

СТАДИИ РАЗВИТИЯ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА BIM-ТЕХНОЛОГИЙ

Шалобыта Н. Н., Шалобыта Т. П., Шурин А. Б., Завадский В. В.

В настоящее время все более распространены технологии информационного моделирования, которые определяют совершенно новые подходы к инженерной деятельности. В их основе лежит понятие информационной модели отдельных или целых объектов, опирающейся на принципы 3D-моделирования, параметризации и автоматического создания документации для их полного жизненного цикла. Если во многих западных странах к настоящему времени технологии информационного моделирования стали уже неотъемлемой частью процесса инженерного проектирования, то в странах СНГ в целом, и в Республике Беларусь в частности, наблюдается заметное отставание в этой области. Тем не менее данные технологии в последние годы вызывают все больший интерес промышленности и поддержку государства.

Рассматривая информационное моделирование, необходимо выделить уже сложившиеся модели, применяемые как в промышленности (машиностроение, авиастроение и т. д.), так и в строительстве:

– **PLM** (сокр. от англ. *ProductLifecycleManagement*) – технология управления жизненным циклом изделий, представляющая организационно-техническую систему, обеспечивающую управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации;

– **BIM** (сокр. от англ. *BuildingInformationModeling* или *Building Information Model*) – информационное моделирование здания или информационная модель здания, включающая в себя совершенно новый подход к возведению, оснащению, обеспечению эксплуатации и ремонту здания (управлению жизненным циклом объекта), который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании со всеми ее взаимосвязями и зависимостями, когда здание и все, что имеет к нему отношение, рассматриваются как единый объект.

В основу PLM-технологий положены три основных принципа:

- разработка цифровой модели-прототипа изделия;
- моделирование процессов, связанных с его жизненным циклом – производством, эксплуатацией, обслуживанием, ремонтом и утилизацией;
- подбор ресурсов, вовлеченных в жизненный цикл продукта.

PLM-система – это сложный программный комплекс, состоящий из нескольких взаимосвязанных компонентов:

- PDM-система (*ProductDataManagement*) – система управления данными об изделии, предназначена для хранения и управления данными;
- CAD-система (*ComputerAidedDeesign*) – проектирование изделий;
- CAE-система (*Computer Aided Engineering*) – инженерные расчеты;
- CAPP-система (*Computer Aided Production Planning*) – разработка техпроцессов;

- САМ-система (Computer Aided Manufacturing) – разработка управляющих программ для станков с ЧПУ (числовое программное управление);
- МРМ-система (Manufacturing Process Management) – моделирование и анализ производства изделия.

Сегодня PLM – весьма зрелая технология, в ее рамках уже разработаны примеры лучших мировых практик, связанные с развитием процессов на предприятиях, особенно в организациях аэрокосмической, автомобильной, оборонной, энергетических отраслей, в области автоматизированного производства. Все большее признание PLM-системы получают в последнее время и на предприятиях стран СНГ. На рынке СНГ сегодня представлены разработки компаний IBM, DassaultSystemes, MSC Software, Microsoft, Intel, NetNet, Transcat PLM, LMS, Abaqus, TeSIS, BeePitron, Mebius, КОМПАС.

Появившаяся в 1975 г., изначально под другим именем, идея информационного моделирования зданий (BuildingInformationModeling, BIM) в результате эволюционного развития теории архитектурных САПР [1] как единая технология начала активно применяться примерно с 2000 г. благодаря широкому внедрению базовых принципов BIM в программном обеспечении ведущих разработчиков архитектурных систем, в первую очередь системы ArchiCAD.

Основа концепции BIM:

- трехмерное моделирование;
- автоматическое получение чертежей;
- интеллектуальная параметризация объектов;
- соответствующие объектам наборы проектных данных;
- распределение процесса строительства по временным этапам.

Недостатки использования BIM:

- направленность на архитектурные проблемы;
- потеря существующих рабочих практик при переходе на BIM;
- привязка процесса к единственному поставщику ПО;
- попытка включить в универсальную систему задачи, решаемые специальным ПО;
- трудоемкость создания BIM-модели и прочие технические проблемы.

PLM- и BIM-технологии, имея значительное сходство, тем не менее, во многом различны, особенно в степени сложности цифровых моделей. Однако в настоящее время появилась возможность интегрировать эти две системы в одну информационную модель через создание управляющих правил средствами ЕТО (EngineertoOrder) фирмы Autodesk, которая с недавних пор является единой для Inventor (для машиностроения) и Revit (для строительства).

Разработка стандартов и нормативных документов. Несмотря на то, что область применения технологий информационного моделирования неуклонно расширяется, стандартизация и нормотворчество значительно отстают от возможностей и нужд отрасли. В первую очередь это связано с необходимостью создания единого, методологически и терминологически согласованного комплекса документов, требующего широкомасштабных научных исследований. Одним из важных вопросов является разработка требований к геометрическим параметрам, уровням геометрической и атрибутивной проработки компонентов информационной модели, графическому отображению, визуализации, форматам и др.

С 2000 годов начали появляться первые национальные нормативные документы (Австралия, Великобритания, Гонконг, Дания, Испания, Нидерланды, Норвегия, Сингапур, США, Финляндия), регламентировавшие общие правила для процесса информационного моделирования зданий [1, 2, 3]. В результате обобщения многолетнего опыта применения САПР в строительстве стали создаваться международные стандарты. В настоящее время в International Standard Organization (ISO) имеются два технических комитета, которые имеют прямое отношение к BIM [1, 2]:

– **технический комитет ISO/TC 184** – Automation systems and integration (Системы промышленной автоматизации и интеграции), подкомитет ISC 4 – Industrial Data (Промышленные данные). В данном подкомитете на основе разработки IFC 4 международного консорциума buildingSMART создан стандарт ISO 16739:2018 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries, по сути являющийся стандартом на описание форматов обмена данными между BIM-системами;

– **технический комитет ISO/TC 59** – Buildings and civil engineering works (Строительство зданий), подкомитет SC 13 – Organization of information about construction works (Организация информации о строительных работах), который разработал к настоящему времени базовых 7 стандартов, направленных на управление проектированием и строительством зданий на основе BIM-моделей:

- ISO 12006-2:2001 Building construction – Organization of information about construction works – Part 2: Framework for classification of information.

- ISO 12006-3:2007 Building construction – Organization of information about construction works – Part 3: Framework for object-oriented information.

- ISO/TS 12911:2012 Framework for building information modelling (BIM) guidance.

- ISO 16354:2013 Guidelines for knowledge libraries and object libraries.

- ISO 22263:2008 Organization of information about construction works – Framework for management of project information.

- ISO 29481-1:2010 Building information modelling – Information delivery manual – Part 1: Methodology and format.

- ISO 29481-2:2012 Building information models – Information delivery manual – Part 2: Interaction framework.

Несмотря на разработку базовых международных документов многие стороны реальной работы, заложенной в основу методологии BIM, к настоящему времени только формируются, на практике применяются (если имеются) различные национальные стандарты, стандарты консорциума buildingSMART, а также стандарты де-факто отдельных фирм-разработчиков программного обеспечения [1, 2, 3, 4].

Для разработки модели оценки зрелости BIM авторы американского стандарта National BIM Standard (NBIMS) использовали метод ситуационного анализа [3]. В стандарте NBIMS вводится модель I-CMM [4], в соответствии с которой выделяется 11 критериев, по которым выполняется оценка процесса от проектирования, строительства до эксплуатации строительных объектов (таблица 1).

Таблица 1 – Весовые критерии оценки зрелости BIM [3, 4]

Показатель веса, %	Название	Описание
1	2	3
84	Data Richness (Полнота данных)	Определяет завершенность строительной информационной модели здания от отдельных несвязанных элементов данных до полного владения всей значимой информацией и знаниями об объекте в BIM-системе.
84	Life-cycle Views (Обзор жизненного цикла)	Обзор относится к фазам проекта и определяет, сколько фаз должно быть описано в BIM-системе. Можно начать с отдельных частей информации и затем начать связывать их вместе, используя информацию, собранную из официального источника. Категория позволяет значительно сократить затраты, основываясь на исключении дублирующихся данных. Цель – поддерживать функции, выходящие за рамки традиционных ролей управления объектами, таких как службы быстрого реагирования.
90	Roles Or Disciplines (Должностные обязанности)	Должностные функции или обязанности сотрудников определяют, каким образом они вовлечены в бизнес-процессы и как передается информация. Важно для снижения стоимости повторного сбора данных. Данный критерий оценивает отсутствие повторного создания информации, а также того, что источником официальных данных является их реальный создатель.
90	Change Management (Процесс управления изменениями)	Процесс управления изменениями определяет методологию, используемую для изменений бизнес-процессов, разработанных организацией. Если бизнес-процесс признан некорректным и нуждается в улучшении, проводится анализ первопричины проблемы, а затем корректируется бизнес-процесс на основе этого анализа. После перестройки необходимо проведение анализа проведенных изменений.
91	Business process (Бизнес-процесс (производительность))	Определяет, как увязаны бизнес-процессы с обработкой данных. Если данные собираются в рамках бизнес-процесса, то на сбор данных не требуется дополнительных затрат. Если сбор данных является отдельным процессом, то помимо дополнительных затрат данные будут скорее всего неточными. В идеале работа с BIM-данными должна стать частью бизнес-процесса, а изменение данных должно немедленно отражаться для остальных пользователей. Цель – собрать данные теоретическим и эмпирическим путем в реальном времени, для того, чтобы когда физические изменения сделаны, они отражались для доступа других в своей части бизнес-процесса.

Продолжение таблицы 1

1	2	3
91	Timeliness/Response (Своевременность/ответ)	Так как некоторая информация более статична, чем другая, то точность до минуты является необходимой в кризисных ситуациях. Чем точнее фактическое время, тем лучше принятые решения. Некоторые из этих решений могут спасти жизнь. Данный критерий оценивает скорость предоставления информации по запросам.
92	Delivery Method (Способ доступа)	Данный критерий позволяет оценить степень простоты получения доступа к данным. Если данные доступны только на одной машине, их распространение может осуществляться как по электронной почте, так и в печатном виде. В структурированном сетевом окружении информация хранится централизованно и доступна для раздачи всем пользователям сети. Если модель является сервис-ориентированной архитектурой в сети SOA (Service-Oriented Architecture), то информация будет доступна в контролируемой среде предназначенным сотрудникам. Информационная гарантия должна быть интегрирована во все фазы.
93	Graphical Information (Графическая информация)	Часто отправной пункт является не графической средой. Введение графики помогает нарисовать четкую картину для всех участников. По мере применения стандартов информация может начать поступать, так как поставщик и получатель должны иметь одни и те же стандарты. Так как 3D-изображения начинают действовать, больше получателей информации будут иметь общий взгляд и приобретут высокий уровень понимания. Поскольку время и стоимость добавляются, то интерфейсы могут быть значительно расширены. Данный критерий оценивает эффективность представления графической информации в виде чертежей.
94	Spatial Capability (Пространственные возможности)	Данный критерий оценивает возможности по интеграции с геоинформационными системами, что открывает для BIM-среды возможности по комплексной оценке зданий и сооружений в контексте обеспеченности инженерными коммуникациями, охраны окружающей среды, энергоэффективности и пр.
95	Information Accuracy (Точность информации)	Данный критерий определяет, насколько непротиворечива и правильна с математической точки зрения созданная модель здания и насколько устойчива модель при её изменении параметрически или структурно. Наличие математического аппарата позволяет улучшить управляемость модели, поддерживая трудные для вычисления метрики. Эти данные могут быть использованы для заполнения, сбора информации и общей инвентаризации.

Окончание таблицы 1

1	2	3
96	Interoperability/IFC Support (Совместимость/поддержка стандарта IFC)	Наша конечная цель – обеспечить совместимость информации. Получение точной информации для стороны, требующей информацию. Есть несколько способов добиться этого, однако наиболее эффективным является использование подхода, основанного на единых стандартах, чтобы гарантировать, что информация является формой, которой она может быть передана, и доступность программных продуктов, которые могут читать этот стандарт информации.

Каждый критерий в результате экспертной оценки получает уровень зрелости от 1 до 10, после чего полученный уровень умножается на весовой коэффициент (важность, представленную в процентах), а результат суммируется. Сумма весовых коэффициентов всех 11 критериев, представленных в модели, составляет 100%, поэтому получаемый итоговый результат лежит в диапазоне от 10 до 100 баллов, и в зависимости от этого результата и определяется итоговый уровень зрелости BIM [4]:

1. Уровень зрелости **Minimum BIM** требует не менее 50 баллов с 2009 г. (ранее был переходный период сертификации BIM, когда в 2008 г. требовалось для этого уровня набрать 40 баллов, а в 2007 г. — только 30 баллов).

2. Уровень зрелости **Certified** требует не менее 60 баллов.

3. Уровень зрелости **Silver** требует не менее 70 баллов.

4. Уровень зрелости **Gold** требует не менее 80 баллов.

5. Уровень зрелости **Premium** требует не менее 90 баллов.

Помимо I-CMM, в настоящее время в разных стандартах могут использоваться и иные методологии. В частности Succar B. [5] предложил уровни зрелости выделить в стадии развития BIM следующим образом:

1. **Pre-BIM** – плоские чертежи (рисунок 1а).

2. **BIM Stage 1: modelling** – моделирование отдельных объектов (рисунок 1б).

Примерно соответствует уровню зрелости Minimum BIM.

3. **BIM Stage 2: collaboration** – совместная работа в единой модели (рисунок 1в). Примерно соответствует уровню зрелости Silver.

4. **BIM Stage 3: integration** – сетевая интеграция всех данных (рисунок 1г). Примерно соответствует уровню зрелости Premium.

5. **IPD (иногда iBIM). Технология Integrated Project Delivery** представляет собой более высокий уровень информационного моделирования и управления проектами, выходящий за рамки отдельного здания (рисунок 1 д).

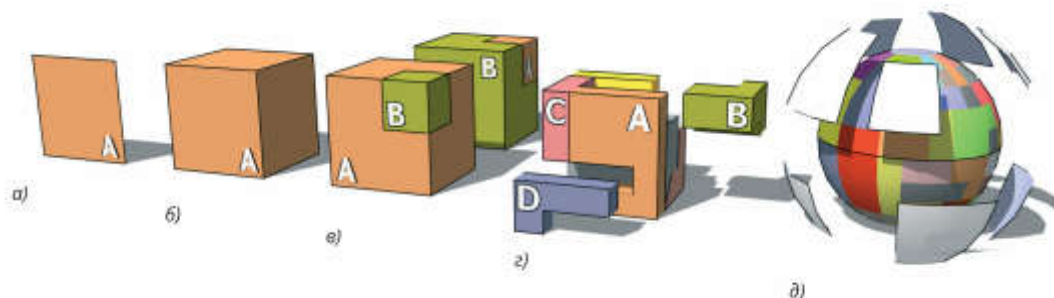


Рисунок 1 – Стадии развития BIM [5]

С 16 июня 2018 г. в Российской Федерации введен в действие Свод правил СП 328.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели», который содержит единые требования, правила и рекомендации по созданию компонентов, используемых для формирования информационных моделей объектов строительства. Несмотря на принятие отраслевой программы по разработке и внедрению информационных технологий комплексной автоматизации проектирования и поддержки жизненного цикла здания, сооружения на 2012 - 2015 годы, утвержденной постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 31 января 2012 г. № 4, а также подпунктов 3.1, 3.2 пункта 3, подпункта 4.1 пункта 4 квалификационных требований, установленных постановлением Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 2 мая 2014 г. № 25 "О некоторых вопросах аттестации юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих отдельные виды архитектурной, градостроительной, строительной деятельности (их составляющие), выполнение работ по обследованию зданий и сооружений», приказ Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь № 29827 от октября 2014 г. «О применении BIM-технологий в строительстве», а так же приказ Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь № 70 от 16 марта 2018 г. «О внедрении технологии информационного моделирования», к сожалению, до настоящего времени не существует нормативных документов, регламентирующих основные требования по применению BIM в строительстве, кроме требований проектных и научно-исследовательских организаций для программных продуктов определенных производителей, ассоциирующих себя в качестве BIM.

Существует большое разнообразие программного обеспечения на проектном рынке строительной отрасли (ArchiCAD, MagiCAD, Tekla Structures, Revit, Allplan, Renga (АСКОН) и др.). Каждый из продуктов имеет свои плюсы и минусы и может быть адаптирован для обучения студентов конкретных специальностей. Поэтому выделить какой-либо наиболее универсальный BIM-инструмент достаточно сложно. Тем не менее очевидно, что наиболее развитые САПР имеют зарубежное происхождение, что снижает информационную безопасность в условиях современной мировой политической обстановки. Поэтому весьма важно создание отечественных BIM-инструментов, учитывающих особенности проектных организаций Республики Беларусь, а также BIM-решений для специальных проектных задач, в том числе с использованием имеющейся базы отечественных типовых решений, что позволит открыть широкие возможности для научных исследований в этой области.

Для активного продвижения BIM-технологий недостаточно иметь развитые САПР, необходимо наличие кадров, способных эффективно их использовать. В связи с этим актуальна разработка соответствующей системы повышения квалификации, а также подготовки специалистов в вузах. Необходимо понимать, что суть технологий информационного моделирования заключается не в использовании современных САПР. BIM-технологии – это совершенно новый подход к самому процессу проектирования. И несмотря на то, что переход к BIM-проектированию – это вопрос будущего, готовить специалистов в этой

области необходимо уже сегодня. Естественно, что в условиях отсутствия соответствующей нормативной базы подготовка новых образовательных стандартов затруднена, однако, необходимо внедрять в учебный процесс наиболее важные принципы и понятия новых технологий в проектировании, демонстрировать студентам потенциал современного программного обеспечения и эффективные способы его использования.

В заключение хочется отметить, что современные реалии в области информационного моделирования зданий и сооружений определяют большое число сложных задач и нерешенных вопросов, но вместе с тем открывают широкие возможности для новых научных исследований и достижений.

Список цитированных источников

1. Скворцов, А.В. BIM для автомобильных дорог: оценка зрелости технологии // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – №2(3). – С. 12–21.
2. Скворцов, 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.
3. Yin, R.K. Case study Research, Second Edition. – California: Sage Publications. 1994.
4. National Building Information Modelling Standard / National Institute of Building Sciences, buildingSMARTalliance. – 2007. – 182 p.
5. Succar, B. Building Information Modeling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders // Automation in Construction. – 2009. – Vol. 18 (3). – P. 357–375.

УДК 624.13

РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК НА ВИНКЛЕРОВСКОМ ОСНОВАНИИ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИКЛАДНОГО ПАКЕТА «*MATHEMATICA*»

Босаков С. В., Козунова О. В.

Введение. Широко распространённые ленточные фундаменты как фундаменты мелкозаложенного под многоэтажные здания и сооружения на естественном грунтовом основании проектируются и моделируются в виде системы из перекрестных лент на различных моделях упругого основания. В этом случае система перекрестных лент заменяется на систему перекрестных балок на упругом основании, и последняя является расчетной моделью.

Методами расчета системы перекрестных балок занимались М.И. Горбунов-Посадов [1], И.А. Симвулиди [2], которые привели приближенное решение этой задачи. С.Д. Семенюк в своей диссертации [3] при расчете системы перекрестных балок на упругом четвертьпространстве использовал метод Ритца [4], где за совокупность координатных функций в основной системе способа Б.Н. Жемочкина [5] принят тринадцатичленный полином от функций двух переменных.

Метод перемещений для расчета балки на упругом основании предложил использовать Д.С. Пащевский [6]. Ниже метод перемещений в традиционной постановке без учета трения на контакте балки с основанием предлагается использовать для расчета системы перекрестных балок (или сетчатых плит по терминологии [2]) на основании Винклера.