узлами TOD, то дальше мы будем использовать этот термин железнодорожных станций расширительно. Чтобы проиллюстрировать тезис о центральности железнодорожных станций в схеме TOD, сошлемся на происходящее в Японии. В Японии сегодня находятся 82 из 100 самых загруженных железнодорожных станций в мире, и самой загруженной из них является станция Sinjuku, через которую проходит 1,26 млрд. пассажиров в год. Для сравнения, по загруженности самая загруженная станция Великобритании Лондонская Waterloo имеет 99,2 млн. пассажиров в год (данные 2014-15 годов). Токио, как один из крупнейших городов мира, насчитывает более 36 млн. жителей, с плотностью населения почти в три раза большей, чем в Лондоне [3]. Понятно что в условиях подобных потоков крайне необходима транспортная интеграция и она будет разной и по регионам и по городам мира, сохраняя только общие принципы TOD.

В [4] определена транспортная интеграция, которая может быть и мультимодальной и синхромодальной, как «организационный процесс, посредством которого планирование и доставка элементов транспортной системы объединяются по видам, секторам, операторам и учреждениям с целью увеличения чистых социальных выгод». Из самого определения транспортная интеграция была определена как вмешательство, которое в конечном итоге приводит к общественной пользе. Это связано с тем, что пассажиры лучше связаны с пунктами назначения, что удовлетворяет их потребностям (например, место работы, рынок и т. д.). В свою очередь отвечает за улучшение удовлетворенности пассажиров. Например, если пассажир совершает поездку с разными расписаниями и пересадками, но без надлежащей координации информации с пассажирами, он часто чувствует себя неудовлетворенным. Кроме того, в докладе Всемирного банка [5] говорится, что объединение расписаний, тарифов и остановок между пригородной железной дорогой, метро и автобусами не только сделает их более удобными для пассажиров, но и

улучшит операционные доходы этих компаний и видов общественного транспорта. В [5] также предположили, что бесперебойный и интегрированный общественный транспорт «особенно важен в городских условиях с быстро растущей экономикой, таких как [Народная Республика] Китай и Индия», так что общественный транспорт конкурирует с использованием личного автотранспорта. Азиатские города наделены некоторым преимуществом, способствующим развитию общественного транспорта. В [6] указано, что для городов с высокой плотностью городов есть неотъемлемое преимущество, где они указывают, что с ростом плотности городов потребление энергии, связанное с транспортом, уменьшается. Это происходит потому, что более компактный город приведет к меньшему количеству пройденного километра транспортного средства (VKT) по сравнению с разложенной в пространстве городской конфигурацией. Как это выглядит по городам можно увидеть на рисунке 1, где зеленые точки представляют азиатские города, все из которых ниже уровня потребления в 10 гигаджоулей на душу населения в год в части транспорта. Наложив городскую плотность Москвы на рис. 3, мы также видим, что возможно и некоторые российские города также попадают под этот низкий уровень потребления энергии на транспорте. Кроме того, в работе [7], посвященной TOD, также продемонстрировали, что такие города с высокой плотностью, как Сеул, могут улучшить свои показатели общественного транспорта, применяя стратегии интеграции общественного транспорта. Таким образом, у таких городов есть возможность повысить уровень общественного транспорта с помощью правильного набора стратегий как транспорта так TOD и их сочетаний.

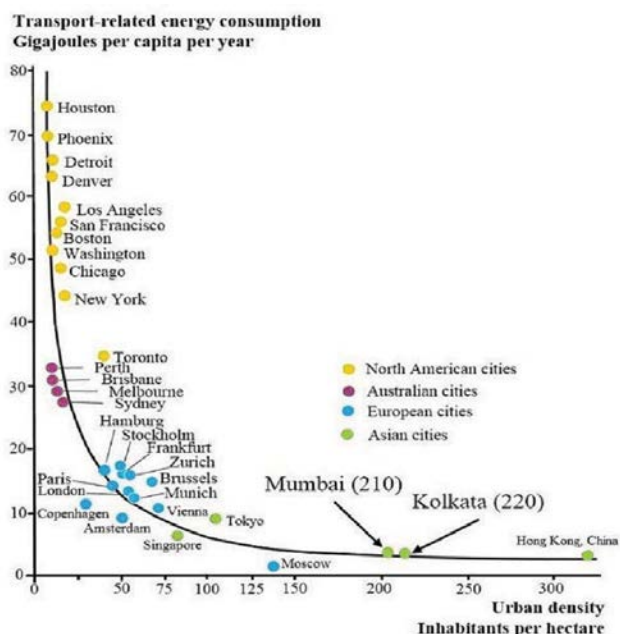


Рис. 3 Взаимосвязь между городской плотностью и энергопотреблением, связанным с транспортом, по [6] с наложением на городскую плотность городами. Желтым цветом помечены города США, фиолетовым Австралии, синим Европы, зеленым Азии [6].

Строительство более широких дорог для размещения этого дополнительного автомобильного трафика больше не может быть общим решением, так как дополнительная емкость не только стимулирует дальнейшее движение, но в то же время земля является ограниченным ресурсом в загруженных городских районах. Единственное решение, способное преодолеть эту тенденцию, - это сократить количество в первую очередь автомобильных транспортных средств на дороге, перемещая людей, а не транспортные средства, и побуждая большее количество людей использовать системы общественного и нового личного и общественного транспорта такова как микромобильность.

Стандарты и принципы TOD, основанные во многом на личных возможностях людей, таких как передвижение пешком [8] и на велосипедах [9], приносит свои эффекты в городах [10]. Очень интересные и логичные соображения сегодня предлагает упоминавшаяся выше ITDP. Мы их описание решили привести, следуя [11], которое нам показалось наиболее логичным и цельным.

В самых густонаселенных городах мира большинство поездок совершаются уже пешком, на велосипеде и на транспорте. Например, во многих городах Индии сегодня менее 10% поездок на автомобиле [11]. Повышение приоритета режимов микромобильности дает путешественникам еще одну альтернативу частному транспортному средству, особенно если оно интегрировано с другими режимами транспорта и доступно для всех.

Микромобильность - это термин, который недавно вошел в обиход для урбанистов, планировщиков и даже в мире технологий. Тем не менее, нет единого мнения о том, что в действительности означает микромобильность. ITDP [11], в консультации с более широким сообществом по устойчивому транспорту, разработал определение микромобильности, которое описывает растущее семейство небольших, легких устройств, работающих на скоростях, обычно ниже 25 км / ч, и идеально подходящих для поездок до 10 км. Микромобильность может быть личной или общей; электрический или ручной. Однако устройства с максимальной скоростью выше 45 км / ч или с двигателями внутреннего сгорания не являются микромобильными. Например, мотоциклы и мотороллеры не включены в это определение. Поскольку новые устройства продолжают распространяться, это определение должно включать текущие и возможные будущие режимы. Города становятся более густонаселенными с продолжающимся прогнозируемым ростом. ООН прогнозирует, что к 2050 году более двух третей населения мира будет проживать в городах. Это означает, что все больше людей в городах будут нуждаться в доступе к гибким, надежным и доступным мобильным услугам для множества различных типов поездок. Мы уже знаем, что в городах не хватает места для перемещения и хранения частных автомобилей для всех этих новых жителей, и из-за заторов вождение становится менее конкурентоспособным по сравнению с другими видами

транспорта в часы пик. Не говоря уже о угрозах безопасности и качестве воздуха, которые создают автомобили для всех.

Поскольку микромобильность продолжает расти и развиваться, города должны будут поддерживать этот режим с прогрессивной повесткой дня и дальновидной политикой. Эта новая реальность, в которой мы находимся, создает возможность перевернуть нынешнее мышление о том, как люди передвигаются, и о том, как продолжать расставлять приоритеты в наших городах для личного транспорта, не является устойчивым путем вперед [11].

В последние годы путешествия на поезде стали играть все более важную роль в Европе. Политики и потребители ориентируются на поездки на поезде как средство сокращения выбросов углерода. В то время как в Центре выбора потребителей или Consumer Choice Center - [9] выступают за выбор и технологическую нейтральность, и хотя используют растущий интерес к поездкам на дальние расстояния как возможность показать, какие железнодорожные станции в Европе наиболее удобны для путешественников в том числе используя некоторую часть TOD, как международно признанных и логичных.

Ранее Consumer Choice Center занимался его родственным индексом - Европейским потребительским индексом аэропортов. В новом проекте по железнодорожным станциям Consumer Choice Center - рассмотрел 50 крупнейших железнодорожных станций Европы и оценил их с точки зрения опыта пассажиров, ранжировав их в соответствии со смесью факторов, начиная от того, насколько загружены платформы и какова доступность к числу пунктов назначения и чистота.

Это первое ежегодное издание европейского индекса железнодорожных станций, целью которого является ранжирование наиболее удобных для пассажиров железнодорожных станций в Европе. Центр выбора потребителей обратился к 50 крупнейшим железнодорожным станциям Европы и не только запросил соответствующие данные, но также проанализировал данные на веб-сайтах станций, в онлайн-статистике и провел собственное исследование для сбора всей необходимой информации.

Общий индекс обслуживания пассажиров (включает в себя вышеупомянутые показатели, но также добавляет доступность услуг по доставке на поезде, конкуренция железнодорожных компаний, местных ресторанов и магазинов, количество международных направлений, качество вывесок, среднее число дней забастовки, наличие первого класса комнат отдыха и удобство доступа к платформам).

Следуя [9], приведем общую оценку 10 лучших железнодорожных станций для удобства пассажиров в Европе как в виде таблицы 1.

Московский Казанский вокзал - является единственной восточноевропейской железнодорожной станцией, которая входит в число лучших. Этот результат московского Казанского вокзала, которым явно можно гордиться, так как, например, в 2017 году,

согласно международному рейтингу глобальной конкурентоспособности, качество железнодорожной инфраструктуры России находилось на 23 месте в мире, а в целом по транспортной инфраструктуре — на 74-м месте [12], и этот результат означает, что в Москве и в России есть положительные примеры, позволяющие развивать TOD.

ТАБЛИЦА 1. Рейтинг железнодорожных станций Европы 2020 года (Railway Station Index)

RANK	RAILWAY STATION	CITY	TOTAL SCORE
1	St. Pancras International	London	116
2	Zürich Central Station	Zurich	111
3	Leipzig Central Station	Leipzig	110
4	Roma Termini	Rome	108
5	München Central Station	Munich	103
6	Hamburg Central Station	Hamburg	99
6	Berlin Central Station	Berlin	99
8	Milano Centrale	Milan	96
9	Moscow Kazansky	Moscow	94
9	Frankfurt Central Station	Frankfurt	94

Согласно информации сайта (<https://consumerchoicecenter.org/about-us/>) Consumer Choice Center – или CCC, это группа защиты интересов потребителей, которая поддерживает свободу образа жизни, инновации, конфиденциальность, науку и выбор потребителей. Основными направлениями политики, на которые ориентируется CCC, являются цифровая связь, мобильность, образ жизни и потребительские товары, а также здравоохранение и наука.

Не менее положительно, чем оценку CCC, мы рассматриваем инициативу общественной организации Велосипедизация Санкт-Петербурга, которая переводит материалы PRESTO на русский язык. (<http://velosipedization.ru/presto/#.XnPqHXIzaM->).

Велосипедизация Санкт-Петербурга считает, что одна из причин, почему велосипедизация российских городов до сих пор буксует, это то, что на русском языке нет качественных и современных публикаций по велосипедной инфраструктуре.

Они безвозмездно предоставляют людям,

ответственным за развитие велоинфраструктуры — чиновникам и проектировщикам современные опробованные на практике руководства и знакомим с лучшими европейскими примерами, чтобы они могли воспользоваться уже готовыми решениями, а не изобретать в очередной раз велосипед.

PRESTO — европейская программа по развитию велосипедной инфраструктуры и продвижению велосипеда как полноценного транспортного средства. Подходы PRESTO проверены на пяти городах в разных европейских странах.

В рамках проекта разработан набор концепций и практических руководств. Основная часть этих материалов посвящена проектированию велосипедной инфраструктуры. Помимо инфраструктуры PRESTO охватывает планирование и проведение публичных кампаний.

IV. ГОРОДСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ И МЕТРОПОЛИТЕНЫ В МИРЕ

Города по всему миру стремятся разработать доступные, экологически безопасные и социально ответственные транспортные решения, которые могут удовлетворить потребности в доступности растущего населения мегаполисов и поддержать будущее экономическое и городское развитие. При надлежащем планировании и надлежащем внедрении в рамках более крупной сети общественного транспорта городские железнодорожные системы могут обеспечить быструю мобильность и жизненно важный доступ к центрам города из окружающих районов. Высокопроизводительные городские железнодорожные перевозки, если их внимательно рассматривать как проекты развития, могут способствовать повышению качества жизни, предоставляя гражданам доступ к возможностям трудоустройства, основным услугам, городским удобствам и соседним общинам. В итоге появился общий термин «городская железная дорога», призванный интегрировать эти понятия и представленный на уровне публикации в виде книги мирового банка [16].

Целью этого весьма объемного руководства (около 700 страниц) является обобщение и распространение знаний для информирования о планировании, реализации и эксплуатации городских железнодорожных проектов с целью [16]:

- Подчеркнуть необходимость ранних исследований и планирования проектов;
- Повышение устойчивости проектов (экономически, социально и экологически);
- Повышение социально-экономической отдачи и доступа к возможностям для пользователей;
- Максимизация ценности частного участия, где это уместно;
- и - Нарращивание потенциала в учреждениях, реализующих и управляющих проектами.

Из-за быстрой урбанизации и роста населения в

прошлом веке решения в области городских железных дорог были предпочтительны для общественных преобразований.

Эти решения для железнодорожных систем классифицируются по некоторым техническим характеристикам и пропускной способности как трамвай, легкорельсовый транспорт, метро, монорельс и фуникулер. Поскольку они классифицируются как комбинация различных свойств, эти свойства иногда перекрываются, и может быть сложно разделить железнодорожные системы. Системы метро, которые считаются транспортными системами с наивысшей пропускной способностью среди городских систем общественного транспорта, используются в качестве основной системы общественного транспорта во многих городах по всему миру. Это факт, что в прошлом веке городские железнодорожные системы остро нуждались в них

Системы метро были впервые построены в крупных

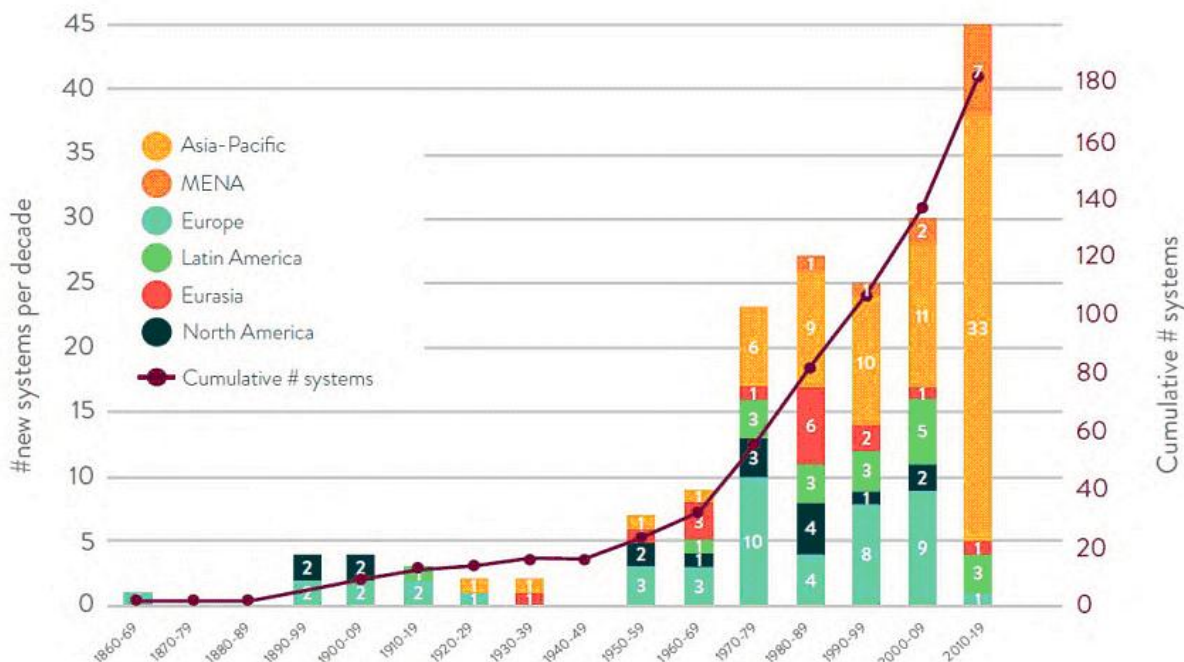


Рис. 4. Общее количество систем метро и расположение систем метро, открываемых каждое десятилетие [18], Международная ассоциация общественного транспорта, 2018 г.

С ростом урбанизации системы метро стали более важными для городского транспорта во всем мире. Поэтому развитые и развивающиеся страны значительно увеличили объем инвестиций в системы метро. С 2000 по 2017 год было открыто 75 новых линий метро, и в

европейских городах столетие назад и по сей день перевозят миллиарды людей. Эти системы открыли новые возможности для городов и реструктурировали их до сих пор. В 1863 году в Лондоне была открыта первая подземная городская железнодорожная система - Метрополитен-Рэйлэй. После этого в 1896 году было открыто Будапештское метро, вторая старейшая система метро в мире. Помимо Лондона и Будапешта, в 19 веке начали работать линии метро Глазго и Чикаго. В России первое метро было построено в Москве, и первая линия открылась 15 мая 1935 года.

Для того чтобы показать сегодняшнее состояние метрополитенов мы обратились к данным Международной ассоциации общественного транспорта (UITP) [18].

Общее количество систем метро и расположение систем метро, открываемых каждое десятилетие, весьма впечатляет своей динамикой, и эту динамику мы приводим на рисунке 4.

178 городах в 56 странах (рис. 5) к концу 2017 года метрополитены обслуживали в среднем 168 миллионов пассажиров в день (Международная ассоциация общественного транспорта, 2018 [18]). По этому метро Москвы занимает 2 место в мире (Рисунок 7), но так как оно имеет почти вдвое меньшую общую протяженность (рисунок 6) и, учитывая это, мы полагаем, что его расширение должно интенсивно продолжаться, применяя передовые методы строительства, такие как BIM.

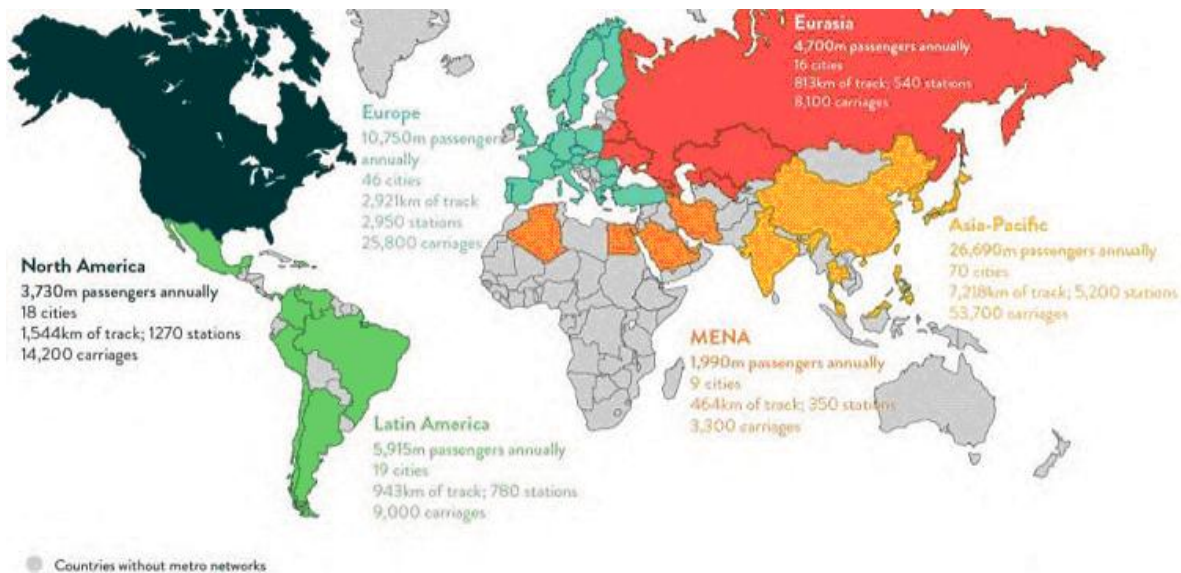


Рис. 5. Мировые сети метро в 2017 г. [18], Международная ассоциация общественного транспорта, 2018 г.

В начале 2018 г. большинство из 10 крупнейших городов с самыми длинными линиями метро были из Азии (рис. 6). Сообщается, что в середине 2018 года около 5400 км метро находятся в стадии строительства и испытаний, а 1700 км линии метро находятся на стадии проектирования и проведения тендера (Международная ассоциация общественного транспорта, 2018 [18]). Основная часть этого строительства происходит в Китае (сегодня строительный рынок № 1 в мире). Строительство метрополитенов объявлено в Китае национальной задачей, и пилотной зоной этого стало метро Шанхая, так как этот город имеет, по мнению господствующему в Китае, наибольший практический опыт строительства с использованием технологий BIM.

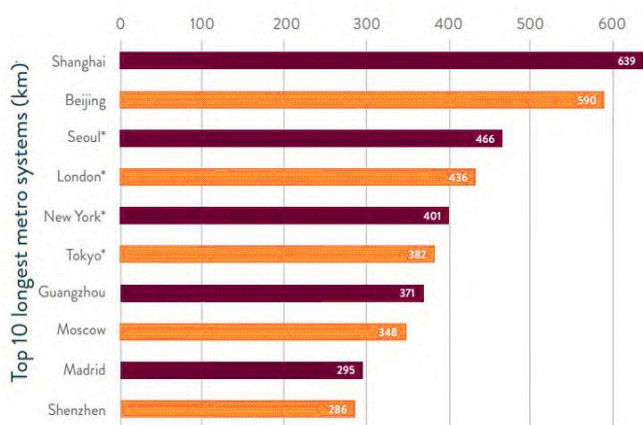


Рис. 6. Десять самых длинных систем метро в 2017 г. [18], Международная ассоциация общественного транспорта, 2018 г.

1	TOKYO	3,463
2	MOSCOW	2,369
3	SHANGHAI	2,044
4	BEIJING	1,988
5	SEOUL	1,885
6	NEW YORK CITY	1,806
7	NEW DELHI	1,789
8	GUANGZHOU	1,730
9	MEXICO CITY	1,678
10	HONG KONG	1,600

Рис. 7. Десять самых загруженных метрополитенов (годовое количество пассажиров в миллионах) [18], Международная ассоциация общественного транспорта, 2018 г.

УМНЫЙ ГОРОД И ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ В КИТАЕ

Города - это места социальных инноваций и двигателей экономического роста. Они привлекают динамичные группы общества, они предоставляют широкие возможности для взаимодействия, общения и обмена знаниями и, таким образом, закладывают основу для привлечения значительной доли инвестиций в НИОКР и инновационного сектора услуг. Таким образом, социальная интеграция напрямую связана с экономическим процветанием городов. Это верно для городского развития в Европе и Китае, но особенно актуально для Китая, поскольку при поддержке правительств разных уровней страна переходит от менее урбанизированного к более урбанизированному обществу со все более интенсивным землепользованием

и более высоким качеством жизни. ([18] – проект ЕС-Китай TRANS-URBAN-EU-CHINA). В проекте [18] речь идет об оптимальном использовании и удовлетворенности запросов граждан. Именно TOD, о котором говорилось выше, признан сегодня в Китае базовой политикой в их мега-городах, строящихся уже по принципу умных городов таким образом, что центр мировой стандартизации ISO сегодня размещается уже в Пекине. Безусловной их частью являются городские железные дороги, развивающиеся в Китае в рамках идеологии TOD. Мобильность между городами в Китае во многом выполняют высокоскоростные железные дороги (ВСМ) – самые большие сегодня в мире.

Городской железнодорожный транспорт в Китайской Народной Республике охватывает широкий спектр городских и пригородных систем электрического пассажирского железнодорожного транспорта, включая метро, легкорельсовый транспорт, трамвай. Некоторые классификации также включают скоростной автобусный транспорт, не являющийся железнодорожным. В Китае самая протяженная в мире система городского железнодорожного транспорта, длина которой по состоянию на 2020 год составляла более 7500 км [19].

По состоянию на 2020 год Китай ввел в эксплуатацию 233 городских железнодорожных транзитных линии в 44 городах. К 2019 году в Китае было более 6 100 км метро или линий метро. По состоянию на 2020 год Китай может похвастаться пятеркой самых длинных систем метро в мире - Шанхай, Пекин, Гуанчжоу, Чэнду и Шэньчжэнь входят в пятерку лучших городов. Девять из 15 самых длинных систем метро в мире находятся в Китае. Хотя Шанхайский метрополитен начал работать только в 1993 году, сейчас это самая длинная система метро в мире [19]. Половина из десяти самых загруженных систем метро в мире находится в Китае. К началу 2020 года в материковом Китае была открыта 41 система метро со 185 линиями метро [19].

Шанхайский метрополитен - это система скоростного транспорта в Шанхае, обеспечивающая городские и пригородные перевозки в 14 из 16 муниципальных районов и в города Хуацяо, Куньшань, провинция Цзянсу. Шанхайский метрополитен, открывшийся в 1993 году и начавший его полномасштабное строительство до 1986 года, является третьей по возрасту системой скоростного транспорта в материковом Китае после Пекинского метро и Тяньцзиньского метрополитена. Он продемонстрировал значительный рост в течение нескольких лет, предшествовавших выставке Expo 2010, и все еще быстро расширяется, его последние расширения были открыты в январе 2021 года. Метрополитен самый крупный компонент сети городского железнодорожного транспорта Шанхая, вместе с шанхайским поездом на магнитной подвеске, трамваем Zhangjiang, трамваем Songjiang и пригородными поездами Китайской железной дороги в Цзиньшань. Система метро также интегрирована с другими видами общественного транспорта в Шанхае [20] и принципами TOD. Далее мы приводим данные, которые актуализируют информацию [18].

Шанхайский метрополитен является крупнейшей в мире системой метро по длине маршрута, составляющей 743 км (462 мили) [20]. Это также вторая по величине система метро с 381 станцией на 18 линиях. [Примечание 1] [примечание 2] Он занимает второе место в мире по годовому количеству пассажиров с 3,88 миллиардами поездок в 2019 году. [20] Ежедневный рекорд количества пассажиров был установлен 8 марта 2019 года на уровне 13,29 миллиона человек [20]. В среднем в рабочий день системой пользуются более 10 миллионов человек [20].

16 октября 2013 года с расширением линии 11 на Куньшань в провинции Цзянсу Шанхайский метрополитен стал первой системой скоростного транспорта в Китае, обеспечивающей межпровинциальные перевозки, и вторым междугородним метро после метро Guangfo. Дальнейшие планы по соединению шанхайского метро с системой метро Сучжоу находятся в стадии активного рассмотрения [7], при этом первая линия, соединяющая линию 11 Шанхайского метрополитена и линию 3 метро Сучжоу, находится в стадии строительства и, по прогнозам, будет завершена к 2024 году. Амбициозные планы расширения предусматривают строительство 25 линий протяженностью более 1000 км (620 миль) к 2025 году [9]. К тому времени каждое место в центральном районе Шанхая будет в пределах 600 м (2000 футов) от станции метро [20].



Рис. 8. Внешний вид одной из станции метро Шанхая [21].

Метро Шанхая современное, быстрое и недорогое, на станциях поддерживается чистота. Плазменные панели отображают время прибытия следующих двух поездов. На жидкокристаллических мониторах внутри вагонов поездов, идущих под землёй, показываются реклама и название следующей станции, а на наземных линиях информация о следующей станции отображается на светодиодном табло. В поездах также проигрывается запись с названием следующей станции на китайском и английском языках и с информацией о достопримечательностях и магазинах рядом со следующей станцией — только на китайском. Метро оборудовано для передвижения инвалидов. На всех станциях установлены платформенные раздвижные двери. Внешний вид одной из станции метро Шанхая

мы взяли из путеводителя по метро Шанхая [21], и читатель может посмотреть и другие станции.

Китай в настоящее время, как мы отмечали выше, переживает быстрый переход к городскому хозяйству, который вызвал множество серьезных социальных проблем, например, увеличение количества транспортных заторов. Правительство различными способами работает над решением проблемы заторов на дорогах, и стратегия Smart City (SC или умный город) становится новым потенциальным решением. Технологические возможности - одна из важных предпосылок стратегии SC, которыми обладает Китай. С 2012 по 2017 год Китай последовательно выпустил более десяти политик, касающихся планов строительства умных городов и систем оценки на национальном уровне. В то время как на местном уровне 95% субпровинциальных городов и 83% городов префектурного уровня (всего более 500 городов) предложили строительство умных городов в рабочем плане местных органов власти [22].

В рамках городского строительства транспорт - артерия экономического развития, а интеллектуальный трафик - важная часть строительства SC. В Общей схеме нового умного города, выпущенной муниципалитетом Шэньчжэня, услуги умного транспорта рассматриваются как ключевой элемент государственных услуг и городского управления [22].

Шэньчжэнь сейчас опережает Пекин, Шанхай и Гонконг и является самым эффективным городом в Китае с разворачиванием интеллектуальной системы дорожного движения (ITS или ИТС). В рамках стратегии SC, ИКТ широко применяются в транспортных услугах в Шэньчжэне. Искусственный интеллект (ИИ) и технология больших данных используются для повышения безопасности дорожного движения, для эффективности работы коллег по управлению различными видами транспорта активно используются цифровые коммуникации. Такие технологии позволяют идентифицировать изображения нарушителей дорожного движения с очень высокой точностью 95%. Между тем, Шэньчжэнь также пилотирует интеллектуальную систему управления парковкой на основе данных в режиме реального времени, стремясь ежедневно убирать с дороги 330 000 автомобилей для уменьшения загруженности дорог [22]. Поэтому именно Шэньчжэнь выбран базовым городом в Китае по теме ИТС. Для иллюстрации подходов города к реализации амбициозных планов в части ИТС, мы выбрали две иллюстрации, приводим на рисунках ниже.

На рисунках 9 и 10 видно, что в пилотном умном Шэньчжэне в ИТС объединены все виды транспорта (за исключением метро), и активно участвуют жители города.

Возвращаясь к метро Шанхая, необходимо задать самим себе вопрос: «Как в столь сжатые сроки он был построен в Шанхае?». Публикации [23-31] позволяют в значительной мере избежать долгих рассуждений на эту тему и дать прямой ответ на заданный вопрос: это внедрение технологии BIM, к освоению которых именно

на железнодорожном транспорте и в метро Китай предпринял особые усилия, став, так же как и в случае умных городов, уже лидером мировой стандартизации и практического применения в этом секторе строительства.



Рис. 9. Приложения SC [22]



Рис. 10. Модель городского ИТС [22]

Отвечая на вторую часть заданного вопроса: « Почему это произошло именно в Шанхае?» необходимо сказать, что, исторически, именно этот город был именно теми воротами, через которые Китай общался с внешним миром, так как через него шла торговля. Впрочем, и сегодня, это самый крупный морской порт Китая и всего мира по перевозке грузов, которые собираются и отправляются через лучшую сеть водного транспорта в мире [34]. Поэтому экономический бум в Китае начался именно с Шанхая, вызвав огромные строительные изменения в этом городе.

Из трех знаковых проектов реализованных в Китае источник [35] указывает на два из Шанхая. Первый из них - это невероятно известная Шанхайская башня (рисунок 11 Общий вид, рисунок 12. Деталь вершины Шанхайской башни).



Рис. 11. Шанхайская башня, Шанхай (общий вид [35])

Это первый проект в списке [33], реализованный с использованием технологии BIM в Китае - 128-этажная Шанхайская башня. Построенная на месте бывшего поля для гольфа, структура высотой 632 метра является самым высоким зданием в Китае (и вторым по высоте в мире), и представляет собой жемчужину в короне финансового центра Шанхая.

Чтобы выдерживать ветровые нагрузки, башня была спроектирована асимметричной формы и профиля со скругленными углами. После испытания в аэродинамической трубе форма была улучшена, что привело к снижению ветровой нагрузки на конструкцию на 24% по сравнению с прямоугольным зданием сопоставимой высоты [35].

Для его конфигурации потребовалось более 20 000 панелей для навесных стен около 7 000 различных форм. Фасад пропускает естественный свет, а также действует как «изоляционное покрытие» для экономии энергии. Фасад из двухслойного изоляционного стекла был разработан, чтобы уменьшить потребность в кондиционировании воздуха в помещении. Американское архитектурное бюро Gensler возглавляло команду дизайнеров и с самого начала работало в среде BIM [33].



Рис. 12. Деталь вершины Шанхайской башни [35].

Процесс внедрения BIM в проекте контролировался командой всего из трех человек, которые отслеживали влияние на общее соответствие проекта и сроки реализации. Усиленный контроль помог сократить время строительства до 73 месяцев (чуть больше 6 лет!) Для поверхности 576 000 м², что, примерно, на 30% быстрее, чем у аналогичных конструкций [35].

Комплексная работа и оптимизированная совместная работа также были названы ключевыми преимуществами процесса BIM. Архитектурное бюро Gensler из Сан-Франциско, глава группы конструкторов и проектировщиков услуг по всему миру, поделился своими информационными моделями в общей среде данных (CDE - Common Data Environment), что позволило всем заинтересованным сторонам общаться в виртуальном контексте проекта [35]. Конечно, среди подрядчиков Gensler было большое число компаний из Шанхая, и работа в этом проекте стала для них великолепной школой.

С графической точки зрения скручивание внешней оболочки башни было бы почти невозможно передать с помощью традиционных 2D-методов, и команда извлекла большую пользу из возможности визуализации и понимания проекта и окружающей среды в трехмерной форме [35].

Еще одним проектом выполненном в Шанхае стал Шанхайский Диснейленд. Это - курорт Дисней, построенный в шанхайском парке командой Walt Disney Imagineering (WDI).



Рис. 13. Шанхайский Диснейленд [35]

Арочный навес, который доминирует над композицией пространства, предлагает укрытие, как для

извилистых американских горок, так и для гостей внизу, укрываясь от дождя и солнечного света. Механические системы используются в минимальной степени для охлаждения и обогрева наружных пространств, вместо этого максимально используется естественная вентиляция [35].

Более 70% зданий были разработаны в среде BIM, а эффективность была достигнута за счет одновременного выполнения множества проектов. Преимущество сотрудничества позволило проектным группам получить доступ к одним и тем же ресурсам и поддержке, сотрудничать и обмениваться знаниями в рамках «экосистемы» проектов с поддержкой BIM.

Дополнительным преимуществом использования BIM в проекте такого масштаба было содействие интеграции WDI с более чем 140 различными дисциплинами, задействованными в проекте, включая многие местные проектные компании и подрядчиков [35]. И это стало второй, не менее важной школой для компаний из Китая и, в первую очередь, именно из Шанхая.

В работе [36] утверждается, что сегодня Шанхай наиболее продвинул в Китае в части применения BIM. Китай сегодня рынок строительства № 1 в мире и именно поэтому этот город, как и, в своей части, Шэньчжэнь сегодня, есть общекаитайский пилот железнодорожного транзитного развития в рамках стандартов умных городов. Продвинутая архитектура таких решений показана на рисунке и эта BIM-экосистема основывается на BIM платформе.

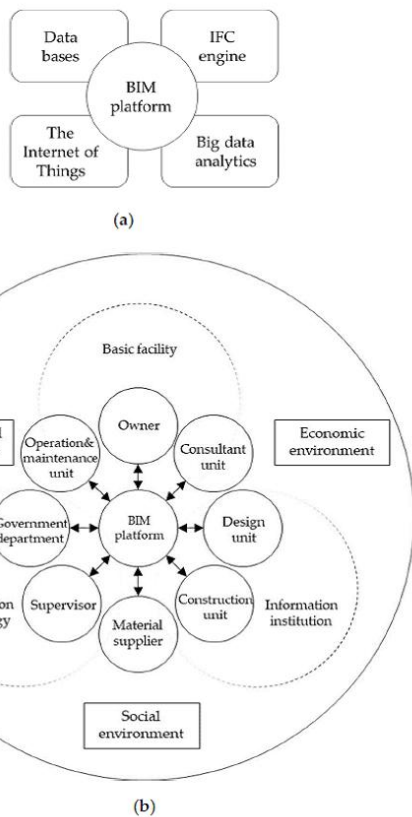


Рис. 14. Базовая структура BIM-экосистемы: (а) основной уровень; (в) базовая структура [36]. Более подробно о таком платформенном подходе можно узнать из работы [37]. Вид такой базовой структуры BIM-экосистемы: (а) основной уровень; (в) базовая

структура из [36] мы приводим на рисунке 14.

Железнодорожный вокзал и станция метро является основным активом систем общественного транспорта и играет решающую роль в модернизации умного города в части перемещения жителей и их транспортных удобств. Проект городской железной дороги основан на следующем принципе «это не только транспортный узел, но и место, где могут выполняться различные виды деятельности» [38]. Шанхайский метрополитен - это система скоростного транспорта, построенная для уменьшения неблагоприятных последствий динамичной жизни [38]. К концу 2020 года количество линий должно было увеличиться до 18 линий с протяженностью 800 км. Максимальное расстояние пешком в Шанхае для любой станции метро не превышает 600 м, а внутригородские поездки составляют менее 5 км, что является наибольшим расстоянием для безмоторных поездок. В результате радиус пешеходной доступности между каждым метро составляет около 500 м. [38]. Так понятие развития метрополитена в TOD трансформируется в понятие «доступное жилье» как по цене, так и по транспортной доступности.

Развитие городской железной дороги и метрополитена уже стало в концепции TOD способом решения социальных задач. В отдельной диссертации, защищенной в США и посвященной Шанхаю [39] сказано:

«Шанхай, как крупнейший город и ведущий промышленный центр Китая, является важным примером доступности жилья. Шанхай всегда был самым дорогим рынком жилья в Китае, цены на жилье которого сопоставимы с ценами в самых дорогих городах мира. В 2018 году 24 миллиона жителей Шанхая составляют примерно 1,7 процента от общей численности населения Китая. Однако рынок жилья в 51 трлн. юаней составляет 20 процентов от общей капитализации рынка жилья страны. Следовательно, доступное жилье имеет важное значение для выживания людей с низкими доходами в условиях высоких цен на жилье в Шанхае.

За последние 20 лет цены на жилье в китайских городах резко выросли, при этом средняя цена на жилье по стране выросла на 1400%. В больших городах, таких как Шанхай, покупка скромной квартиры может стоить несколько миллионов юаней, что делает доступность жилья главной проблемой для большинства семей с низкими доходами. В ответ на высокий спрос на жилье в городских районах как центральное правительство, так и муниципалитеты работают над обеспечением доступности жилья за счет увеличения предложения доступного жилья. Обеспечение доступным жильем - огромная задача, стоящая перед всеми странами. Это особенно верно в Китае не только из-за самой большой численности населения в мире, но и потому, что его жилищный сектор превратился из системы социального обеспечения, в которой доминирует государство, в

систему, управляемую рынком, немногим более десяти лет назад».

Для решения социальных и транспортных проблем последние годы в китайских городах построено большое количество метрополитенов с нарастающим применением BIM NT[YJKJUBQ, особенно это касается Шанхая. Как новая технология управления информацией, информационное моделирование зданий (BIM) было внедрено в проекты метро. Однако очень немногие модели данных завершённых проектов метро соответствуют единому стандарту BIM. Фактически, существующие готовые модели различных проектов метрополитена сильно отличаются друг от друга, как по форме, так и по содержанию. Участникам становится чрезвычайно сложно использовать эти модели для приложений к новым задачам или другим связанным проектам [40].

Поэтому стандартная структура BIM была предложена для эффективного применения BIM, в частности, для системы Шанхайского метрополитена. Предлагаемая структура включает информационный стандарт, руководство по моделированию, стандарт приложения и стандарт доставки. Для обеспечения разнообразия приложений BIM в соответствии с этими стандартами в системе Шанхайского метрополитена были разработаны соответствующие инструменты [40]:

- (a) библиотека объектов BIM для информационного стандарта,
- (b) инструменты проверки на основе правил для проверки моделей в соответствии с рекомендациями по моделированию и стандартом доставки и
- (c) совместная платформа для приложений BIM в рамках стандарта приложений.

Предлагаемые стандарты и инструменты широко использовались в системе метро Шанхая и способствовали стандартизации и интеграции внедрения BIM в метро. Некоторые из них мы обсудим далее.

Чтобы проиллюстрировать утверждение о распространении технологий BIM при строительстве метро в Китае мы решили привести в качестве примера Сямьнь (Xiàmén shì) — город субпровинциального значения в провинции Фуцзянь (КНР), крупнейший порт провинции на побережье Тайваньского пролива. Расположен на островах и прилегающем побережье материка между Цюаньчжоу (к северу) и Чжанчжоу (к югу). Население около 4 млн. человек (2018) [41]. В этом известном в истории городе с великолепной экологией также строится Сямьньский метрополитен, также именуется как Сямьньский железнодорожный транзит, AMTR (Across Mass Transit Railway) — действующая с 2017 года система метро в городе Сямьнь (Китай). Планирование этого метро начато в начале 2000-х годов и одобрено в декабре 2010 года, строительство начато в ноябре 2013 года. Пробное движение пущено 6 октября 2017 года. Открытие состоялось 31 декабря 2017 года. На всех станциях установлены платформенные раздвижные двери [42]. Интересно, что уже две работы монография и диссертация были опубликованы по теме BIM и Сямьньский железнодорожный транзит: монография

[43] и диссертация [44].

В диссертации [44], защищенной в Финляндии говорится о сложностях в строительстве подземного транспорта и это технические проблемы строительства, которые можно преодолеть с помощью технологий BIM. Точно так же как обычные строительные проекты, подземная структура содержит множество структурных стен и компонентов HVAC, есть много встроенных частей и зарезервированных отверстий в проекте. На рисунке 15 показана модель BIM этапа строительства подземного транспортного проекта. Недостатки конструкции, такие как упущения и ошибки встраивания, не могут быть исключены при использовании традиционного метода конструирования, в основном основанного на двухмерных чертежах. [42] В качестве примера было использовано строительство станции метро Lianban.



Рис.15. Зарезервированные отверстия основаны на модели BIM [44].

Обсуждаемые выше потенциальные трудности можно избежать с использованием технологии BIM в технике строительства подземного транспорта. Изображения измерений, расчетные числа и информация о конструкции могут быть преобразованы в 3D или 4D модели для разработчика и конструктора. Кроме того, BIM также может предоставить платформу для совместной работы для каждой профессии, так что управление строительством может быть легко сделано. К тому же, технология BIM может предоставить лучшие решения для управления координацией столкновений с другими зданиями и подземными активами, контроля количества и анализа производительности. Таким образом, рабочая нагрузка может быть упрощена, а эффективность может быть улучшена. Таким образом, затраты на строительство могут быть уменьшены [44].

В отличие от традиционного режима проектирования координации, в котором координация разделена и ограничена на два сектора, технология BIM обеспечивает совместную стадию проектирования для строительства подземного транспорта. С помощью технологии BIM координация может выполняться одновременно всеми участвующими секторами, как показано на рисунке 16 ниже.

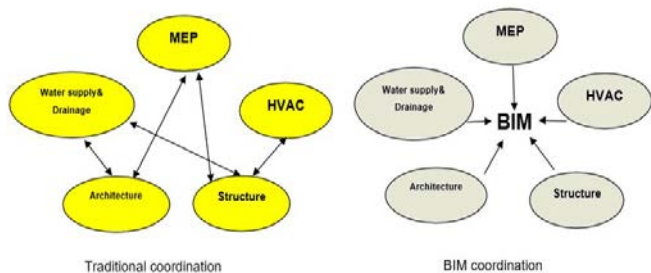


Рис. 16. Интегрированное сравнение координации между традиционным режимом и режимом координации BIM [44].

BIM может собирать и интегрировать все данные и ресурсы, как отмечено в [44], чтобы инженеры из разных секторов могли получать всю необходимую им информацию посредством обмена информацией. Кроме того, детали структуры можно наблюдать непосредственно на этапе проектирования с помощью визуализированных характеристик 3D-модели BIM. Можно сравнивать различные варианты строительства, последовательность заказа на строительство может быть организована на этапе проектирования, и лучшее решение может быть найдено. Кроме того, на этапе проектирования строительных чертежей обнаружение столкновений в BIM позволяет обнаружить проблемы в проектных чертежах и схемах строительства, эффективно избегая недостатков и ошибок проектирования и любых задержек в расписании [44].

Кроме того, инструмент управления 5D BIM может предоставить основные данные, такие как расход материалов и учет затрат, которые могут использоваться для контроля инвестиций проекта. Использование технологии BIM на этапе проектирования делает коммуникацию более удобной, помогает дизайнерам легко корректировать и улучшать проект, повышая качество дизайна [44].

С помощью виртуальной реальности модели BIM можно использовать для создания модели станции метро, а также для цветопередачи модели и создания анимации, предоставляя конструктору предварительный результат непосредственно на этапе строительства [44]. В настоящее время, многие строительные коллизии обнаруживаются, когда строительство закончено [44]. Чтобы продолжить проект, построенная часть сооружения и в том числе под землей с отказом должна быть удалена и реконструирована. Иногда эти сбои вызваны не только ошибками на этапе проектирования, но и ошибками организатора в процессе строительства. Например, если на строительной площадке слишком многолюдно, метод выемки котлована может быть выполнен иначе, чем predetermined method, и приобретенные строительные материалы могут не соответствовать ходу строительства. Это может привести к избытку строительных материалов и штабелированию строительного оборудования в рабочей зоне. Невостребованное оборудование также может

повлиять на безопасность котлована.

При использовании технологии симуляции строительства 4D BIM в подземном строительстве, как показано на рисунке 17, может быть предложена виртуальная схема строительства. Имитация конструкции 4D означает, что измерение времени добавляется в 3D-модель, так что процесс построения и период могут быть смоделированы динамическим способом. Таким образом, ситуации в период строительства можно прогнозировать и анализировать с помощью BIM. Строительная площадка с вариативным размещением оборудования и транспортных коридоров может контролироваться заранее. Это не только выгодно для контроля времени проекта и оптимизации затрат, но также снижает риск ошибок во время строительства, сокращая переделки и улучшая качество строительства [44].

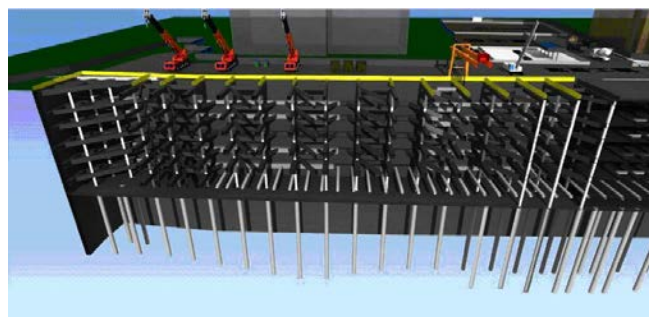


Рис. 17. Вид модели процесса строительства во время 4D моделирования [44].

На этапе обслуживания и эксплуатации объекта технология BIM может реализовывать VR (виртуальную реальность), статистику активов, управление пространством, анализ архитектуры системы и моделирование аварийных ситуаций. Подземная станция метро обычно включает в себя систему связи, систему сигнализации, систему вентиляции и кондиционирования, систему водоснабжения и водоотведения, систему пожаротушения и интегрированную систему диспетчерского управления.

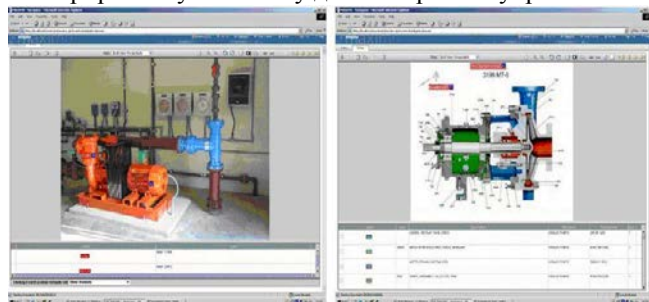


Рис. 18. Визуализированное управление оборудованием [44].

Различное электронное оборудование для различных систем делает ежедневное обслуживание и управление более сложным и важным [44]. Кроме того, авария, такая как повреждение подземного сооружения или утечка воды и просачивание, также может повлиять на содержание и эксплуатацию подземного транспорта.

BIM может записывать конкретную информацию обо

всех подземных инженерных устройств. Все данные могут быть исправлены и обновлены синхронно. Операторы оборудования могут также использовать BIM для наблюдения за состоянием оборудования, как показано на рисунке 18 выше, чтобы можно было легко выполнить запланированные задачи по обслуживанию. [42] Чтобы проиллюстрировать, что в процессе предотвращения аварий и спасения инженер по обслуживанию может получить доступ к базе данных BIM в реальном времени, реальное местоположение неисправного оборудования может быть точно определено. Кроме того, лучшие решения для ремонта оборудования, основанные на всех предложениях подсистемы, могут быть предоставлены до прибытия аварийного персонала. При этом BIM-модель, импортированная в Pathfinder для имитации эвакуации (рисунок 19).

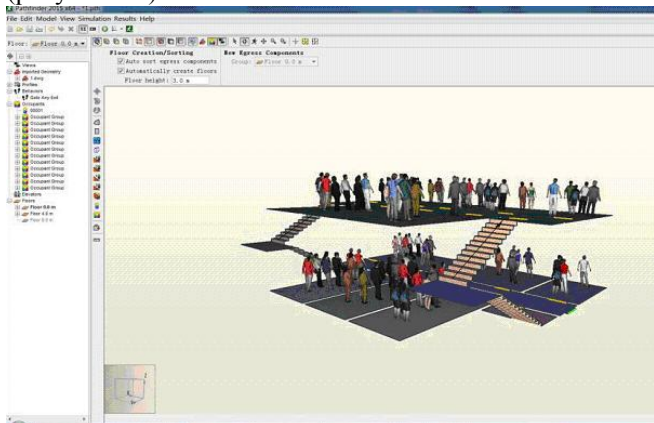


Рис. 19. BIM-модель, импортированная в Pathfinder для имитации эвакуации [44].

Станция Лянбань является средней станцией в проекте метро линии Сямынь №1. Станция представляет собой двухслойную станцию метро, расположенную на пересечении южной дороги Хубин и дороги Хумин. Основной корпус станции общей длиной 207,4 м и общей площадью 12 516 м² содержит четыре входа, один вход для срочной эвакуации и два вентиляционных киоска.

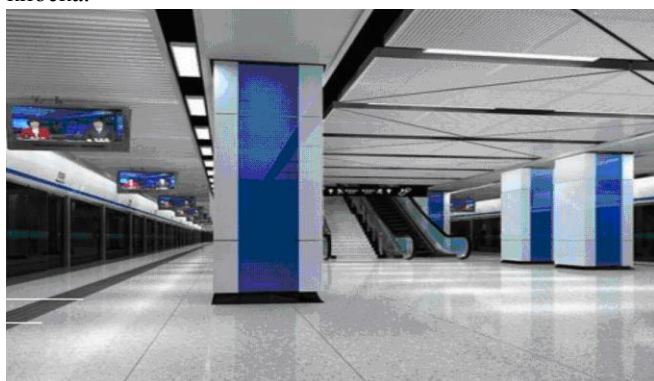


Рис. 20. Зал станции метро Lianban [44].

Стандартное сечение станции составляет 20,7 м в ширину и 12 м в глубину захоронения, со стеной, которая поддерживается 1000мм диафрагмой. Один из входов на станцию напрямую связан со зданием международной торговли Сямынь [44]. На рисунке 20 можно увидеть зал станции метро Lianban.

Трудности проекта станции Lianban можно перечислить в нескольких частях. Во-первых, этот проект включает в себя 42 различных дисциплины, девять в области гражданского строительства, 20 в области электротехники и механики, семь в области совместного проектирования и шесть в других профессиях. Координация работы между различными секторами трудно осуществить. Во-вторых, дизайнеру сложно работать совместно, потому что в проекте участвуют разные проектные организации. Третья трудность заключается в том, что строительная площадка находится в подземной среде, что означает, что рабочее пространство переполнено, а система является сложной. Кроме того, из-за сложного окружения, с ограниченным сроком проектирования, трудности реализации проекта были увеличены [44].

Для решения трудностей и проблем сформирована команда разработчиков BIM из инженеров BIM. С технологией BIM проекты могут быть построены с высокой степенью точности с отличной связью между различными специальностями. Чтобы быть более конкретным, BIM помогает проекту на этапе проектирования, включая совместное проектирование гражданского строительства, совместное проектирование туннельной системы, а также комплексное совместное проектирование. Кроме того, технология BIM используется на этапе строительства и эксплуатации проекта [44].

Кроме того, экспорт модели BIM в программное обеспечение Pathfinder, как показано на рисунке 6, может имитировать эвакуацию места происшествия, сводя к минимуму опасность и потери, которые необходимы для общественного транспорта с переполненным населением. Подводя итог, можно сказать, что, с одной стороны, технология BIM может повысить эффективность эксплуатации и обслуживания объекта, снизить затраты, продлить срок службы станции метро и избежать рисков, связанных с проектированием подземного транспорта. С другой стороны, BIM может помочь в обслуживании и эксплуатации, моделировать аварийные ситуации и несчастные случаи, избегая рисков подземного транспорта [44].

VI КАК АРХИТЕКТОРЫ ПРОДВИГАЮТ РЕШЕНИЯ НА БАЗЕ BIM В МЕТРОПОЛИТЕНАХ – САУДОВСКАЯ АРАВИЯ

Одна из легенд архитектуры 21 века Заха Хадид (Zaha Hadid) — ирако-британский архитектор и дизайнер арабского происхождения, яркая представительница деконструктивизма. В 2004 году стала первой в истории женщиной, награжденной Притцкерской премией. Она дама-командор ордена Британской империи, иностранный член Американского философского общества. Заха Хадид основала компанию Zaha Hadid Architects чрезвычайно успешно до сих пор (Заха Хадид умерла 31 марта 2016 г.).

На примере амбициозного проекта метро в Эр-Рияде

(Саудовская Аравия), мы решили показать очень интересную связь между развитием архитектуры и технологий BIM. Zaha Hadid Architects стала руководителем проектирования и строительства станции метро KING ABDULLAH FINANCIAL DISTRICT (KAFD) [38].

Станция расположена в Эр-Рияде, столице Королевства Саудовская Аравия. Она все еще строится, и планировалась к открытию для посетителей в 2020 году. Проект представляет собой совершенно новую систему общественного транспорта для города. Он имеет шесть линий метро протяженностью 176 км вдоль 85 новых станций. Предполагается, что после реализации линии будут перевозить 3,6 миллиона пассажиров в день к 2030 году [38]. Общий вид проекта станция метро KAFD можно увидеть на рисунке 21.

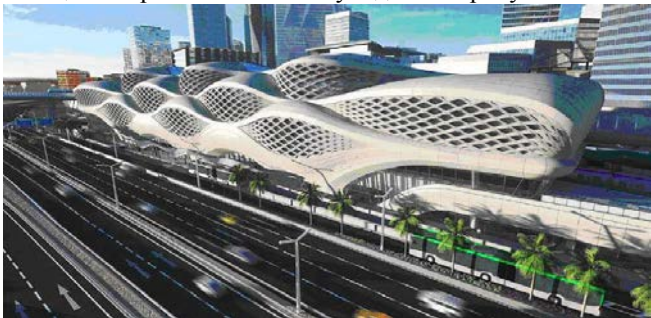


Рис. 21. Общий вид проекта станция метро KAFD [38].

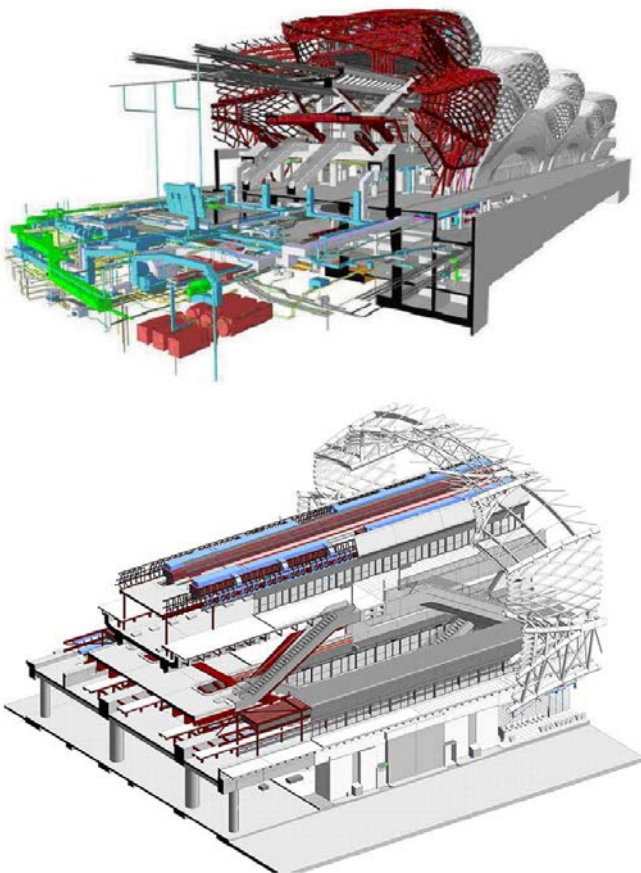


Рис. 22. Детальные разрезы станции в BIM [38].

Здание вокзала KAFD состоит из семи уровней, пяти уровней над землей и двух уровней под землей. Он включает в себя шесть железнодорожных платформ, обслуживающих три линии метро; Синяя линия (линия 1), желтая Линия (линия 4) и фиолетовая линия (линия

6). Цель проекта - сократить использование автомобилей в качестве основной транспортной системы в Саудовской Аравии, и ожидается, что эта станция сократит поездки на автомобиле до 2 миллионов поездок в день. Это будет важный транспортный и развлекательный центр для населения [38]. Проектирование проходило в среде BIM и два детальных разреза станции в BIM показаны на рисунке 22.

Геометрия оболочки станции уникальна и сложна, как и все здания Захи Хадид. Концепт формы увеличен из-за воздействия ветра на песок пустыни, что привело к повторяющимся узорам синусоид для фасадов. Узор гармонирует с культурной средой и снижает влияние высоких солнечных лучей на здание.



Рис. 23. Перепопчатый стальной каркас конструкции станции [38].

Конструкция представляет собой перепопчатый стальной каркас, который действует как основа оболочки. Его внешний вес составляет около 4 237 тонн, а внутренняя - 2 785 тонн стальной конструкции. BIM-технология была основным инструментом для создания этой органической структуры. Руководитель отдела BIM и рабочих процессов Zaha Hadid Architects, Гарри Иббс заявил, что рабочий процесс таких проектов вдохновлен аэрокосмической и автомобильной промышленностью [38]. Перепопчатый стальной каркас конструкции станции показан на рисунке 23.

Zaha Hadid Architects (ZHA) использовала следующие BIM программы: Maya, Rhino, Revit [45] Однако, проект станции метро King Abdullah Finance District (KAFD) площадью 45 000 кв. М в Эр-Рияде, Саудовская Аравия, потребовал от ZHA разработки собственного программного обеспечения для моделирования сложной геометрии, получившего название ZHA Zaha BIM [45].

Станция к тому же планируется ключевой развязкой между тремя из шести новых линий метро города, включая шесть платформ на четырех общественных этажах и два уровня подземной парковки. Проект должен будет интегрирован с местным финансовым районом и мультимодальными транспортными связями, включая многочисленные пешеходные дорожки, предназначенные для улучшения движения, и небесный мост, обеспечивающий доступ к местной монорельсовой дороге. Эта станция один из примерно 100 станций в

расширенной сети метро, которые планируются на уровень BIM 2. Модели Revit и IFC BIM, соответствующие уровню Level 350, будут переданы ZHA клиенту по завершении в соответствии с требованиями контракта [45].

Фасад и крыша здания украшены волнообразными волнами, вдохновленными сложными природными узорами песчаных дюн, и изогнутыми решетчатыми экранами, имитирующими древнюю арабскую художественную форму Машрабию. Архитекторы описывают его как «трехмерную решетку, определяемую последовательностью встречных синусоид».

Сложную геометрию с ее различными двойными изогнутыми формами было невозможно точно смоделировать в Autodesk Revit, поэтому ZHA решила разработать свои собственные программные надстройки BIM для ее создания. ZHA решила разработать специальные программные плагины BIM для создания модели. Архитектурный дизайн начался в программе моделирования Maya, откуда он был преобразован в низкополигональные сетки и импортирован в пакет САПР Rhino, подключенный к программе моделирования поверхностей T-Splines [45]. Специальное программное обеспечение ZHA Zaha BIM затем внесло необходимые изменения в данные, чтобы создать плавную и точную геометрию, которую можно было бы отобразить в Revit. Детали изготовления в модели представляют все услуги и прикрепленные метаданные, необходимые для соблюдения контракта.

По словам Гарри Иббса, главы отдела BIM и рабочих процессов в ZHA, на сегодняшний день немногим удалось достичь такого же уровня усовершенствованного проектирования жидкостей в среде BIM. Он сказал [45]: «Нелегко спроектировать и смоделировать геометрию жидкости в программном обеспечении BIM, ядра геометрического моделирования в основном могут обрабатывать только упрощенные формы».

«Даже сегодня, сказал он [45], если конструкция жидкости разрабатывается до уровня детализации изготовления, потребуется очень опытный разработчик вычислительных моделей, чтобы добиться того, что мы имеем в этом проекте в Revit. Наше программное обеспечение упрощает быстрые итерации дизайна в Maya и Rhino, а затем переносит их в BIM-совместимую среду».

Инновационный рабочий процесс, разработанный ZHA, был описан в документе, который будет представлен в Autodesk University в Лондоне и Лос-Анджелесе позже в этом году Эккартом Швердтфегером, руководителем BIM в ZHA.

Использование BIM на KAFD в первую очередь было вызвано строительной стороной, чтобы сэкономить деньги и время на месте. Существовал комплексный план выполнения BIM, и клиент требовал сброса данных на определенных этапах, чтобы гарантировать, что программа проекта не отстает [45].

Не все шло гладко по проекту. Команде проекта

потребовалось больше года, чтобы полностью использовать BIM и обмениваться информацией, поскольку некоторые из вовлеченных компаний никогда раньше не инвестировали в BIM. Подрядчик MEP первоначально пытался моделировать 2D в AutoCAD, пообещав создать модель позже, но текучая природа здания сделала этот подход невозможным.

«У нас были воздуховоды и трубопроводы, вылетающие из фасада и плиты. Вскоре они увидели, что имеет смысл координировать сборку ZHA только в среде 3D BIM», - говорит Иббс [45].

Первоначальный процесс обнаружения коллизий в Navisworks приводил к многочисленным коллизиям, но на втором этапе поставки они были сведены к нулю с допуском +/- 0,10 мм.

По словам Иббса [45], ключевым преимуществом работы в BIM является снижение проектного риска, поскольку предоставление полностью интегрированной, скоординированной модели на стадии тендера, включая MEP и структуры, дало заказчику и подрядчику больше уверенности в строительстве.

Теперь проект находится на месте, главный подрядчик использует процессы 4D и 5D BIM для планирования последовательности работ и расчета стоимости материалов. Завершение проекта планировалось в конце 2020 года [45].

Так как и в случае с Шанхаем происходит распространение культуры BIM через продвинутые архитектурные компании, а технологии BIM для метрополитенов получают в этом процессе свое развитие. Саудовская Аравия, которая, по мнению многих, весьма традиционная страна, показывает всему миру, что тоже развивается по принципам TOD и транспортной доступности.

VII РАЗВИТИЕ ГОРОДСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И МЕТРОПОЛИТЕНОВ В ЕВРОПЕ. BIM И TOD В ПАРИЖСКОМ МЕТРО

В Европе рост в период 2013–2018 был более медленным, чем в Азии. Открыто 10 новых линий (переход с 161 на 171 линию), общая протяженность увеличилась на + 7,35% (2 943 км). Финляндия, Турция и Венгрия - страны, в которых наблюдается самый значительный рост общей протяженности. Страны с уже широко развитыми системами (особенно Испания, Франция, Германия и Великобритания) испытали очень умеренное увеличение общей длины. Эти четыре страны - страны с наиболее развитой системой, наибольшим количеством станций и вагонов, наибольшим пассажиропотоком. Пассажиропоток метро в Европе вырос в среднем на 13% за рассматриваемый период времени. Этот процент не далек от роста мировой экономики за тот же период (около 19%). Средняя длина линии по Европе составляет около 17 км при среднем расстоянии между остановками 1 км. Заметные различия существуют в разных странах и между новыми и старыми линиями. В Лондоне самая разветвленная система метро в Европе (4-е место в мире); Париж - самый загруженный, а Будапешт - самый многолюдный

(количество пассажиров / км линий). В Праге самая используемая система метро на континенте с точки зрения количества поездок на метро в год на одного жителя [46].

Что касается парка подвижного состава, на Испанию, Францию, Германию и Великобританию приходится 62% всех европейских перевозок, но Польша (Варшава) имеет наибольшее количество (15,52) подвижного состава, на километр инфраструктуры метро, за ней следуют Франция и Чехия. Республика [46].

Относительно пассажиропотока, данные показывают, что символический порог в 10 миллиардов пассажиров в год был достигнут в 2014 году [46]. На Испанию, Францию, Германию и Великобританию приходилось 56% общего количества пассажиров в Европе в 2018 году. Несмотря на это, страны, испытавшие наибольший прирост пассажиропотока за рассматриваемый период показали Турция (+ 48%), Норвегия (+ 43%) и Финляндия (+ 42%). Чешская Республика (Прага), Австрия (Вена) и Швеция (Стокгольм) являются чемпионами Европы по количеству поездок на метро на душу населения в год. Тем не менее, существенные различия видны в городах, принадлежащих одной стране (особенно в Великобритании, Испании и Франции). В документе [46] обсуждаются тенденции роста в Европе и приводится список новых разрабатываемых проектов. Около 491 км новых линий метро находятся на стадии планирования, строительства или эксплуатации в Европе, особенно в Турции, Франции и Италии.

В 2018 году Азия укрепила свой статус лидирующего региона мира в FAO (полностью автоматизированная эксплуатация) с полностью автоматизированной протяженностью 50% км. На втором месте Европа с 30% [44]. Однако и в Европе существуют крайне интересные проекты городских железных дорог в европейском духе развивающие TOD. Таков как мы полагаем «Проект Большой Париж» (THE GRAND PARIS PROJECT) [47,48].

Мельбурн, Оттава, Детройт и совсем недавно Париж - это лишь некоторые из городов по всему миру, которые стремятся уменьшить свой углеродный след и повысить качество жизни, превратив свои городские центры в «15-минутные города» [48]. Идея такого развития вполне соответствует духу TOD и основана на четырех принципах: близость, разнообразие, плотность и повсеместность. Градостроители, придерживающиеся этой философии, считают, что каждый район должен быть в состоянии удовлетворить наши основные потребности в течение 15 минут ходьбы или езды на велосипеде [48]. Для проекта Большой Париж в графическом виде вариант принципов 15-минутного города можно посмотреть на рисунке 24.

LE PARIS DU 1/4 HEURE



Рис. 24. Концептуальный набросок «15-минутного города» от Paris en Commun. По часовой стрелке сверху заголовки гласят: Образование, Работа, Обмен знаниями, Покупки, Отдых, Взаимодействие с общественностью, Здоровье, Общественный транспорт, Физические упражнения и Питание. (Изображение предоставлено Ubique [48])

В своей основе БОЛЬШОЙ ПАРИЖСКИЙ ПРОЕКТ (THE GRAND PARIS PROJECT – самый большой строительный проект в Европе за последние 10 лет) основан на применении масштабных строительных инноваций, которыми в значительной мере управляют технологии, базирующиеся на технологиях BIM. Организационно–технологические инновации на строительной площадке и роль BIM для организации более эффективных строительных площадок в этом проекте показаны на рисунке 25.

Проект Большой парижский экспресс (Grand Paris Express), как транспортная часть БОЛЬШОГО ПАРИЖСКОГО ПРОЕКТА, связан с жесткими экономическими ограничениями и сжатыми сроками. Линии метро должны быть введены в эксплуатацию с 2022 по 2030 год. Информационное моделирование зданий (BIM), таким образом, важный инструмент для достижения этих целей. Он основан на цифровой модели, которая создается на этапе запуска проекта и используется всеми заинтересованными сторонами. Связанная с базой данных, платформа BIM позволяет всем партнерам получить доступ к данным проекта со своего компьютера или устройств, фиксированных или

МОБИЛЬНЫХ.



Рис. 25. Организационно–технологические инновации на строительной площадке (BIM для более эффективных строительных площадок) [47]

Таким образом, модель обеспечивает лучший контроль рисков (будь то дизайн, реализация или даже этап эксплуатации), более эффективное управление графиками производства и снижение затрат - все это поможет улучшить качество обслуживания. BIM будет основным активом для проектов, вовлеченных в доставки Большого экспресса Парижа (метрополитена, Grand Paris Express), а также для будущего городского развитие инфраструктуры [47]. Главная цель проекта Grand Paris Express - расширение парижского метро на окраины [49].

В Париже, в живописном центре, проживают чуть более двух миллионов человек. Но большая часть населения Парижа составляет более 12 миллионов человек, и это одно из самых быстрорастущих в Европе городов. Чтобы город двигался и развивался экономически, требуется новый подход к транспорту и инфраструктуре. Это крупнейший инфраструктурный проект в Европе за последние десять лет, охватывающий 200 километров новых путей и 68 новых станций. Координация всей этой деятельности при сохранении движения существующего городского транспорта - огромная проблема [49].

BIM позволяет всем сторонам, участвующим в реализации мастер-плана, координировать свои действия, более эффективно сотрудничать с помощью общих данных и общего представления о ходе работы и графике работы, чтобы минимизировать сбои и задержки. Он разрабатывает генеральный план для генерального плана, который поможет городу Парижу построить транспортную сеть, отвечающую

требованиям 21 века, обеспечить перемещение граждан и повысить качество жизни всех парижан [49].

Одна из кардинальных технологий на базе BIM, позволяющая рассчитывать на выполнение жестких финансовых и временных рамок проектов это из автоматизированная проверка моделей и кодов проекта. Во многих странах (в том числе и в России) строительные нормы и правила проекта проверяются вручную на этапе проектирования здания или сооружения как и проверки юридических значимых чертежей. Это важная задача для проектировщиков и тех, кто работает в регулирующих органах. В то время как ручной процесс проверки всегда приводит к неоднозначности, непоследовательности в оценках и задерживает процесс строительства в целом в проектах модернизации Парижа пошли новым цифровым путем. С развитием технологии информационного моделирования зданий (BIM) автоматизированные системы проверки соответствия строительным нормам стандартам проекта становятся достижимыми. Это считается одной из технологий, обладающих наибольшим потенциалом для обеспечения значительного снижения сроков и стоимости для архитектуры, проектирования и строительства (АЕС) [50]. Ключевыми проблемами для успешной реализации проверки кода является интерпретация правил, крайне важно систематизировать правила и сделать их пригодными для отслеживания через автоматизированные системы проверки кода.

В настоящее время большинство систем автоматизации строительных кодов основаны на подходах, основанных на онтологиях, и информации семантической паутины. Подходы, основанные на онтологии, фокусируются на формализации требований соответствия, которые проводятся при извлечении знаний и семантическом отображении. Информация о семантической сети рассказывает о том, как улучшить модель IFC с помощью языка описания, основанного на теории логики [52]. Большинство правил встроено в системы генерации параметрического проектирования. Поэтому обязательным условием автоматической проверки проекта является хорошо разработанная технология BIM, которая относится к параметрическому проектированию.

Большинство правил по умолчанию в системах проверки моделей являются глобальными, такими как правила, связанные с пространственной оценкой, структурной целостностью, безопасностью, использованием энергии и так далее. Клиенты могут изменять параметры каждого правила в соответствии со своими местными правилами. Как только структура правила определена, она становится доступной для нескольких проектов. Существует три широко используемых типа платформ для систем проверки правил:

- Как приложение, привязанное к инструменту дизайна, такому как плагин. Можно проверить рабочую модель в процессе проектирования;

- как отдельное приложение, отделенное от инструментов моделирования, таких как Solibri, которое имеет свои собственные структуры правил и доступно для нескольких моделей;

- Как веб-приложение, которое может быть доступно для дизайна из различных источников [52].

Как строятся такого рода системы и онтологическое представления и хранение в новом поколении не реляционных баз данных [52], имеющих сегодня взрывное распространение можно увидеть на рисунке 26. Пример выполнения правила в такой базе данных можно увидеть на рисунке 27.

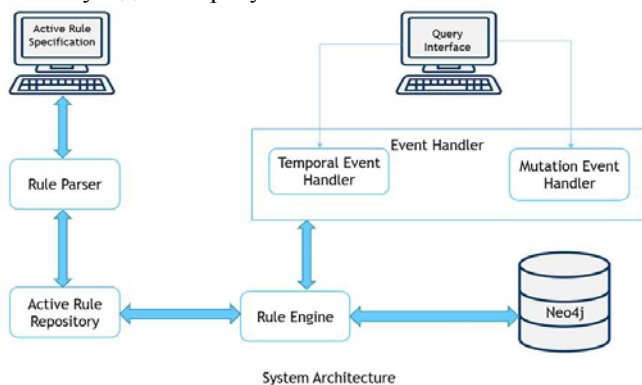


Рис. 26. Архитектура системы [50].

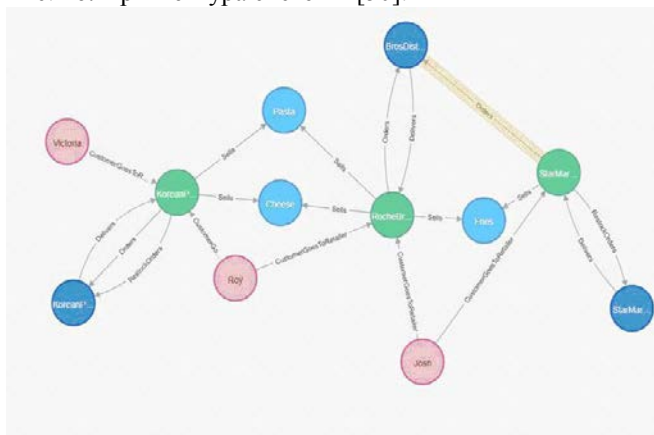


Рис. 27. Выполнение правила в базе данных [52].

Тематическое исследование [15] относится к проекту станции метро «Sevran-Beaudottes», является частью более широкой инициативы «Gran Paris Express», группы новых линий метро, которые планируется открыть поэтапно до 2023 года, и посвящено координации работы с BIM и проверки кода моделей. Станция будет связана с существующей станцией RER В Севран-Бодотт, узлом французской транспортной сети, позволяющей путешественникам добраться до региона вокруг Севрана.

Метод строительства, выбранный для реализации этой инфраструктуры, - это метод «разрезать и прикрыть», когда землеройное оборудование выкапывает большую траншею в земле, которая затем покрывается бетонным настилом, после того как стол будет установлен, строительные работы продолжают ниже, осуществляя повторение последовательности выемки и отливки плиты.

В случае с этой подземной станцией, после

уплотнения грунта, осуществленного с помощью твердых инъекций, первый шаг включает установку бетонных перегородок до начала земляных работ, затем земля выкапывается до уровня чуть ниже уровня плиты подземной конструкции. Затем устанавливаются распорки для поддержки диафрагменных стен, которые, в свою очередь, поддерживают почву по бокам, и наливаются кровельные плиты на земле и на первом уровне под землей. Затем монтируются следующие уровни плиты, поэтому процесс продолжается вниз, пока не будет завершена фундаментная плита [15].

Есть отдельная детальная работа [54], посвященная стыковки и применению BIM для такого метода строительства метро («разрезать и прикрыть») интересная и сама по себе и для применения в России.

Сама модель [15] создается как объединенная модель в Revit. Над ним работают 3 рабочие группы: «архитектурные», «конструкционные» и «строительные». Работа выполняется отдельно и объединяется путем связывания проектов в один файл проекта. Для выполнения этой задачи используется среда общих данных. Сама модель все еще находится в стадии разработки. Revit версии 2018 используется для моделирования этой конструкции и обновляется во время работы над ней для этого проекта. Внешний вид структуры модели станции приводится на рисунке 28.

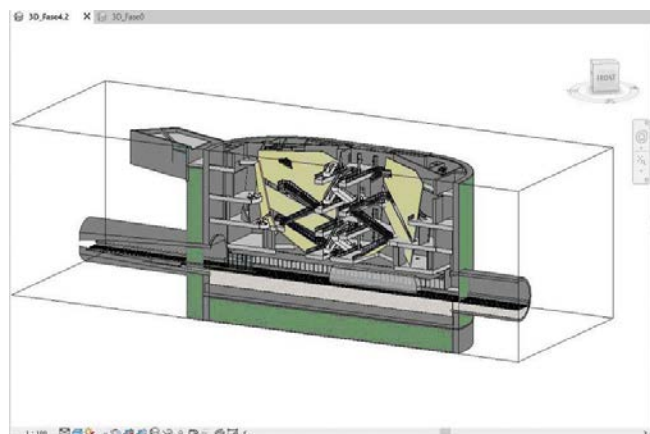


Рис. 28. Внешний вид структуры модели станции [15].

Проект спланирован по фазам, поэтому моделирование следует за этими фазами с кодом и определениями.

Для того еще раз подчеркнуть важность проверки моделей и кодов проектов городской железной дороги и метрополитенов сошлемся на работу 2021 года [53] о проверке моделей и кодов с помощью BIM для железных дорог. В случае подземного размещения метрополитенов, сложности исправления допущенных несоответствий возрастают многократно, добавляя и необходимость учета собственно проблем с туннелями.

Из-за очень строгих требований безопасности, предъявляемых к железнодорожным объектам и строительству метро, существует множество руководящих принципов, которые строго регулируют проектирование в отношении объектов железнодорожной инфраструктуры. В то время как

эстетические аспекты конструкции важны для индивидуального выражения соответствующих проектов зданий, объекты инфраструктуры в целом характеризуются высокой степенью стандартизации, как компонентов, так и геометрических размеров [53].

В дальнейшем в исследовании [53] в качестве примера используются руководящие принципы Deutsche Bahn AG, но этот принцип может быть распространен на другие страны с аналогичными собственными руководящими принципами. Аналогичные правила существуют и для дорожной инфраструктуры. Для иллюстрации того, что учитывали в исследовании [53] мы приводим рисунок 29 - типовое сечение однопутной железной дороги, включая соответствующие расстояния. При этом уловный локомотив движется с большой скоростью и может тянуть за собой состав вагонов. Последнее требует расчетов (и проверок) радиусов разворотов (рисунок 30). При этом, чем выше скорость поезда (чего необходимо добиваться) - тем больше сложностей.

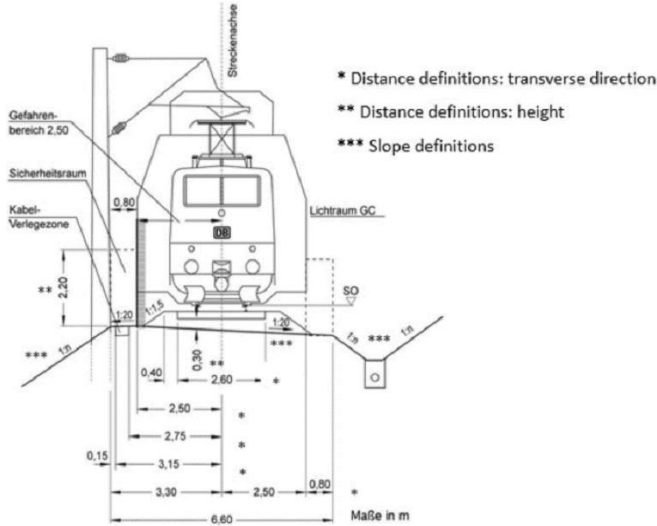


Рис. 29. Типовое сечение однопутной железной дороги, включая соответствующие расстояния [51].

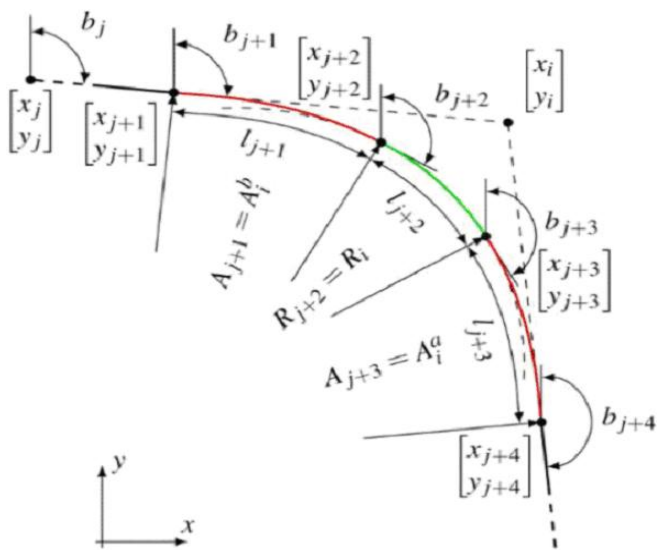


Рис. 30. Различные типы сегментов по горизонтали: прямые элементы - черным, переходные кривые - красным, дуги окружности - зеленым [51].

VIII BIM в России: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРОПОЛИТЕНОВ В РОССИИ

В продвижении технологий BIM произошли существенные продвижения. Так, с 2019 года термин «информационное моделирование объекта капитального строительства» закреплен в Градостроительном кодексе Российской Федерации. В сентябре 2020 года глава правительства РФ М. Мишустин утвердил правила формирования и ведения BIM. Ожидается, что с этим документом российская строительная отрасль начнет видоизменяться намного активнее. Однако, эксперты считают, что это лишь зеленый свет технологиям, но не всеобщая практика [55].

Также благодаря инициативе Минстроя с 2023 года бюджетные объекты, чья смета превышает 500 млн. рублей, в законодательном порядке должны использовать BIM [55]. Фактически, как только будет принят закон о BIM проектировании, где четко будет прописан регламент прохождения информационной модели через госэкспертизу для разрешения на строительство, развитие будет стремительным и на федеральных уровнях.

В данный момент формируется правовая база для внедрения BIM: в документ «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» от 1 октября внесены изменения, до конца 2020 года должны быть полностью готовы классификационные таблицы, плюс, около еще 7 документов по стандартизации BIM в работе [55].

BIM в российскую строительную сферу пришел с большим запозданием, по сравнению и с Западом и с Востоком. То же самое касается и City Information Modelling (CIM) — городского информационного моделирования. Эту технологию применяют пока лишь коммерческие заказчики, государственной нормативной базы по ней также нет. Однако создание цифровых двойников города — очень перспективно и эффективно, особенно для крупных городов, где можно смоделировать развитие городской инфраструктуры, управлять разными сферами города — экологической, культурной, спортивной и т.д. [55].

По предварительным планам, завершение стандартизации правовой базы и технической для информационного моделирования на госуровне произойдет к 2023 году. А в 2024 начнется постепенный переход к внедрению BIM на всех объектах капитального строительства в стране [55].

Однако размах строительства городской железной дороги в Москве, мало чем уступает проектам Парижа или Шанхая и, во многом, развивается по тем же принципам. Например, принцип пешей доступности до станций метро вполне соответствует принципам TOD, а присоединение к системе городской железной дороге ранее удаленных или не существовавших городских районов (Новая Москва) происходит также аналогичным способом. Однако так как сам термин городская железная дорога не закреплен, то его можно

трактовать по-разному. Так в Шанхае в него могут включать маглев (поезд на магнитной подушке), а в Москве – монорельс или присоединенный в декабре 2020 года к московскому метрополитену городской трамвай [56].

Между тем в конце 2020 года появились сообщения о широком и всестороннем применении BIM в строительстве линий московского метро [57].

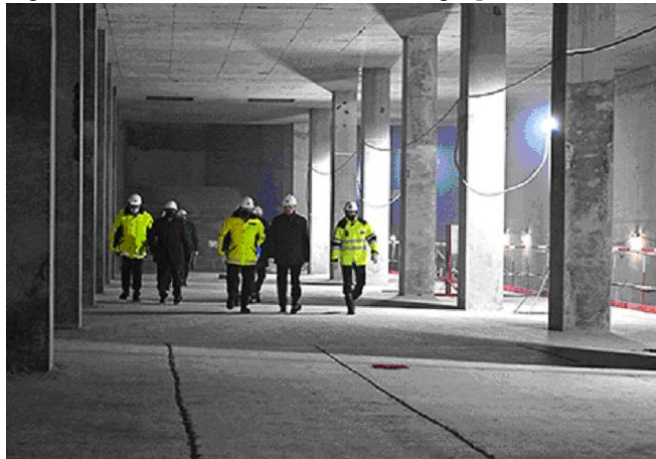


Рис. 31. Мэр С. Собянин на строящейся станции "Славянский мир" Троицкая радиальная ветка метро [57] Фото stroi.mos.ru.

Планы по строительству линии метро прямо в центр Новой Москвы еще 10 лет назад казались фантастикой. Сейчас Троицкая радиальная ветка метро, которая соединит ТиНАО с Москвой в ее исторических границах, приобретает реальные очертания. Об этом сообщил лично курирующий строительство ключевых объектов города мэр С. Собянин. Троицкая линия стал первым в России объектом метрополитена, полностью запроектированным с помощью передовой технологии информационного моделирования [57]. На рисунке 31 можно видеть мэра Сергея Собянина на строящейся станции "Славянский мир" Троицкой радиальной ветки метро, что свидетельствует о большом внимании руководства города к инновациям в строительстве метрополитенов.

«BIM (от английского Building Information Model) позволяет выдерживать высокий темп проектирования и ввода объектов в эксплуатацию, который задает городской заказчик, дает возможность создавать проекты бескомпромиссного качества, полностью соответствующие высоким техническим и эстетическим требованиям, предъявляемым к современному метро», – объясняет Анна Меркулова, генеральный директор группы компаний «Моспроект-3». Именно ее команда инженеров запроектировала в BIM участок долгожданной ветки [57].

Значительная часть новой 40-километровой ветки пройдет по районам Москвы внутри МКАД: Гагаринскому, Обручевскому, Ломоносовскому, Академическому, Коньково, Теплый Стан и Котловка. В первую очередь ее открытия ждут жители территорий, которые присоединили к Москве в 2012 году – Коммунарки, Щербинки, Троицка, поселка Мосрентген и других. Уже сейчас здесь проживают больше 600 тыс.

человек. Через пять-шесть лет ожидается увеличение населения почти вдвое. Сегодня москвичи Троицкого и Новомосковского административных округов уже пользуются восьмью станциями Калининско-Солнцевской и Сокольнической линий, которые продлили на присоединенные территории [57].

Строительство новой ветки с 16 станциями стартовало в 2019 году. Троицкая линия возьмет начало от «Крымской» (МЦК), далее через «Академическую» пересечется с Калужско-Рижской, Большой кольцевой линией – на «Улице Новаторов», и с Сокольнической в Коммунарке. Ее конечная станция расположится на Октябрьском проспекте Троицка. Именно за такой вариант расположения станций подземки проголосовали горожане на портале «Активный гражданин».

В реализации масштабного проекта одновременно участвуют несколько крупных компаний, строительных и проектных. Так, участок из пяти станций – «Улица Новаторов», «Университет дружбы народов», «Улица генерала Тюленева», «Славянский мир» и «Мамыри» разработали специалисты группы компаний «Моспроект-3». По состоянию на осень-зиму 2020 года, как ранее отметил мэр Москвы Сергея Собянин, строительные работы развернуты на всем отрезке от МЦК до Коммунарки [57]. Выход тоннелепроходческого щита на станции "Улица Новаторов" можно увидеть на рисунке 32.



Рис. 32. Выход тоннелепроходческого щита на станции "Улица Новаторов". Троицкая радиальная ветка метро [57] Фото stroi.mos.ru.

Специалисты «Моспроект-3» активно применяют цифровые технологии, что позволяет учесть при моделировании объекта мельчайшие детали. Например, на станции «Славянский мир» 90% ключевых разделов, включая инженерные системы водоснабжения, водоотведения, вентиляции, кабельные трассы и т.п., выполнены с использованием трехмерных технологий информационного моделирования. «На этапе проектирования мы можем решить вопросы взаимной увязки систем между собой и с конструкциями станции, которые при проектировании в плоскости, на классических чертежах, выявить невозможно» – вводит в курс дела Анна Меркулова [57].

Эксперты убеждены, что за BIM-технологиями будущее: они все шире применяются в проектировании

сложных инженерных сооружений. Их использование существенно удешевляет как строительство, так и последующую эксплуатацию объекта, а созданную информационную базу можно использовать на всем жизненном цикле, как самого объекта, так и смежных с ним строений. «Моспроект-3» одним из первых в России освоил это перспективное направление. В прошлом году группе компаний присвоено звание «BIM-лидер в инфраструктуре» [57].

Строительство Большой кольцевой линии метро (БКЛ) – одна из ключевых задач, которую поставил мэр Москвы С. Собянин перед столичным стройкомплексом (рисунок 34). Новая ветка разгрузит радиальные линии метрополитена на 10-30%, тем самым существенно увеличится пропускная способность подземки. До конца года планируются к завершению западный и северо-восточный участки, в 2021 году будут построены и введены в эксплуатацию 9 станций БКЛ. Полностью замкнуть кольцо власти мегаполиса намерены уже к началу 2023 года [58].



Рис. 33. С. Собянин на строящейся станции БКЛ "Рижская" [58], <https://stroj.mos.ru>

Генеральный директор "Моспроект-3" Анна Меркулова рассказывает, что это строительство в условиях плотно застроенного мегаполиса, сложная геология и обширная транспортная система потребовали от инженеров-проектировщиков нестандартного подхода.

"В этом нам сильно помогли современные технологии, которые мы используем, – говорит Меркулова. – Они позволяют форсировать программу метростроения, сохраняя качество работ и безопасность столичной подземки".

К таким технологиям в проектировании относится BIM-моделирование – построение цифровой модели будущего объекта. Крупнейший в мире поставщик программного обеспечения для промышленного и гражданского строительства Autodesk признал "Моспроект-3" "BIM-лидером в инфраструктуре" [58].

Примечательно, что известный апологет BIM компания Zaha Hadid Architects выиграла один из конкурсов московских метро [59], что открывает возможности обучиться самым передовым методам строительства городских железных дорог, как это было в Шанхае и Эр-Рияде.



Рис. 34. Выигравшее предложение Zaha Hadid Architects по проекту станции Кленовый бульвар 2 в Москве – Павильон [59].

Zaha Hadid Architects была объявлена одним из двух победителей конкурса на проектирование станций метро в Москве (рисунок 34).

BIM находит все большее распространение в железнодорожной сфере по всему миру. Ряд национальных железнодорожных организаций объявили BIM обязательным шагом вперед в улучшении качества проектирования и строительства при одновременном сокращении проектных затрат и задержек. Для достижения этих целей такие организации публикуют генеральные планы и / или определяют обязательные стандарты. К ним относятся Китайские железные дороги, корейские железные дороги, французские железные дороги, швейцарские железные дороги, итальянские железные дороги, шведские, датские, норвежские и финские железные дороги и немецкие железные дороги. BIM является обязательным для проектов DB Station & Service AG с 2017 года. Это первая компания в группе Deutsche Bahn AG, выпустившая стандартизированные «Рекомендации по применению методологии BIM» для предоставления услуг по планированию и строительству на основе моделей [53].

В России также сделан первый шаг в направлении стандартизации городских железных дорог Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии России опубликовало первую часть национального стандарта для метрополитена, который разработан на основе опыта Московского метрополитена [60].

56 терминов определены как основные и включены в финальную редакцию концепции единого стандарта метро [61]. Утвержденный ранее приказом Росстандарта ГОСТ - российский свод стандартов, утвержденных правительством, «Системы метро. Основные термины и определения» был введен 1 ноября 2020 года [6159]. Подготовка документа, которая проходила под руководством Московского метрополитена, длилась более 30 месяцев.

Принятие ГОСТа - это первый этап программы, принятой Техническим комитетом по стандартизации метрополитена, созданной по инициативе компании Московский метрополитен. Документ станет основой для дальнейшей деятельности комитета.

Для выработки единой и независимой нормативно-технической базы было две причины, характерные для

метро как городского транспорта, и отсутствие единых национальных стандартов. С этой целью в 2017 году был создан Технический комитет по стандартизации «Системы метро». Помимо разработки терминов и определений, Комитет отвечает за разработку стандартов в области информационных технологий, обслуживания пассажиров, транспортной безопасности и других сфер деятельности метро.

Подготовка национального стандарта для метрополитена в условиях трудностей, от которых пострадали Россия и мир, продемонстрировала необходимость поэтапного перевода всех этапов разработки и утверждения стандартов в электронный формат. Это позволит исключить вмешательство во взаимодействие технических комитетов и органов власти, а также повысить эффективность всех агентов, ответственных за процесс стандартизации. Таким образом, национальный стандарт призван создать новые возможности для развития метрополитена с учетом негативного эпидемиологического фона.

«Стандартизация действительно важна для городских железных дорог, так как она может создавать общие спецификации, которые заставляют производителей производить совместимые продукты, что, в свою очередь, может привести к удешевлению продуктов и уменьшению привязки к поставщикам. Хорошо разработанные стандарты также могут улучшить железнодорожные системы, например, для повышения безопасности. Хорошие стандарты всегда должны быть адекватными и не создавать ненужного бремени и затрат. В этом отношении инициатива в России, которая признает специфику метро как городского транспорта, отказываясь от рассмотрения их как неотъемлемой части железнодорожного транспорта, кажется позитивным событием», - сказал Ив Амслер, эксперт Департамента стандартизации ЕС UITP [60].

В настоящее время в городах России действует семь систем метро. Московский метрополитен - одна из крупнейших систем метро в мире, включающая 789 км путей (17 линий), обслуживаемых 335 станциями. Ведутся работы и разрабатываются планы удвоения протяженности к 2023 году.

IX ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практически все страны, перечисленные выше как принявшие железнодорожные стандарты, активные участники создания кандидата в стандарты *IfcRail* (BuildingSMART International) и строят свою стандартизацию на его основе. Такие возможности есть и в России. Базовый стандарт IFC принят в России и по инициативе Росатома открыто национальное отделение BuildingSMART. Конечно, для стандартов метро также необходим независимый от производителей (как и все стандарты BuildingSMART International) стандарт на туннели (*IfcTunnel*), который в форме кандидата в стандарты ожидается к опубликованию в ближайшее время [28-31].

Несмотря на то, что разработка *IfcRail* все еще

продолжается, версия IFC4x1 экземпляров моделей IFC (самая последняя окончательная версия схемы) уже может использоваться для многочисленных автоматических проверок правил в проектировании железных дорог. Например, выравнивание описывается в модели данных IFC его горизонтальными сегментами в плоскости xy и соответствующими вертикальными сегментами в системе координат проекции (s, z) [53]. Кроме того, можно размещать объекты *IfcReferent* в определенных местах вдоль оси выравнивания и прикреплять к ним пользовательские наборы свойств. Параметры в этих наборах свойств не определены в схеме данных и предоставляют разработчику моделей очень гибкий метод передачи атрибутов, специфичных для проекта или организации. Обратной стороной является то, что любая гибкость в схеме данных также требует специальной обработки определенных пользователем нестандартных свойств, которые также должны быть специально адресованы для процессов импорта, что значительно затрудняет автоматическую интерпретацию. Тем не менее, эта способность динамически расширять схему с помощью дополнительной семантики является полезной функцией IFC, позволяя тестировать дополнительные правила [53].

Все эти стандарты BuildingSMART International позволяют стоять открытым большой BIM, который уже сегодня позволяет решать множество задач невозможных к реализации вчера и завтра их число также будет больше чем сегодня.

Хотя не существует только одного четко определенного метода проектирования с поддержкой BIM, существует различие между «открытым» и «закрытым» BIM, «большим» или «маленьким» BIM и их комбинациями. «Открытый» BIM означает, что могут использоваться открытые форматы обмена данными и различные поставщики программ, тогда как «закрытый» BIM основан на программном обеспечении производителя и формат обмена остается ограниченным. «Маленький» BIM означает только частичное использование метода BIM отдельными пользователями, например, использование только программных пакетов. Напротив, «большой» BIM относится к непрерывному использованию BIM во всех дисциплинах и на протяжении всего срока службы здания [62].

Комбинация «Little closed BIM» описывает минимальное взаимодействие BIM только с отдельными BIM-совместимыми программами. Однако с «большим закрытым BIM» задействовано несколько специализаций проектирования, и то же программное обеспечение используется внутри компании. «Маленький открытый BIM» определяет обмен данными через открытый формат обмена, но только между несколькими дизайнерами. Наиболее масштабное сотрудничество в области BIM - это «Big open BIM», полный процесс BIM, в котором используется формат открытого обмена [62]. Как выглядит путь от «маленького» BIM к «большому» BIM можно увидеть на

рисунке 35.

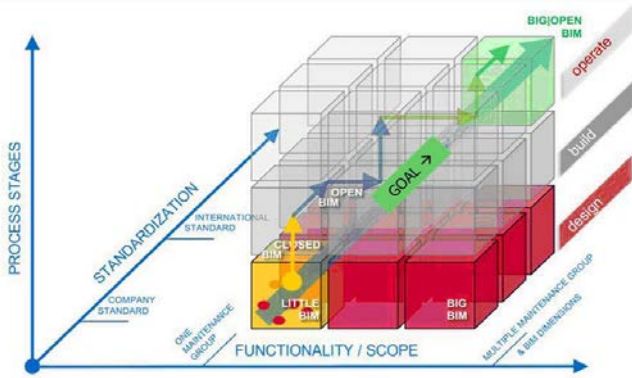


Рис. 35. От «маленького» BIM к «большому» BIM (источник -BuildingSMART International)

С ростом и развитием технологии и методологии BIM, BIM имеет различные, но еще незавершенные, все еще растущие аспекты использования. BIM как метод имеет инструменты, которыми нужно управлять, что означает, что, с одной стороны, BIM зависит от технологии. Благодаря развитию технологий, а также новым идеям об использовании BIM, появятся новые возможности. В зависимости от использования, предоставленных и содержащихся данных BIM имеет размеры [15].

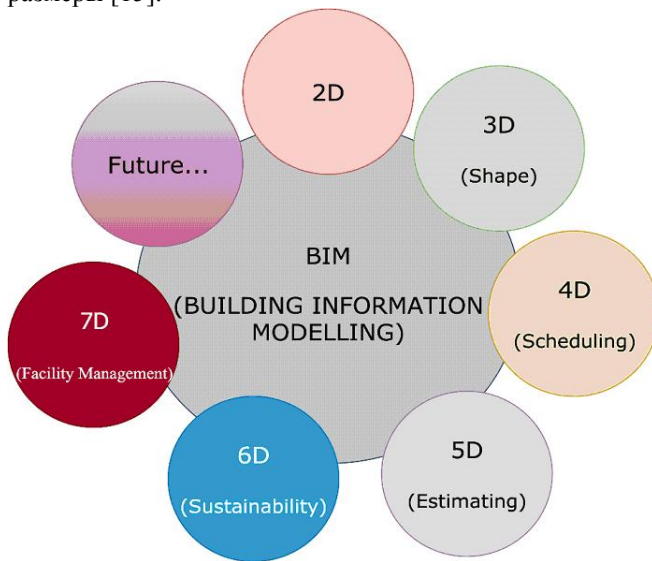


Рис. 36. Размерности BIM [15].

3D относится к географическим размерностям. Рост технологий и изобретения компьютеров позволяет нам моделировать 3D-модели. Это не означает, что в прошлом рисовать структуры в 3D не было невозможным, но благодаря технологиям эта операция стала легко управляемой. Это измерение позволяет участникам проектировать 3D и видеть результат конструкции даже до начала этапа строительства. 3D-моделирование позволяет участникам сотрудничать, обмениваться информацией, проверять проблемы и избегать будущих проблем с точки зрения моделирования. 4D относится к добавлению нового измерения в информационное моделирование здания. Это измерение связано со временем. Планирование времени является частью подхода к управлению

строительством. Таким образом, можно оценить дату завершения проекта. Чтобы сделать ставку на строительный объект, это важный аспект. Потому что время также связано со стоимостью [15]. На рисунке 36 мы приводим Размерности BIM

Другое использование этого: планирование этапов строительства. Своевременное запланированное строительство ведет к очень хорошему исполнению, избежанию рисков и отсутствию проблем. 5D относится к оценке затрат и контролю бюджета. Оценка стоимости чрезвычайно важна для строительного проекта. Чтобы подать заявку на строительство, необходимо с высокой точностью произвести расчет стоимости. В противном случае реализация проекта станет действительно проблематичной. Также для управления проектом очень важен бюджетный контроль. Чтобы строительство продолжалось, необходимо тщательно спланировать расходы. Кроме того, отчеты о расходах должны быть составлены после расходования и должны быть проанализированы. 6D относится к устойчивости строительного проекта. Устойчивость - ключевая проблема современного мира. Для строительных проектов стоимость и время больше не являются единственными ключевыми вопросами, потребление энергии теперь играет важную роль. Анализируя потребление энергии, можно точно рассчитать использование энергии на начальном этапе, а также на последующих этапах строительства. Это также помогает снизить затраты и обеспечивает более быстрое производство. Эффективное использование инструментов для строительства ведет к строительству скважин, а также к лучшему для мира, с точки зрения окружающей среды. Это измерение также способствует будущему сооружению с точки зрения управления объектом и эффективного потребления энергии. 7D относится к операциям в строительном проекте и управлении объектами. Для менеджеров и собственников ответственность не закончилась с завершением этапа строительства. Их ответственность сохраняется, сохраняя структуру такой, какой она была в первые дни постройки. Отслеживание плана технического обслуживания, спецификаций, информации о гарантии и их эффективное использование в течение жизненного цикла является ключевым аспектом для управления предприятием. 7D помогает участникам выполнить эти процедуры [15]. Опираясь на сказанное выше, мы попробуем представить читателям контуры большого BIM в теме городских железных дорог, основанные на последних публикациях.

Хотя информационное моделирование зданий (BIM) продемонстрировало, что является эффективным инструментом для строительства городского железнодорожного транспорта во всем мире, оно не приобрело такой же популярности в управлении объектами (FM) городского железнодорожного транспорта. Целью данного исследования является изучение областей применения BIM для FM в городском железнодорожном транспорте с точки зрения теории

распространения инноваций, чтобы обеспечить эффективную эксплуатацию и техническое обслуживание (O&M) в городском железнодорожном транспорте. В ходе полуструктурированных интервью было впервые выявлено 18 областей применения BIM [61].

Метро, типичный тип городского подземного пространства (UUS), является наиболее часто используемым видом общественного транспорта и постепенно становится незаменимым компонентом больших городов. С быстрым развитием городов, развитие, ориентированное на транзит (TOD), постепенно становится новой городской моделью [64]. Метро, получившее название «магистраль городского развития», соединяет городские районы, уменьшает

заторы на дорогах и обеспечивает узловые точки и торговые центры в подземной сети [5,6,7]. По сравнению с автомобилями и автобусами, метро является видом транспорта с низким содержанием углерода и имеет решающее значение для достижения климатических целей. Сегодня огромное количество пассажиров и ограниченное количество объектов метро вызывают ухудшение внутренней среды метро, особенно в часы пик. В Китае ежедневный пассажиропоток метро Пекина и Шанхая превышает 10 миллионов человек. Как следствие, теснота и переполненность метро несут потенциальные риски для здоровья и могут вызывать острые и хронические проблемы со здоровьем, а также передавать эпидемические заболевания [64].

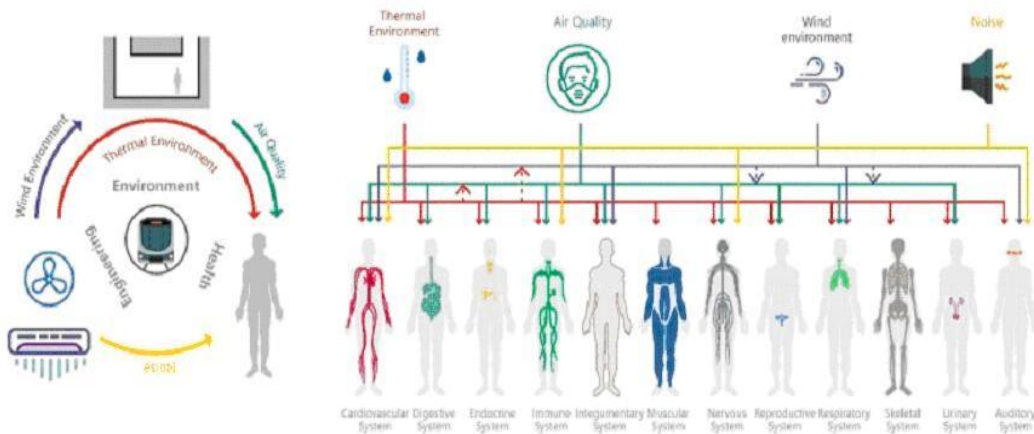


Рис. 37. Механизм влияния вентиляции метрополитена на здоровье окружающей среды [64].

На рисунке 37 можно увидеть механизм влияния вентиляции метрополитена на здоровье окружающей среды. В улучшении здоровья этой среды решения и информация BIM, также могут оказать существенную помощь.

Возможности большого BIM к плодотворному и экономически выгодному сотрудничеству новыми технологиями мы проиллюстрируем двумя следующими примерами:

1. Методы BIM, машинного обучения и компьютерного зрения в подземном строительстве: текущее состояние и перспективы на будущее описаны в работе [65].

2. Аудит устойчивости и уязвимости станций метро с помощью цифрового двойника рассматриваются в работе [66].

Таким образом, можно получить немало выгод применяя решения BIM для городских железных дорог и метрополитенов, а также для реализации принципов TOD, используя открытые стандарты, ведущие к большому BIM.

БИБЛИОГРАФИЯ

[1] Транзитно-ориентированное проектирование WIKI <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%B%D0%B7%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE-%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%B%D0%B8%D0%B5>

%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%B%D0%B7%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%B%D0%B8%D0%B5

[2] Institute for Transportation and Development Policy TOD Standard, 3rd ed. New York: ITDP, 2017. <http://www.itdp.org>.
 [3] Zamolodchikov D. et al. Comfortable environment and resources for passenger stations in the lifecycle of digital railways assets //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 3. – С. 100-116.
 [4] NEA Transport research and training. (2003). Integration and Regulatory Structures in Public Transport. Final Report. Rijswijk <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.196.719&rep=rep1&type=pdf>
 [5] Zimmerman, S., and Fang, K. (2015). Public Transport Service Optimization and System Integration. China Transport Topics. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23489>
 [6] Newman, P. G., and Kenworthy, J. R. (1989). Cities and Automobile Dependence: A Sourcebook (First). Brookfield, VT United States: Gower Publishing. <https://doi.org/10.1080/00420989120080261>.
 [7] Sung, H., and Oh, J. T. (2011). Transit-oriented development in a high-density city: Identifying its association with transit ridership in Seoul, Korea. Cities, 28(1), 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2010.09.004>
 [8] Namiot D. et al. Pedestrians in the Smart City //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С. 15-21.
 [9] EUROPEAN RAILWAY STATION INDEX 2020 <https://consumerchoicecenter.org/european-railway-station-index-2020/>
 [10] Namiot D. et al. On the assessment of socio-economic effects of the city railway //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – Т. 6. – №. 1. – С. 92-103.
 [11] As the Impacts of Coronavirus Grow, Micromobility <https://www.itdp.org/2020/03/24/as-the-impacts-of-coronavirus-grow-micromobility-fills-in-the-gaps/>
 [12] Железнодорожный транспорт в России <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B5%D0%BB%D0%B5>

- %D0%B7%D0%BD%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82_%D0%B2_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8
- [13] Huahui Lai, MEng Xueyuan Deng, PhD, CEng, MICE Hong Chen, BEng Pingwang Shi, MEng Implementation of building information modelling standards for the Shanghai Metro, China Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer List of Issues Volume 173, Issue 3, 2020, <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/full/10.1680/jmuen.18.00040>
- [14] Патентный ландшафт Умный город, #ПроектныйОфисФИПС, 2019, <https://robopravo.ru/>
- [15] Mahmut Koray Oskay, BIM model coordination and code checking. Paris underground station. Rel. Anna Osello, Arianna Fonsati. Politecnico di Torino, Corso di laurea magistrale in Ingegneria Civile, 2019, <https://webthesis.biblio.polito.it/13049/>
- [16] Pulido, Daniel, Georges Darido, Ramon MunozRaskin, and Joanna Moody, editors. 2018. The Urban Rail Development Handbook. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-1272-9. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO <https://ppiaf.org/documents/5532/download>
- [17] WORLD METRO FIGURES © UITP 2018 https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/06/Statistics-Brief-World-metro-figures-2018V3_WEB.pdf
- [18] Transition towards urban sustainability through socially integrative cities in the EU and in China (TRANS-URBAN-EU-CHINA) <https://cordis.europa.eu/project/id/770141>
- [19] Urban rail transit in China https://en.wikipedia.org/wiki/Urban_rail_transit_in_China
- [20] Shanghai Metro https://en.wikipedia.org/wiki/Shanghai_Metro
- [21] Shanghai Metro <https://www.travelchinaguide.com/cityguides/shanghai/transportation/subway.htm>
- [22] Zhang, Linlin (2019) Traffic Congestion Reduction and Smart City Strategy - A Case Study in Shenzhen, China ,University of Twente Theses, <https://essay.utwente.nl/79553/>
- [23] Kupriyanovsky V. et al. Bandwidth and economy of the digital railway in the transformation of signaling and train control //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 3. – С. 117-132.
- [24] Kupriyanovsky V. P. et al. Economics of innovations for digital railways. Experience in the UK //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 3. – С. 79-99.
- [25] Kupriyanovsky V. et al. On intelligent mobility in the digital economy //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 2. – С. 46-63.
- [26] Kupriyanovsky V. et al. The new paradigm of the digital railway–assets life cycle standardization //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 2. – С. 64-84.
- [27] Sinyagov S. et al. Building and Engineering Based on BIM Standards as the Basis for Transforming Infrastructures in the Digital Economy //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 5. – С. 46-79.
- [28] Sokolov I. et al. On opportunities for the development of the digital railway as a base for a multimodal transport system of smart cities in the digital economy //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Т. 5. – №. 12. – С. 60-76.
- [29] Kupriyanovsky V. et al. Digital twins based on the development of BIM technologies, related ontologies, 5G, IoT, and mixed reality for use in infrastructure projects and IFRABIM //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 3. – С. 55-74.
- [30] Kupriyanovsky V. et al. BIM on the world's railways-development, examples, and standards //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 5. – С. 57-80.
- [31] Kupriyanovsky V. et al. BIM on the way to IFC5-alignment and development of IFC semantics and ontologies with UML and OWL for road and rail structures, bridges, tunnels, ports, and waterways //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 8. – С. 69-78.
- [32] Kupriyanovsky V. et al. BIM Technologies for Tunnels Used in Subways, Railways, Highways, and Hyperloop-IFC-Driven Real-Time Systems and Disruptive Innovation //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 9. – С. 70-93.
- [33] Казаринов А. В., Куприяновский В. П., Талапов В. В. Международный опыт и тенденции развития технологии информационного моделирования применительно к жизненному циклу объектов железнодорожной инфраструктуры //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 12.
- [34] Куприяновский В. П. и др. Технологии цифровых близнецов в транспортных коридорах для морских и водных путей в России //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – №. 12.
- [35] BIM adoption in China: 3 projects implemented with BIM <https://biblus.accasoftware.com/en/bim-adoption-in-china-3-projects-implemented-with-bim/>
- [36] Yingnan Yang , Yidan Zhang 1, and Hongming Xie, Exploring Cultivation Path of Building Information Modelling in China: An Analysis from the Perspective of an Innovation Ecosystem ,Sustainability 2020, 12, 6902; doi:10.3390/su12176902 www.mdpi.com/journal/sustainability
- [37] MEWAIL GIDEY , OPPORTUNITIES OF PLATFORM BUSINESS MODELS IN CONSTRUCTION , BIM A+ ,Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2020 <https://bimaplus.org/dissertations/>
- [38] Sara A. Ben Lashihar, The Urban and Architectural Design of the MONZA FS Station (Milan Metro Line 5 – New Extension to Monza), POLITECNICO DI MILANO , BIM +, a.a. 2019/2020 https://bimaplus.org/wp-content/uploads/2020/10/2020-SaraLashihar-Dissertation_compressed.pdf
- [39] Zhou, Jingjing ,Accessibility to Metro of Affordable and Commercial Housing Complexes in Shanghai, Columbia University, 2019 <https://academiccommons.columbia.edu/doi/10.7916/d8-20p5-za04>
- [40] Huahui Lai, MEng Xueyuan Deng, PhD, CEng, MICE Hong Chen, BEng Pingwang Shi, MEng. Implementation of building information modelling standards for the Shanghai Metro, China, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer List of Issues Volume 173, Issue 3, 2020, <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/full/10.1680/jmuen.18.00040>
- [41] Xiamen, <https://en.wikipedia.org/wiki/Xiamen>
- [42] Сямыньский метрополитен, https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%8F%D0%BC%D1%8B%D0%BD%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BD
- [43] SHANG HAI CHENG JIAN XIN XI KE JI YOU XIAN GONG SI BIAN XIA MEN GUI DAO JIAO TONG JI TUAN YOU XIAN GONG, Xiamen Metro BIM technology innovation and application of practice(Chinese Edition) (Chinese) ,Tongji University , June 1, 2019 <https://www.amazon.com/technology-innovation-application-practice-Chinese/dp/7560885233>
- [44] Tong Geng ,BIM Technology in Underground Transportation Engineering, Metropolia University of Applied Sciences ,30 March 2019, <https://core.ac.uk/download/pdf/294817393.pdf>
- [45] KAFD metro station, Riyadh - Complex design demands bespoke solution, 25 February 2018 | By Stephen Cousins, <https://www.bimplus.co.uk/projects/complex-design-demands-bespoke-approach/>
- [46] TER4RAIL Deliverable D 3.1- Data Studies Handbook - including: D3.1.1 “Metro ridership and infrastructure data set collection” D3.1.2 “Light Rail data set collection” D3.1.3 “Freight and Logistics data set collection” D3.1.4 “Social, environmental, economic variables data set collection” TER4RAIL 2020, https://ter4rail.eu/wp-content/uploads/2020/03/TER4RAIL_D31_Data-Studies-Handbook.pdf
- [47] THE GRAND PARIS PROJECT: INVENTING THE CITY OF TOMORROW, https://www.vinci.com/publi/vinci/thematiques/grand_paris-en.pdf
- [48] The 15-minute infrastructure trend that could change public transit as we know it, <https://360.here.com/15-minute-cities-infrastructure>
- [49] Grand Paris Express - extending the Paris metro into the suburbs, <https://www.arcadis.com/en/global/what-we-do/our-projects/europe/france/extending-the-paris-suburban-metro/>
- [50] Nicholas Nisbet ,Application forms: Common information requirements for automated compliance checking, Technical Report No. TR 1013, buildingSMART International Regulatory Room,Version 1: published 2019-08-01, <https://buildingsmart-1xbd3ajdayi.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2020/07/buildingSMART-RR-Forms-TR13-Final-Aug-2019.pdf>
- [51] Malsane, Sagar (2015) The application of automated rule checking to existing UK building regulations using BIM technologies. Doctoral thesis, Northumbria University. This version was downloaded from Northumbria Research Link: <http://nrl.northumbria.ac.uk/25328/>

- [52] Jinaliben Shah ACTIVE RULE EXECUTION IN GRAPH DATABASES, California State University, Sacramento, 2019 <https://scholarworks.calstate.edu/concern/theses/0r967418r>
- [53] Marco Häußler, Sebastian Esser, André Borrmann, Code compliance checking of railway designs by integrating BIM, BPMN and DMN, Automation in Construction Volume 121, January 2021, 103427 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580520310074>
- [54] C.C.A. Hendriks, A Conceptual Integrated Parametric Design Tool for Excavation Sites , Delft University of Technology, 2018, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A7e8c8b7a-12e9-42c3-908e-0ca476cbb236>
- [55] BIM в России: перспективы развития 9 ноября, 2020, <https://www.planradar.com/ru/bim-v-rossii/>
- [56] Moscow Metro to manage city's tram network, December 3, 2020, <https://www.railwaypro.com/wp/moscow-metro-to-manage-citys-tram-network/>
- [57] На метро из Троицка до центра – реальность Москвы 2024, Независимая газета 25.12.2020 https://www.ng.ru/moscow/2020-12-25/100_154325122020.html
- [58] Как BIM-моделируют московское метро, 15 декабря 2020, <https://www.vesti.ru/article/2498768>
- [59] Zaha Hadid Architects wins Moscow metro competition, By Elizabeth Hopkirk2 September 2020 <https://www.bdonline.co.uk/news/zaha-hadid-architects-wins-moscow-metro-competition/5107740.article>
- [60] Russia proposes a national standard for metro systems November 13, 2020 <https://www.railwaypro.com/wp/russia-proposes-a-national-standard-for-metro-systems/>
- [61] ГОСТ Р 58897-2020 Метрополитены. Основные термины и определения, https://allgosts.ru/01/020/gost_r_58897-2020
- [62] ORJOLA BRAHOLLI Automated procedures for LCA analysis on a BIM project, POLITECNICO DI MILANO, 2020 <https://bimaplus.org/dissertations/>
- [63] Xiaodong Xu, Guangbin Wang, Dongping Cao, Zhuqing Zhang, "BIM Adoption for Facility Management in Urban Rail Transit: An Innovation Diffusion Theory Perspective", Advances in Civil Engineering, vol. 2020, Article ID 8864221, 12 pages, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8864221>
- [64] Yueming Wen, Jiawei Leng, Xiaobing Shen, Gang Han, Lijun Sun,1 and Fei Yu, Environmental and Health Effects of Ventilation in Subway Stations: A Literature Review, Int J Environ Res Public Health. 2020 Feb; 17(3): 1084. Published online 2020 Feb 8. doi: 10.3390/ijerph17031084
- [65] M.Q. Huang, BIM, machine learning and computer vision techniques in underground construction: Current status and future perspectives, Tunnelling and Underground Space Technology, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103677>
- [66] Sakdirat Kaewunruen, OrcID, Shijie Peng and Olisa Phil-Ebosie Digital Twin Aided Sustainability and Vulnerability Audit for Subway Stations, Sustainability 2020, 12(19), 7873; <https://doi.org/10.3390/su12197873>

Information modeling (BIM), subways, urban railways, and stations in the transport and urban environment in the ideology of transit orientation of urban development

Vasily Kupriyanovsky, Oleg Pokusaev, Vladimir Talapov, Alexander Semochkin

Abstract— In this article, we continue a series of studies on the application (use) of information modeling (BIM) systems. The work deals with the use of BIM in the design of metro lines. Well-integrated transit and territorial development create urban forms and spaces that reduce the need for private vehicles. Areas with good access to public transport and well-designed urban spaces accessible to pedestrians and cyclists are becoming very attractive places to live, work, study, play, and socialize. This environment enhances the city's economic competitiveness, reduces local pollution and global greenhouse gas emissions, and promotes inclusive development. In this development, urban railways and subways stand out, creating the basic infrastructure for the transit orientation of TOD urban development. Using a number of examples, the use of BIM in such design in Russia and the world is considered. It discusses the distinction between so-called “small” BIM, meaning only partial use of the approach by individual users, and “large” BIM, which refers to the continuous use of BIM across all disciplines and throughout the life of a structure.

Keywords— BIM, metro, Smart City.

REFERENCES

- [1]Tranzitno-orientirovanoe proektirovanie WIKI https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE-%D0%BE%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5
- [2]Institute for Transportation and Development Policy TOD Standard, 3rd ed. New York: ITDP, 2017. <http://www.itdp.org>.
- [3]Zamolodchikov D. et al. Comfortable environment and resources for passenger stations in the lifecycle of digital railways assets //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 3. – S. 100-116.
- [4]NEA Transport research and training. (2003). Integration and Regulatory Structures in Public Transport. Final Report. Rijswijk <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.196.719&rep=rep1&type=pdf>
- [5]Zimmerman, S., and Fang, K. (2015). Public Transport Service Optimization and System Integration. China Transport Topics. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23489>
- [6]Newman, P. G., and Kenworthy, J. R. (1989). Cities and Automobile Dependence: A Sourcebook (First). Brookfield, VT United States: Gower Publishing. <https://doi.org/10.1080/00420989120080261>.
- [7]Sung, H., and Oh, J. T. (2011). Transit-oriented development in a high-density city: Identifying its association with transit ridership in Seoul, Korea. Cities, 28(1), 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2010.09.004>
- [8]Namiot D. et al. Pedestrians in the Smart City //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – T. 4. – #. 10. – S. 15-21.
- [9]EUROPEAN RAILWAY STATION INDEX 2020 <https://consumerchoicecenter.org/european-railway-station-index-2020/>
- [10] Namiot D. et al. On the assessment of socio-economic effects of the city railway //International Journal of Open Information Technologies. – 2018. – T. 6. – #. 1. – S. 92-103.
- [11] As the Impacts of Coronavirus Grow, Micromobility <https://www.itdp.org/2020/03/24/as-the-impacts-of-coronavirus-grow-micromobility-fills-in-the-gaps/>
- [12] Zheleznodorozhnyj transport v Rossii https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%96%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B6%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82_%D0%B2_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8
- [13] Huahui Lai, MEng Xueyuan Deng, PhD, CEng, MICE Hong Chen, BEng Pingwang Shi, MEng Implementation of building information modelling standards for the Shanghai Metro, China Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer List of Issues Volume 173, Issue 3, 2020, <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/full/10.1680/jmuen.18.00040>
- [14] Patentnyj landshaft Umnyj gorod, #ProektnyjOfisFIPS, 2019, <https://robopravo.ru/>
- [15] Mahmut Koray Oskay, BIM model coordination and code checking. Paris underground station. Rel. Anna Osello, Arianna Fonsati. Politecnico di Torino, Corso di laurea magistrale in Ingegneria Civile, 2019, <https://webthesis.biblio.polito.it/13049/>
- [16] Pulido, Daniel, Georges Darido, Ramon MunozRaskin, and Joanna Moody, editors. 2018. The Urban Rail Development Handbook. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-1272-9. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO <https://ppiaf.org/documents/5532/download>
- [17] WORLD METRO FIGURES © UITP 2018 https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2020/06/Statistics-Brief-World-metro-figures-2018V3_WEB.pdf
- [18] Transition towards urban sustainability through socially integrative cities in the EU and in China (TRANS-URBAN-EU-CHINA) <https://cordis.europa.eu/project/id/770141>
- [19] Urban rail transit in China https://en.wikipedia.org/wiki/Urban_rail_transit_in_China
- [20] Shanghai Metro https://en.wikipedia.org/wiki/Shanghai_Metro
- [21] Shanghai Metro <https://www.travelchinaguide.com/cityguides/shanghai/transportation/subway.htm>
- [22] Zhang, Linlin (2019) Traffic Congestion Reduction and Smart City Strategy - A Case Study in Shenzhen, China, University of Twente Theses, <https://essay.utwente.nl/79553/>
- [23] Kupriyanovsky V. et al. Bandwidth and economy of the digital railway in the transformation of signaling and train control //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 3. – S. 117-132.
- [24] Kupriyanovsky V. P. et al. Economics of innovations for digital railways. Experience in the UK //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 3. – S. 79-99.
- [25] Kupriyanovsky V. et al. On intelligent mobility in the digital economy //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 2. – S. 46-63.
- [26] Kupriyanovsky V. et al. The new paradigm of the digital railway—assets life cycle standardization //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 2. – S. 64-84.
- [27] Sinyagov S. et al. Building and Engineering Based on BIM Standards as the Basis for Transforming Infrastructures in the Digital

- Economy //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 5. – S. 46-79.
- [28] Sokolov I. et al. On opportunities for the development of the digital railway as a base for a multimodal transport system of smart cities in the digital economy //International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – T. 5. – #. 12. – S. 60-76.
- [29] Kupriyanovsky V. et al. Digital twins based on the development of BIM technologies, related ontologies, 5G, IoT, and mixed reality for use in infrastructure projects and IFRABIM //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 3. – S. 55-74.
- [30] Kupriyanovsky V. et al. BIM on the world's railways-development, examples, and standards //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 5. – S. 57-80.
- [31] Kupriyanovsky V. et al. BIM on the way to IFC5-alignment and development of IFC semantics and ontologies with UML and OWL for road and rail structures, bridges, tunnels, ports, and waterways //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 8. – S. 69-78.
- [32] Kupriyanovsky V. et al. BIM Technologies for Tunnels Used in Subways, Railways, Highways, and Hyperloop-IFC-Driven Real-Time Systems and Disruptive Innovation //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 9. – S. 70-93.
- [33] Kazarinov A. V., Kupriyanovskij V. P., Talapov V. V. Mezhdunarodnyj opyt i tendencii razvitiya tehnologij informacionnogo modelirovanija primenitel'no k zhiznennomu ciklu ob"ektov zheleznodorozhnoj infrastruktury //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 12.
- [34] Kupriyanovskij V. P. i dr. Tehnologii cifrovih bliznecov v transportnyh koridorah dlja morskikh i vodnyh putej v Rossii //International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – T. 8. – #. 12.
- [35] BIM adoption in China: 3 projects implemented with BIM <https://biblus.accasoftware.com/en/bim-adoption-in-china-3-projects-implemented-with-bim/>
- [36] Yingnan Yang , Yidan Zhang I, and Hongming Xie, Exploring Cultivation Path of Building Information Modelling in China: An Analysis from the Perspective of an Innovation Ecosystem ,Sustainability 2020, 12, 6902; doi:10.3390/su12176902 www.mdpi.com/journal/sustainability
- [37] MEWAIL GIDEY , OPPORTUNITIES OF PLATFORM BUSINESS MODELS IN CONSTRUCTION , BIM A+ ,Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2020 <https://bimaplus.org/dissertations/>
- [38] Sara A. Ben Lashihar, The Urban and Architectural Design of the MONZA FS Station (Milan Metro Line 5 – New Extension to Monza), POLITECNICO DI MILANO , BIM +, a.a. 2019/2020 https://bimaplus.org/wp-content/uploads/2020/10/2020-SaraLashihar-Dissertation_compressed.pdf
- [39] Zhou, Jingjing ,Accessibility to Metro of Affordable and Commercial Housing Complexes in Shanghai, Columbia University, 2019 <https://academiccommons.columbia.edu/doi/10.7916/d8-20p5-za04>
- [40] Huahui Lai, MEng Xueyuan Deng, PhD, CEng, MICE Hong Chen, BEng Pingwang Shi, MEng, Implementation of building information modelling standards for the Shanghai Metro, China, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer List of Issues Volume 173, Issue 3, 2020, <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/full/10.1680/jmuen.18.00040>
- [41] Xiamen, <https://en.wikipedia.org/wiki/Xiamen>
- [42] Sjamyn'skij metropoliten, https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%8F%D0%BC%D1%8B%D0%BD%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BD
- [43] SHANG HAI CHENG JIAN XIN XI KE JI YOU XIAN GONG SI BIAN XIA MEN GUI DAO JIAO TONG JI TUAN YOU XIAN GONG, Xiamen Metro BIM technology innovation and application of practice(Chinese Edition) (Chinese) ,Tongji University , June 1, 2019 <https://www.amazon.com/technology-innovation-application-practice-Chinese/dp/7560885233>
- [44] Tong Geng ,BIM Technology in Underground Transportation Engineering, Metropolia University of Applied Sciences ,30 March 2019, <https://core.ac.uk/download/pdf/294817393.pdf>
- [45] KAFD metro station, Riyadh - Complex design demands bespoke solution, 25 February 2018 | By Stephen Cousins, <https://www.bimplus.co.uk/projects/complex-design-demands-bespoke-approach/>
- [46] TER4RAIL Deliverable D 3.1- Data Studies Handbook - including: D3.1.1 "Metro ridership and infrastructure data set collection" D3.1.2 "Light Rail data set collection" D3.1.3 "Freight and Logistics data set collection" D3.1.4 "Social, environmental, economic variables data set collection" TER4RAIL 2020, https://ter4rail.eu/wp-content/uploads/2020/03/TER4RAIL_D31_Data-Studies-Handbook.pdf
- [47] THE GRAND PARIS PROJECT: INVENTING THE CITY OF TOMORROW, https://www.vinci.com/publi/vinci/thematiques/grand_paris-en.pdf
- [48] The 15-minute infrastructure trend that could change public transit as we know it, <https://360.here.com/15-minute-cities-infrastructure>
- [49] Grand Paris Express - extending the Paris metro into the suburbs, <https://www.arcadis.com/en/global/what-we-do/our-projects/europe/france/extending-the-paris-suburban-metro/>
- [50] Nicholas Nisbet ,Application forms: Common information requirements for automated compliance checking, Technical Report No. TR 1013, buildingSMART International Regulatory Room,Version 1: published 2019-08-01, <https://buildingsmart-1xbd3ajdayi.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2020/07/buildingSMART-RR-Forms-TR13-Final-Aug-2019.pdf>
- [51] Malsane, Sagar (2015) The application of automated rule checking to existing UK building regulations using BIM technologies. Doctoral thesis, Northumbria University. This version was downloaded from Northumbria Research Link: <http://nrl.northumbria.ac.uk/25328/>
- [52] Jinaliben Shah ACTIVE RULE EXECUTION IN GRAPH DATABASES, California State University, Sacramento, 2019 <https://scholarworks.calstate.edu/concern/theses/0r967418r>
- [53] Marco Häußler, Sebastian Esser, André Borrmann. Code compliance checking of railway designs by integrating BIM, BPMN and DMN, Automation in Construction Volume 121, January 2021, 103427 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580520310074>
- [54] C.C.A. Hendriks, A Conceptual Integrated Parametric Design Tool for Excavation Sites , Delft University of Technology, 2018, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A7e8c8b7a-12e9-42c3-908e-0ca476cbb236>
- [55] BIM v Rossii: perspektivy razvitiya 9 nojabrja, 2020, <https://www.planradar.com/ru/bim-v-rossii/>
- [56] Moscow Metro to manage city's tram network, December 3, 2020, <https://www.railwaypro.com/wp/moscow-metro-to-manage-citys-tram-network/>
- [57] Na metro iz Troicka do centra – real'nost' Moskvy 2024, Nezavisimaja gazeta 25.12.2020 https://www.ng.ru/moscow/2020-12-25/100_154325122020.html
- [58] Kak BIM-modelirujut moskovskoe metro, 15 dekabrja 2020, <https://www.vesti.ru/article/2498768>
- [59] Zaha Hadid Architects wins Moscow metro competition, By Elizabeth Hopkirk2 September 2020 <https://www.bdonline.co.uk/news/zaha-hadid-architects-wins-moscow-metro-competition/5107740.article>
- [60] Russia proposes a national standard for metro systems November 13, 2020 <https://www.railwaypro.com/wp/russia-proposes-a-national-standard-for-metro-systems/>
- [61] GOST R 58897-2020 Metropoliteny. Osnovnye terminy i opredelenija, https://allgosts.ru/01/020/gost_r_58897-2020
- [62] ORJOLA BRAHOLLI Automated procedures for LCA analysis on a BIM project, POLITECNICO DI MILANO, 2020 <https://bimaplus.org/dissertations/>
- [63] Xiaodong Xu, Guangbin Wang, Dongping Cao, Zhujing Zhang, "BIM Adoption for Facility Management in Urban Rail Transit: An Innovation Diffusion Theory Perspective", Advances in Civil Engineering, vol. 2020, Article ID 8864221, 12 pages, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8864221>
- [64] Yueming Wen, Jiawei Leng, Xiaobing Shen, Gang Han, Lijun Sun,1 and Fei Yu, Environmental and Health Effects of Ventilation in Subway Stations: A Literature Review, Int J Environ Res Public Health. 2020 Feb; 17(3): 1084. Published online 2020 Feb 8. doi: 10.3390/ijerph17031084
- [65] M.Q. Huang, BIM, machine learning and computer vision techniques in underground construction: Current status and future perspectives, Tunnelling and Underground Space Technology, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103677>
- [66] Sakdirat Kaewunruen,OrCID, Shijie Peng and Olisa Phil-Ebosie Digital Twin Aided Sustainability and Vulnerability Audit for Subway Stations, Sustainability 2020, 12(19), 7873; <https://doi.org/10.3390/su12197873>