

Модели данных BIM для инфраструктуры

DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.2

Скворцов А.В., д.т.н., профессор, генеральный директор ООО «ИндорСофт» (г. Томск)

Рассматривается технология информационного моделирования (BIM) для объектов инфраструктуры (на примере автомобильных дорог) с точки зрения технического регулирования. Рассматривается современное состояние стандартов на модели представления и форматы обмена данными по объектам транспортного строительства. Даются предложения по совершенствованию системы технического регулирования для скорейшего внедрения информационного моделирования в России.

1. Введение

Технология информационного моделирования зданий (BIM, англ. Building Information Modelling), заявившая о себе с начала 2000-х годов как о новой ступени развития идеологии архитектурных систем автоматизированного проектирования (САПР), в настоящее время широко применяется для комплексного проектирования и эксплуатации зданий и сооружений. На сегодня она достигла высокой стадии зрелости как в части стандартизации моделей и форматов обмена данными, так и в поддержке программным обеспечением ведущих мировых компаний.

В Российской Федерации существенный всплеск интереса к технологии информационного моделирования был вызван вынесением вопроса применения BIM на государственный уровень.

5 февраля 2014 года состоялось заседание Консультативного совета

по рациональному и безопасному недропользованию в ТЭК при председателе Комитета Госдумы РФ по энергетике на тему «Разработка национального плана мероприятий по внедрению инновационных технологий информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства: инвестиции, проектирование, строительство и безопасная эксплуатация».

4 марта 2014 года Д.А. Медведев провёл заседание президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России в сфере строительства, на котором, в том числе, обсуждался вопрос внедрения информационного моделирования в сфере промышленного и гражданского строительства. По итогам заседания президиума было выпущено поручение по внедрению информационного моделирования.

29 декабря 2014 года глава Минстроя М.А. Мень подписал приказ «Об утверждении плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства».

Приказ касается всех отраслей промышленного и гражданского строительства. В то же время технология BIM имеет разную степень готовности для внедрения в разных отраслях. Так, среди прочего, в сфере транспортного строительства информационное моделирование пока не имеет соответствующих стандартов, программного обеспечения и практики применения. И если управленческие стандарты и практики применения могут быть позаимствованы с минимальными изменениями из сферы строительства зданий, то отсутствие стандартов на модели данных транспортной инфраструктуры (дорог, мостов, тоннелей и пр.) является самым главным препятствием разворачиванию технологий



BIM в транспортном строительстве на полноценном уровне, сопоставимом с аналогичным для зданий.

В настоящей статье рассматривается современное состояние информационного моделирования и его готовности для применения в сфере инфраструктуры.

2. Информационное моделирование для инфраструктуры

Технология BIM для зданий охватывает полный цикл проектирования отдельного здания: геометрическое моделирование внешней формы и организации внутреннего пространства, прочностные расчёты, проектирование внутренних инженерных сетей, формирование проектной документации. Однако здания всегда являются частью более общего проекта планировки местности. В связи с этим в воздухе уже достаточно давно витала идея применения методов и стандартов BIM для комплексного проектирования городской застройки, проектирования транспортных и внешних инженерных сетей. Именно поэтому во многих странах мира государственные структуры предпринимают различные попытки разработки стандартов BIM не только для отдельных зданий и сооружений, но и для инфраструктуры. Частные же компании активно создают соответствующие программно-технические решения.

С точки зрения организационной составляющей проектирования и строительства объектов инфраструктуры переход от BIM для отдельных зданий к BIM для инфраструктуры (в частности, к BIM автомобильных дорог) выглядит относительно просто. Однако основные проблемы в настоящее время возникают в области применения стандартов на модели данных. Использование открытых всеми признанных стандартов вместо закрытых форматов частных фирм-производителей программного обеспечения является одним из краеугольных камней технологии BIM, позволяющим защитить долгосрочные инвестиции и избежать технологической зависимости от конкретной компании. Использование открытых стандартных форматов обмена данными является обязательным требованием при BIM-сертификации бизнес-процессов компаний [1,2].

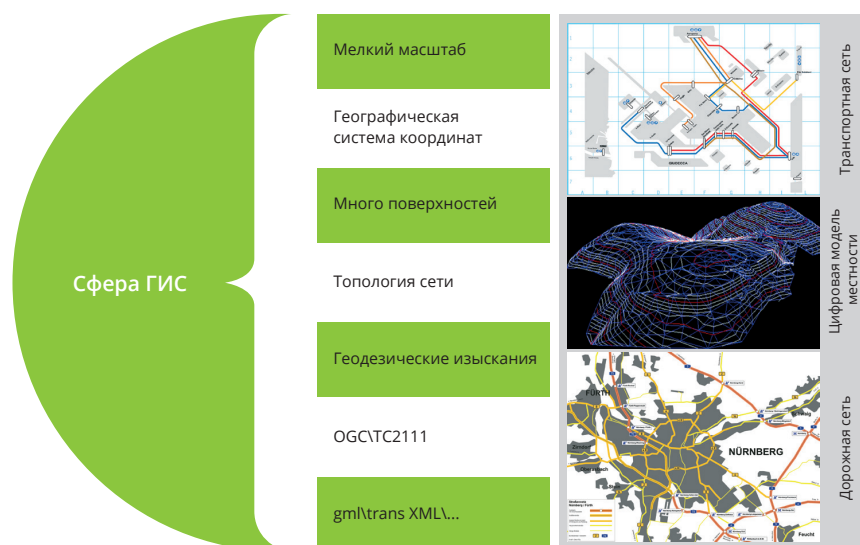


Рис. 1. Данные на местности, относящиеся к области компетенции ГИС



Рис. 2. Данные на местности, относящиеся к области компетенции САПР

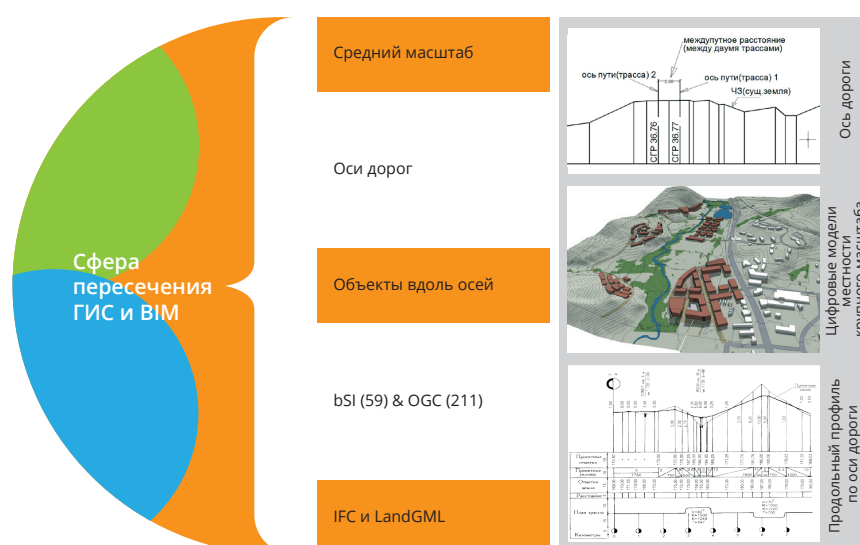


Рис. 3. Данные на местности, относящиеся к области пересечения возможностей САПР и ГИС

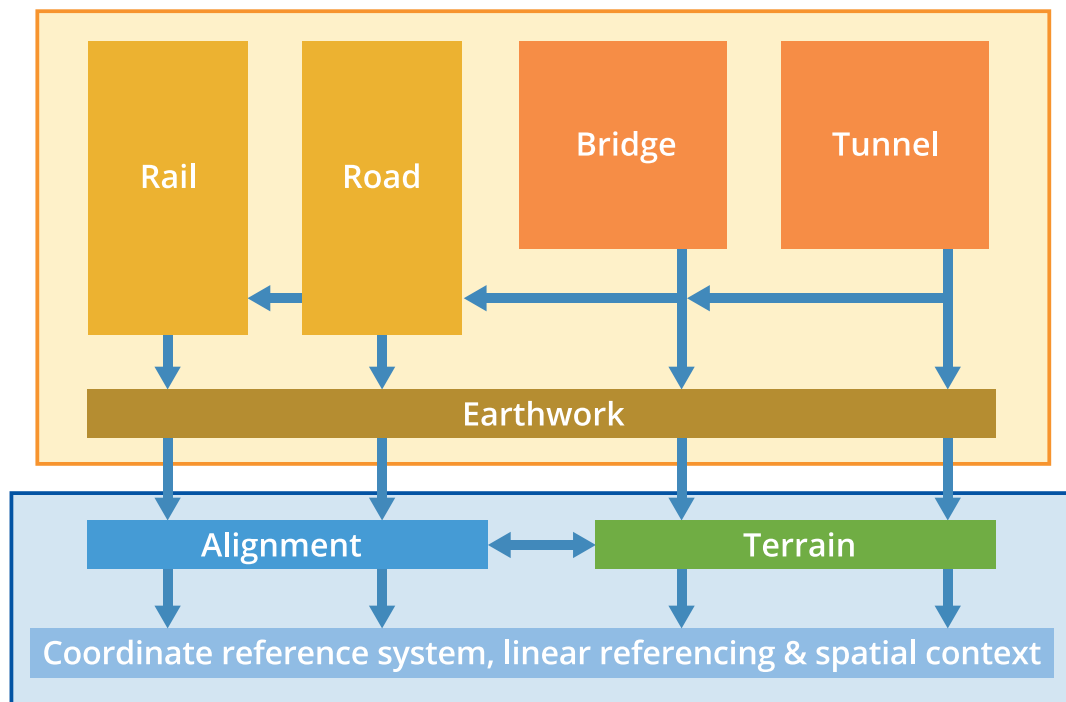


Рис. 4. Схема пакетов инфраструктурных расширений в рамках будущего стандарта IFC 5

В BIM (для зданий) за долгие годы выработан надёжный стандарт для обмена данными о зданиях — Industry Foundation Classes (IFC). Этот стандарт создаётся и развивается Международным альянсом по интероперабельности — buildingSMART [3]. Стандарт IFC построен на основе машиностроительного стандарта STEP [4], что дополнительно обеспечивает возможности анализа моделей зданий IFC в существующих расчётных машиностроительных программах.

С другой стороны, стандарт IFC даже в своей самой последней версии IFC 4 совершенно не готов работать с пространственно-распределёнными данными, возникающими при проектировании инфраструктуры. Среди таких данных:

- Материалы инженерных изысканий (геодезических, геологических).
- Цифровые модели рельефа (ЦМР).
- Транспортные сети (автомобильные дороги, железные дороги, мосты, тоннели).
- Сети транспортных корреспонденций (автомобили, общественный транспорт, пешие маршруты).

Все эти данные совершенно не вписываются в концепцию IFC. В то же время в геоинформатике для них давно разработаны необходимые модели данных, а большинство геоинформационных систем (ГИС) умеют с ними работать (рис. 1) [5–8].

В то же время в ГИС в основном уделяется внимание мелкомасштабным моделям местности. Например, в ГИС, как правило, есть сведения об оси автомобильной дороги, но нет данных о поперечном профиле, конструкции дорожной

одежды, искусственных сооружений (водопропускных трубах и мостах), элементах инженерного обустройства и пр. Вся эта информация подробно представлена в крупном масштабе в существующих САПР автомобильных дорог (рис. 2).

Кроме того, существует область пересечения компетенций ГИС и САПР. Это вопрос трассирования (горизонтального и вертикального) линейно-протяжённых объектов (автомобильных и железных дорог) с учётом моделей местности (рис. 3). При этом отметим некоторые отличия подходов ГИС и САПР. ГИС учитывают уже существующие дороги, поэтому для их задач вполне достаточно описания трасс линейно-протяжённых объектов в виде последовательности точек или отдельных фрагментов кривых. В то же время САПР предназначены для проектирования ещё не существующих дорог, а поэтому модель должна быть параметризованной, например, в виде тангенциального хода и параметров сопряжения дугами и клотоидами.

Можно уверенно сказать, что сейчас в мире существуют стандарты, которые позволяют комплексно описать инфраструктуру. Однако эти стандарты представляют собой идеологически разные сферы ГИС и САПР, что контрастирует с чёткой единой моделью в технологии BIM для зданий. Именно поэтому стали появляться попытки расширения BIM на инфраструктуру.

Например, консорциум разработчиков buildingSMART, разрабатывающий стандарт IFC, в дополнение к существующим 4 комитетам (Technical Room, Process Room, Product Room, Regulator Room) в 2014 году ввёл новый

LandXML

- Трасса в плане в виде прямой, клотоиды и круговой кривой



```

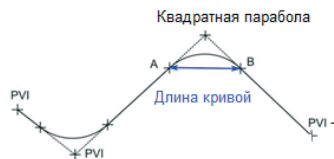
<CoordGeom>
  <Line id="1" length="263.353445024987">
    <Start>1031.948969467921 1177.964204524687</Start>
    <End>1108.128519962727 1430.058855282253</End>
  </Line>
  <Spiral id="2" length="16.667" radiusEnd="150." radiusStart="INF" rot="ccw" spType="clothoid" theta="3.183162523815">
    <Start>1108.128519962727 1430.058855282253</Start>
    <End>1111.343185719382 1440.696881174039</End>
  </Spiral>
  <Curve id="3" chord="86.610584403757" crvType="arc" delta="33.560518992458" dirEnd="53.557779564062" dirStart="19.997260571605" external="6.671213364628" length="87.861233264472" midOrd="6.387146580433" radius="150." tangent="45.231284495854">
    <Start>1111.343185719382 1440.696881174039</Start>
    <Center>1254.199990468834 1394.622843745705</Center>
    <End>1165.098214453749 1515.291288299191</End>
    <PI>1128.71162281861 1488.423369765697</PI>
  </Curve>
  <Line id="4" length="16.667" radiusEnd="150." radiusStart="INF" rot="ccw" spType="clothoid" theta="3.183162523815">
    <Start>1165.098214453749 1515.291288299191</Start>
    <End>1171.765381821445 1440.696881174039</End>
  </Line>
</CoordGeom>

```

Рис. 5. Описание оси дороги в плане на языке LandXML с помощью отрезков прямой, спиралей (клотоид) и кривых (дуг окружностей)

LandXML

- Трасса в продольном профиле в виде точек и квадратных парабол



```

<Profile name="Achan - 1">
  <ProfSurf name="Geländeschnitt 3 - (BG)" state="existing">
    <ProfAlign name="Gradiente (1)">
      <PVI>20059451645 199.324441429215</PVI>
      <ParaCurve length="208.204085930634">185.78245484617 204.422097162951</ParaCurve>
      <ParaCurve length="191.185793390869">497.828270887504 206.733935082853</ParaCurve>
      <PVI>767.074389906282 203.581081782429</PVI>
    </ProfAlign>
  </Profile>

```

Рис. 6. Описание вертикального профиля дороги на языке LandXML с помощью отрезков прямой и отрезков параболы

3D модель дороги

Продольный профиль
Трасса в плане
Поперечный профиль

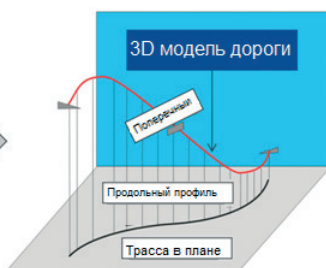


Рис. 7. Объект стандартизации в проекте IFC-Alignment — трёхмерная трасса автомобильной дороги

комитет — Infrastructure Room, который отвечает за разработку новых стандартов применительно к инфраструктуре. Основным спонсором этого комитета выступило француз-

ское дорожное агентство как организация, имеющая огромный опыт в стандартизации инфраструктурных данных.

3. Первые шаги buildingSMART к инфраструктуре

Проанализировав основные площадки, на которых в настоящее время разрабатываются стандарты в сфере геоинформационных технологий и управления инфраструктурой, buildingSMART в качестве основного партнёра по разработке новых инфраструктурных BIM-стандартов был приглашён Open Geospatial Consortium (OGC) [9]. Основанием для этого было то, что все промышленные ГИС-стандарты типа LandXML [10], CityGML [11] и новый InfraGML, описывающие местность и инфраструктуру, появились именно под эгидой OGC.

В качестве первых проектов по расширению IFC были выбраны следующие четыре:

1. LandXML для инфраструктуры.
2. IFC Alignment.
3. IFC-Bridge.
4. IFC-Road.

В качестве следующих возможных проектов консорциума buildingSMART сейчас обсуждаются справочники данных DataDictionary, модель исполнительной съёмки As-Built Data Delivery, модель тоннелей IFC-Tunnel, модель управления земляными работами IFC-Earthwork. Реалистичные сроки разработки стандартов для всего спектра инфраструктурных решений предполагаются примерно к 2018–2020 годам. И это будет закреплено в виде следующего стандарта IFC 5. На рисунке 4 представлена схема взаимосвязей пакетов инфраструктурных расширений в рамках будущего стандарта IFC 5.

3.1. LandXML для инфраструктуры

Описание местности на основе существующего стандарта LandXML (это первый случай в практике buildingSMART, когда модель не базируется на IFC). Важность этого проекта обусловлена введением географических систем координат, а также ряда новых пространственно-протяжённых моделей данных, например, триангуляционных моделей рельефа. На рисунках 5–6 представлены фрагменты описания оси автомобильной дороги на языке LandXML в плане с помощью отрезков прямой, спиралей (клотоид) и кривых (дуг окружностей), а также описание вертикального профиля с помощью отрезков прямой

Рис. 8. Типы мостов, исследуемые в рамках проекта IFC-Bridge



Рис. 9. Основные конструктивные объекты (составные части мостов), подлежащие стандартизации в рамках проекта IFC-Bridge

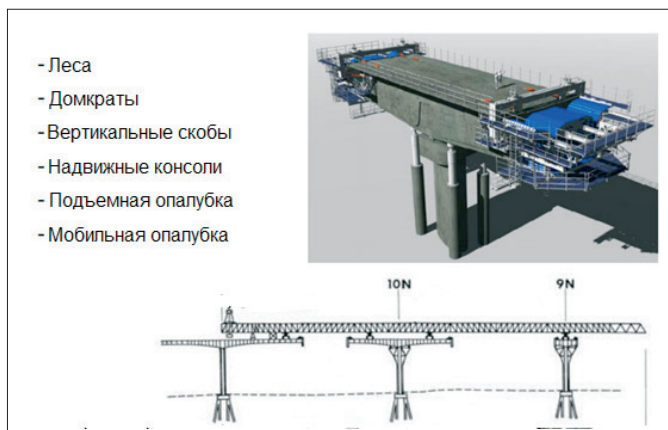


Рис. 10. Основные вспомогательные и временные объекты, подлежащие стандартизации в рамках проекта IFC-Bridge

и отрезков параболы. Основной целью проекта была выработка правил соответствия уже давно существующего стандарта LandXML 1.2 требованиям и понятиям в IFC для инфраструктуры. Сейчас проект завершён.

3.2. Модель трасс линейных объектов IFC Alignment

Высокая важность проекта IFC Alignment обуславливается как использованием новых геометрических элементов, не свойственных зданиям (например, клотоид), так и новым способом задания положения объектов относительно трасс (линейная система координат «пикет-смещение»). На рисунке 7 представлена геометрия объекта стандартизации. Работа над данным проектом ведётся совместными усилиями Rijkswaterstaat (министерство транспорта Финляндии), Traviverket (транспортная администрация Швеции), CSTB (научный центр по строительству, Франция), V-Con (международный консорциум для развития OpenBIM, базирующийся в Нидерландах) в партнёрстве с Open Geospatial Consortium (OGC).

В январе 2015 года появилась финальная версия проекта стандарта (IFC Alignment Extension candidate standard), а 28 марта 2015 года этот стандарт был одобрен и получил название IFC Alignment 1.0. В ней ось линейного объекта может быть задана: 1) дискретно в виде трёхмерной пространственной ломаной, 2) либо неявно в виде отдельных моделей трассы в плане, продольном и поперечных профилях (рис. 7).

3.3. Модель мостовых сооружений IFC-Bridge

Проект IFC-Bridge является идеологически одним из самых простых, поскольку является адаптацией других мостовых форматов, адаптированных к BIM. Он демонстрирует успешность применения уже существующих подходов в IFC и STEP для описания мостов. В то же время, несмотря на идеологическую простоту, проект идёт крайне медленно из-за высокой сложности предметной области. Данный проект был заявлен в консорциуме buildingSMART ещё в 2002 году. В 2003 году были сформулированы требования к стандарту. В 2004 году появились первые наброски стандарта, а в 2010 — первый реальный прото-

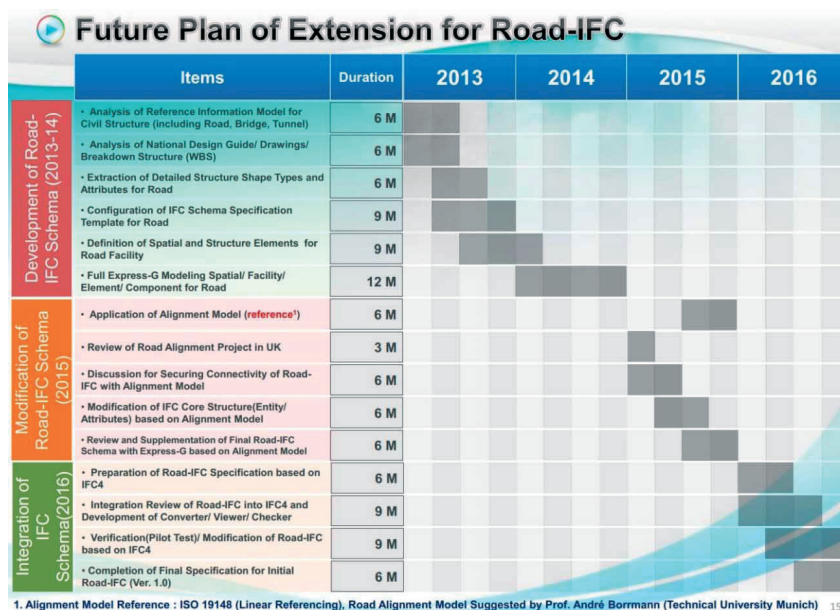


Рис. 11. Официальный календарный график работ над проектом IFC-Road, выполняемый по заказу правительства Южной Кореи

тип. При этом только в 2011 году появилось параметрическое описание. В официальный план работ (статус для bSI — buildingSMART International) проект попал только в 2012 году.

Существенными нововведениями проекта IFC-Bridge являются пространственная привязка модели моста на местности с помощью модели трассы, создаваемой в проекте IFC-Alignment, а также модели кабельных систем, систем преднапряжённого бетона и арматуры. Полученные модели мостов в новом формате IFC-Bridge могут быть в дальнейшем переданы в различные расчётные программы для анализа прочности. На рисунке 8 приведены типы мостов, исследуемые в рамках проекта IFC-Bridge. На рисунке 9 представлены основные конструктивные объекты (составные части мостов), подлежащие стандартизации. На рисунке 10 представлены основные вспомогательные и временные объекты, подлежащие стандартизации в рамках проекта IFC-Bridge.

3.4. Модель автомобильной дороги IFC-Road

Проект IFC-Road базируется на другом проекте IFC-Alignment и вводит понятия поперечного профиля дороги, конструкции дорожной одежды, элементов обустройства. Для концепций IFC это очень сложный проект, поскольку здесь вводится принципиально новый вид неявной трёхмерной модели (задаваемой плановой осью дороги, продольным и поперечным профилями), а формируемые в этой

модели элементы модели — это протяжённые поверхности, а не трёхмерные тела. Именно поэтому существующее программное обеспечение для работы с моделями через формат IFC здесь не применимо.

В настоящее время данный проект ведётся в основном усилиями Корейского института строительных технологий и не входит в список формальных проектов консорциума buildingSMART. Он имеет статус «связанного проекта» под именем Korean Roads. Проект рассчитан на период с 2013 по 2016 годы. Первая версия модели данных IFC-Road будет подготовлена к декабрю 2014 года.

В календарном плане этого проекта (рис. 11) в 2015 году стоит гармонизация заложенных решений со смежными проектами, выполняемыми в Великобритании (Road Alignment Project) и Франции (IFC for Bridges). В 2017–2018 годах предполагается выход на утверждение данного стандарта в качестве стандарта bSI.

4. Информационное моделирование в России

После поручения Д.А. Медведева от 4 марта 2014 года о разработке плана поэтапного внедрения информационного моделирования в течение 2014 года в России прошло несколько отраслевых мероприятий, посвящённых в том числе вопросам информационного моделирования. Например, в сфере дорожного строительства можно отметить:

- «ВІМ-конгресс: транспортная инфраструктура» (3 июня 2014 года) при участии ОАО «Росжелдорпроект», ГУП «Московский Метрополитен» и ГК «Автодор».
- Всероссийская межотраслевая научно-практическая конференция «Управление жизненным циклом объекта капитального строительства на основе информационного моделирования. Инвестирование. Проектирование. Строительство. Эксплуатация» (5–6 июня 2014 года) с участием ГК «Автодор».
- Круглый стол «Информационное моделирование в жизненном цикле автомобильной дороги» в рамках выставки-форума «Дорога-2014» (13 октября 2014 года), организованный Росавтодором, ГК «Автодор» и ассоциацией РАДОР.

Кроме того, различные ведомства ведут НИР в сфере информационного моделирования. Так, можно отметить завершённый НИР в Минтрансе РФ на тему «Исследование принципов и методов создания и применения трёхмерных цифровых моделей объектов дорожной инфраструктуры на всех стадиях их жизненного цикла с использованием спутниковых навигационных технологий», а также ещё исполняемый в ГК «Автодор» НИР на тему «Разработка рекомендаций по использованию инновационных технологий информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла автомобильных дорог».

Time plan

- Short term (year 2015): Introduction of BIM in investment and maintenance projects
- Middle-term (year 2020): Access for maintenance to receive certain types of information management in the existing system
- Long-term (beyond year 2030): "Smart", lifecycle information between different processes, actors and stages

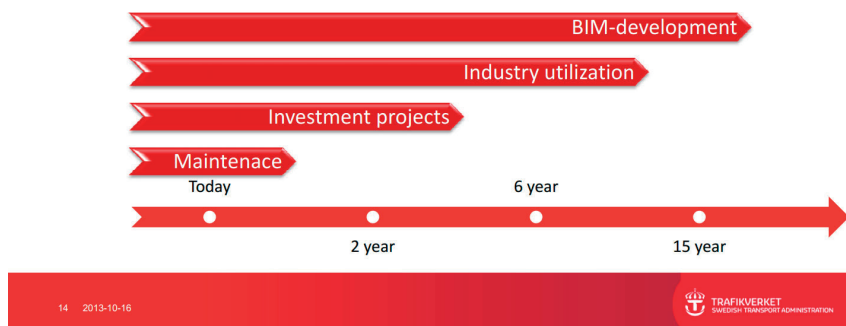


Рис. 12. План-график внедрения технологий BIM в сфере транспортного строительства Швеции (из доклада официального представителя транспортной администрации Швеции в консорциуме buildingSMART)

Как показывают эти НИР, основным препятствием комплексному внедрению технологий информационного моделирования является несовершенство нормативно-технической базы, а точнее практически полное отсутствие технического регулирования BIM в сфере транспортного строительства как в России, так и на международном уровне.

Очень заманчивым в условиях отсутствия нормативной базы является применение некоторой методологии, активно предлагаемой сейчас в рамках линеек программного обеспечения частных фирм, например, Autodesk или Bentley. Однако такой подход противоречит одному из принципов BIM о независимых стандартах данных и резко ограничивает конкуренцию на рынке. Так, на российском рынке до 70% всех проектов автомобильных дорог выполняется с помощью отечественных программных продуктов (Credo, Топомастик Robur, IndorCAD, GIP-M). Выбор методологии зарубежных фирм приведёт к автоматическому принятию их форматов данных в качестве стандартов де-факто и стремительному снижению доли отечественных фирм на рынке.

В контексте недавно провозглашённой государственной линии на импортозамещение такой подход совершенно неуместен. В России в начале необходимо разработать собственные или адаптировать международные стандарты, а только затем утвердить

план поэтапного перехода на эти стандарты.

Работы по созданию первых стандартов, которые могли бы стать основой российского BIM для инфраструктуры уже начаты. Так, в 2014 году по заказу Росавтодора завершена разработка проектов ГОСТ Р «Геоинформационные системы автомобильных дорог. Общие технические требования» [12], ГОСТ Р «Геоинформационные системы автомобильных дорог. Базовая модель данных» [13], ОДМ «Геоинформационные системы автомобильных дорог. Порядок сбора, хранения и обновления данных» [14].

Отдельно хочется отметить, что международные стандарты никогда не смогут покрыть все потребности локального (российского) рынка, т.к. каждая страна имеет особенности, технологии, различные бизнес-процессы. Исходя из тенденций в международном нормотворчестве (например, поддерживаемом консорциумом buildingSMART), можно заранее предсказать, какие технические сферы будут покрыты будущими стандартами, а какие — нет. Такие стандарты имеют смысл в будущем адаптировать и принять в России. В то же время многие сферы деятельности вряд ли будут стандартизированы на международном уровне, в частности, из-за различий подходов российской и зарубежной науки и практики.

Такой сбалансированный подход к внедрению технологий инфор-

мационного моделирования можно продемонстрировать на опыте Швеции — одного из мировых лидеров в сфере BIM для инфраструктуры. Так, на рисунке 12 представлен план-график внедрения технологий BIM в сфере транспортного строительства Швеции (из доклада официального представителя транспортной администрации Швеции в консорциуме buildingSMART). Как видно, шведская администрация планирует начать внедрение BIM-технологий примерно с 2020 года и широко внедрить их на всех стадиях жизненного цикла только к 2030 году.

5. Заключение

В заключение отметим, что ещё недавно главной целью консорциума buildingSMART было развитие концепции openBIM как открытого набора BIM-стандартов. Теперь, после начала тесного сотрудничества с Open Geospatial Consortium и появления в сфере интересов buildingSMART принципиально новых для них ГИС-моделей, buildingSMART выдвинул вторую инициативу в области моделей данных openINFRA. Теперь openBIM позиционируется как стандарты для управления зданиями, а openINFRA — как стандарты вне зданий.

Несмотря на то что технология BIM произошла от САПР, важнейшим их отличием является срок оперирования с данными в САПР и BIM. САПР является инструментом для получения проекта; компьютерная модель дороги

Несмотря на то что технология BIM произошла от САПР, важнейшим их отличием является срок оперирования с данными в САПР и BIM... В концепции BIM компьютерная модель дороги передаётся на следующие этапы жизненного цикла и может быть повторно востребованной через годы и даже десятилетия.

или моста по итогам проектирования преобразуется в инженерную и рабочую документацию, после чего модель не нужна. В концепции BIM компьютерная модель дороги передаётся на следующие этапы жизненного цикла и может быть повторно востребованной через годы и даже десятилетия. Именно поэтому для обеспечения гарантированного доступа к данным в будущем эти данные должны быть представлены в форме открытых стандартов обмена данными.

Несмотря на то что работы по стандартизации форматов обмена данными для BIM инфраструктуры сейчас активно ведутся на международном уровне, новые стандарты в обозримой перспективе не смогут полностью закрыть потребности в России. Это связано с различием нашей отечественной нормативной базы и используемой за рубежом. Поэтому нам необходимо либо гармонизировать наши стандарты с западными, либо самостоятельно адаптировать и развивать BIM-стандарты [15].

Помимо этого, отметим, что для полноценного внедрения технологий информационного моделирования в России и, учитывая отраслевые особенности BIM, необходимо, чтобы отраслевые технические комитеты (ТК) в системе Росстандарта обладали соответствующими полномочиями.

Так, ключевой для сферы информационного моделирования ТК 465 «Строительство» должен обладать полномочиями в области информатизации (код области стандартизации по ОКС 35.020 «Информационные технологии (ИТ) в целом») и желательно иметь подкомитет «Информационные технологии». Аналогично, главный дорожный ТК 418 «Дорожное хозяйство» должен обладать полномочиями в области информатизации и желательно иметь подкомитет «Информационные технологии» (в настоящий момент отдельные функции технического регулирования в сфере BIM для автомобильных дорог может исполнять ТК 57 «Интеллектуальные транспортные системы»). Схожие дополнения требуются для ТК 32 «Внутренний водный транспорт», ТК 34 «Воздушный транспорт» и др.

На этом фоне исключением выглядит структура ТК 45 «Железнодорожный транспорт», который уже содержит подкомитет в области автоматизации, хотя сам ТК 45 не имеет никакого кода области стандартизации по ОКС в области информационных технологий. ■

Литература:

1. Сворцов А.В. BIM автомобильных дорог: оценка зрелости технологии // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. №2(3). С. 12–21.
2. Сворцов А.В. Стандарты для обмен данными // Автомобильные дороги. 2015. №2. С. 84–89.
3. buildingSMART // Официальный сайт международной организации buildingSMART. URL: <http://www.buildingsmart.org> (дата обращения: 28.05.2015).
4. ГОСТ Р ИСО 10303. – Семейство стандартов «Системы автоматизации производства и их интеграция. Предоставление данных об изделии и обмен этими данными».
5. Сворцов А.В., Поспелов П.И., Бойков В.Н., Крысин С.П. Геоинформационные системы в дорожном хозяйстве: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. VI. М.: ФГУП «Информавтодор», 2006. 372 с.
6. Сворцов А.В., Поспелов П.И., Котов А.А. Геоинформатика в дорожной отрасли. М.: МАДИ(ГТУ), 2005. 250 с.
7. Сворцов А.В. Геоинформатика. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2006. 336 с.
8. Сворцов А.В. BIM для дорожной отрасли: что-то новое или мы этим уже занимаемся? // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. №1(2). С. 8–11.
9. Официальный сайт международного консорциума Open Geospatial Consortium. URL: <http://www.ogc.org> (дата обращения: 22.06.2015).
10. Официальный сайт международного консорциума разработчиков стандарта LandXML. URL: <http://www.landxml.org> (дата обращения: 22.06.2015).
11. Официальный сайт международного консорциума разработчиков стандарта CityGML. URL: <http://www.citygml.org> (дата обращения: 22.06.2015).
12. Сворцов А.В. Адресный план автомобильной дороги // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. №1(1). С. 47–54.
13. Сарычев Д.С., Сворцов А.В. Базовая модель дорожных данных в проекте ГОСТ // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. №2(3). С. 98–102.
14. Сарычев Д.С. Проект дорожной методики по сбору, хранению и обновлению данных ГИС // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. №2(3). С. 103–109.
15. Сворцов А.В. Нормативно-техническое обеспечение BIM автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. №2(3). С. 22–32.