



CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 11, № 3, 2020

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2020.3.04

УДК 69.009

АНАЛИЗ ЗРЕЛОСТИ BIM-РЕШЕНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЯ

А.С. Сунцов, О.Л. Симченко, Ю.А. Толкачев, Е.Л. Чазов, Д.Р. Самигуллина

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Ижевск, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 21 апреля 2020

Принята: 10 июня 2020

Опубликована: 30 сентября 2020

Ключевые слова:

анализ, информационное моделирование, BIM-решения, здания и сооружения, жизненный цикл.

АННОТАЦИЯ

В статье посредством изучения рынка BIM-решений проведен анализ возможностей информационной модели здания с точки зрения ее соответствия современной идеологии BIM. Развиваясь в направлении сопровождения процесса возведения здания – с момента идеи его строительства до полного демонтажа, концепция BIM также включила в себя экономическую и плановую составляющие. На современном этапе информационная модель должна развиваться и жить вместе со зданием, даже после сдачи его в эксплуатацию. Цель настоящего исследования состоит в проведении анализа уровня зрелости BIM-решений в соответствии с текущим развитием BIM-технологий на всех этапах жизненного цикла здания. Выделены этапы создания модели: составление технического задания на проектирование, выполнение инженерных изысканий, составление трех видов информационной модели в соответствии с требованиями к разработке соответствующих разделов проектной документации. Выделены этапы жизненного цикла BIM-модели, нуждающиеся в доработке: эксплуатация, демонтаж зданий. Рассмотрены особенности составления информационных моделей, существующих BIM-решений от различных производителей программного обеспечения. Выполнено сравнение существующих BIM-решений на всех этапах создания информационной модели. Для анализа BIM-решений будет использован метод экспертной оценки. Составлен перечень показателей и их рейтинговый вес для методики экспертных оценок. Выполнена оценка зрелости BIM-решений. В результате анализа был составлен график, наглядно демонстрирующий степень зрелости информационной модели для жизненного цикла. Определен средний процент развитости в результате оценки. Некоторые BIM-решения вызывают вопрос целесообразности их использования в сфере BIM-технологий.

© ПНИПУ

© **Сунцов Александр Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент.

Симченко Ольга Леонидовна – старший преподаватель.

Толкачев Юрий Александрович – бакалавр, e-mail: ukushen13@gmail.com.

Чазов Евгений Леонидович – аспирант.

Самигуллина Дания Рустамовна – бакалавр, e-mail: dan.samigullina@yandex.ru.

Alexander S. Suntsov – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor.

Olga L. Simchenko – Senior Lecturer.

Yurii A. Tolkachev – Student, e-mail: ukushen13@gmail.com.

Evgenii L. Chazov – Postgraduate Student.

Daniya R. Samigullina – Student, e-mail: dan.samigullina@yandex.ru.

MATURITY ANALYSIS OF BIM SOLUTIONS AS A TOOL FOR BUILDING LIFE CYCLE SUPPORT

A.S. Suntsov, O.L. Simchenko, Y.A. Tolkachev, E.L. Chazov, D.R. Samigullina

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 21 April 2020
Accepted: 10 June 2020
Published: 30 September 2020

Keywords:

analysis, information modeling, BIM-solutions, buildings and structures, life cycle.

ABSTRACT

In this article, by studying the market for BIM solutions, we analyze the capabilities of the building information model for its compliance with the modern BIM ideology. Development in the direction of supporting the process of building construction: from the moment of the idea of its construction to complete dismantling, the BIM concept also included economic and planned components. At the present stage, the information model should develop and live with the building, even after putting it into operation. The purpose of this study is to analyze the maturity level of BIM solutions in accordance with the current development of BIM technologies at all stages of the building's life cycle. The stages of creating a model are distinguished: drawing up technical specifications for designing, performing engineering surveys, compiling 3 types of information models in accordance with the requirements for the development of the relevant sections of project documentation. The stages of the BIM-model life cycle that need to be improved are identified: operation, dismantling of buildings. The features of compiling information models, existing BIM solutions from various software manufacturers are considered. The comparison of existing BIM-solutions at all stages of creating an information model. For the analysis of BIM solutions, an expert assessment method will be used. A list of indicators and their rating weight for the methodology of expert evaluations is compiled. An assessment of the maturity of BIM-solutions. As a result of the analysis, a graph was compiled that clearly demonstrates the degree of maturity of the information model for the life cycle. The average percentage of development as a result of the assessment is determined. Some BIM solutions raise the question of the appropriateness of their use in the field of BIM technologies.

© PNRPU

Введение

Информационное моделирование здания (BIM – Building Information Modeling) – это концепция подхода к строительному процессу как к единой структуре, которая включает в себя все этапы жизненного цикла здания.

Изначально развиваясь только в проектной сфере, BIM позиционировалось, применялось и развивалось в качестве новейшего подхода к процессу возведения здания. Однако данная концепция достаточно быстро перешла от просто нового метода проектирования к чему-то большему. На данный момент это абсолютно другой механизм, не только ориентированный под задачи возведения и оснащения здания, но и включающий не менее важные моменты жизненного цикла здания, такие как обеспечение его последующей эксплуатации и ремонта [1].

Развиваясь в направлении сопровождения процесса возведения здания – с момента идеи его строительства до полного демонтажа, концепция BIM также включила в себя экономическую и плановую составляющие.

На современном этапе информационная модель должна развиваться и жить вместе со зданием, даже после сдачи его в эксплуатацию.

Цель настоящего исследования состоит в проведении анализа уровня зрелости [2] BIM-решений в соответствии с текущим развитием BIM-технологий на всех этапах жизненного цикла здания.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) выявить основные этапы жизненного цикла здания;
- 2) изучить рынок BIM-решений в отношении каждого этапа;
- 3) провести анализ уровня зрелости BIM-решений.

Основная часть

Согласно нормативному документу в области строительства СП 333.1325800.2017 «Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла», введенному в действие с 19 марта 2018 г., информационное моделирование объектов строительства – это процесс создания и использования информации о строящихся, а также завершенных объектах строительства в целях координации входных данных, организации совместного производства и хранения данных, а также их использования для различных целей на всех этапах (стадиях) жизненного цикла (рис. 1).

Для анализа BIM-решений будет использован метод экспертной оценки. Составлен перечень показателей и их рейтинговый вес для методики экспертных оценок. Результаты представлены в табл. 1.

Итоговый критерий рассчитывается по формуле

$$B = \sum_{i=1}^k \sigma_i P_i, \quad (1)$$

где σ – балл оценки i -го количественного критерия (макс = 100); P – весовой коэффициент i -го количественного критерия, в процентах; k – общее число количественных критериев.

Для наиболее наглядного результата полученные итоги будут представлены на графике, координатная ось по горизонтали отражает все этапы (стадии) жизненного цикла здания.

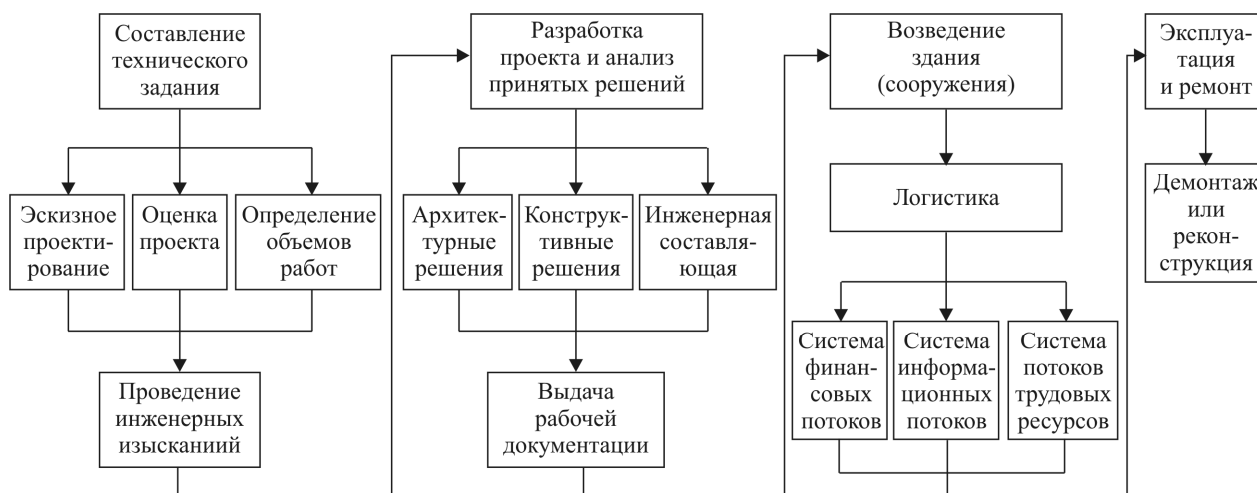


Рис. 1. Схема этапов жизненного цикла здания
Fig. 1. Scheme stages of the building's life cycle

Рассмотрим подробнее горизонтальную ось. Анализировать жизненный цикл здания будем укрупненно. В качестве основных элементов возьмем этапы: подготовка технического задания, проведение инженерных изысканий, разработка проекта, анализ принятых архитектурно-строительных решений, выдача рабочей документации, возведение здания/сооруже-

ния, логистика, эксплуатация и ремонт, демонтаж или реконструкция [3]. Также в качестве одного из элементов горизонтальной оси примем процесс обработки, накопления и обмена массивов информации.

Техническое задание (ТЗ) в рамках BIM-проектирования – это документ, к которому дополнительно предъявляются требования (в сравнении с типовой формой) в сфере BIM. При этом данные требования следует отнести как к информационной модели, так и результату, который можно получить после построения модели. В научной среде представленные требования называются Информационными требованиями заказчика (Employer Information Requirement – EIR) [4]. В настоящий момент наблюдается положительная тенденция к исполнению этих требований при проектировании и использовании BIM-инструментов.

Этап проведения инженерных изысканий важен для дальнейшей разработки, так как их результат является основанием для проектирования.

На стадии полевых работ для топографической съемки используются цифровые теодолиты-тахеометры и системы лазерного сканирования. Данные приборы сохраняют информацию в своих контролерах, а после передают на ЭВМ. В результате этого, для дальнейшей разработки мы получаем массив точек. Каждая из этих точек является носителем информации о своей координате и высотной отметке [5]. Полученные данные импортируются в AutodeskCivil 3D или ПК CREDO, которые, в свою очередь, по данным точкам формируют структурные линии, отражающие характерные элементы рельефа, а после, триангулируя модель, выстраивают их [6].

AutodeskCivil 3D (как и отечественный аналог ПК CREDO) принимает полученные в результате точки, не имеющие отметок, которые отражают локальные особенности рельефа, а также формирует модели существующих коммуникаций с помощью полилиний в информационной модели сети, в которой будет заложена ее глубина от поверхности земли. Построение автоматических разрезов возможно на основании применения специального приложения для AutodeskCivil 3D – GeotechnicalModule. Построение происходит на основании формирования поверхностей, расположенных одна над другой. Однако в данном случае дополнительно импортируются данные о высоте залегания слоев основания. Проблема вышеуказанного модуля заключается в том, что все данные со скважин должны вводиться вручную, что значительно замедляет процесс формирования геологического разреза.

Основное преимущество AutodeskCivil 3D – комплексная разработка взаимодополняющих программных продуктов (Revit, AutoCAD) [7], поэтому корректность и правильность импорта и экспорта данных выше, чем у отечественного аналога (результат работы ПК CREDO оформляется в формат AutoDesk – DWG) [8].

Подводя итог по данному этапу, можно заключить, что отрасль инженерных изысканий в среде BIM на данный момент имеет достаточно средств, чтобы работать по новым отраслевым стандартам.

Одним из самых развивающихся в настоящее время этапов жизненного цикла в среде BIM является разработка проекта. Разработчики BIM-решений не только постоянно совершенствуют свои программы, но и делают на них наибольший акцент в своем представлении о BIM.

В настоящее время в связи со слабой технической оснащенностью в отрасли (отсутствие хорошей компьютерной техники у службы технического заказчика, генерального подрядчика и субподрядчиков) не представляется возможным выполнять строительные работы по единой информационной модели [9], поэтому целесообразным является ее деление

на подразделы, такие как архитектурная, конструктивная, инженерная. Разделенные модели связаны между собой форматом IFC и неизменной геометрией.

Рассмотрим такой этап, как создание архитектурной модели здания или сооружения, включая планировку местности, но исключая расчеты строительных конструкций и инженерные коммуникации.

ArchiCAD от компании GRAPHISOFT позволяет быстро моделировать здание и окружающую среду. В данном решении есть как универсальные инструменты моделирования (стены, перекрытия, окна), так и возможность создавать свои библиотечные элементы, в том числе сложные по конфигурации. Инструменты оформления и выпуска документации раздела «АР», «АС» и «ГП» в требуемом виде. Использование ArchiCAD для реализации других разделов является возможным. Существующие надстройки для ArchiCAD в полной мере удовлетворяют требованию современного BIM-решения, но при проектировании возникает сложность с поиском готовых библиотечных GDL-файлов от производителей строительных материалов и техники [10].

Renga – отечественный аналог для моделирования зданий и окружающей среды от компании АСКОН. Отличается простым понятным интерфейсом и способом взаимодействия с готовыми библиотечными элементами – стилями. Аналогично ArchiCAD сложно найти готовые «стили».

На данный момент Revit является одним из лучших представителей BIM-решений. Готовые или типовые решения для проектирования в Revit называются «семействами» [11]. В сравнении с Renga и ArchiCAD Autodesk «шагнул немного дальше» и ведет активную работу с производителями строительных материалов и технологий строительства. Результат этой работы – большое количество бесплатных готовых для проектирования «семейств» – параметризованных компонентов здания. Благодаря этому проектирование простых зданий может свестись к простой «сборке» объекта из готовых технических решений – это дает ощутимое преимущество перед конкурентами. Сравнение выполнено по методу экспертной оценки (см. табл. 1).

Таблица 1

Архитектурная BIM модель

Table 1

Architectural BIM model

Наименование показателя, критерия или признака (вес показателя, %)	ArchiCAD	Renga	Revit	ArchiCAD	Renga	Revit
Удобство интерфейса	1	1	0,5	9,1	9,1	4,55
Простота создания библиотечных элементов	1	1	0,75	9,1	9,1	6,8
Возможность совместной работы	1	1	0,75	13,6	13,6	10,2
Качество взаимодействия с другими ПО	0,75	0,5	1	10,2	6,8	13,6
Комплексная разработка ПО	0,5	0,5	1	4,55	4,55	9,1
Возможность применения готовых библиотечных каталогов	0,5	0,5	1	9,55	9,55	18,1
Стоимость	1	0,75	0,75	27,27	20,45	20,45
Итого:				83,37	73,15	82,8

Рассмотрим следующий этап – создание конструктивной BIM-модели:

После построения архитектурной BIM-модели результаты моделирования сохраняются в IFC формат и передаются в ПК (программные комплексы) для создания информационной конструкторской модели с сохранением всех геометрических показателей.

Наиболее популярным и распространенным на данный момент является ПО от разработчика SCAD Soft – SCAD Office. Первоначальной задачей BIM-решения на этапе расчета конструкций является возможность импортировать геометрию модели и характеристики каждого ее элемента и вывести расчетную модель здания. Комплекс SCAD Office отлично справляется с расчетом конструкций, так как не только выполняет все виды расчетов, но и снабжен модулями анализа прочности и подбора сечений элементов стальных конструкций, а также подбора арматуры в элементах железобетонных конструкций [12]. Однако интероперабельность SCAD Office с другими ПО в формате IFC – сложный и трудоемкий процесс. Возникает сложность с ориентацией осей, связанная с неправильным захватом ячеек, задающих эту ориентацию. Самый большой недостаток данного ПО – отсутствие графического модуля для выполнения чертежей.

Разработчик Tekla создал BIM-решение, называемое TeklaStructures. Данное ПО является неплохим решением для конструкторов. Оно хорошо решает задачи моделирования металлических и железобетонных конструкций. TeklaStructures имеет преимущество в среде создания типовых и разработки собственных узлов. Однако программа, созданная для конструкторов, не позволяет заниматься прочностными расчетами, что является значительным недостатком для данного решения.

Revit от компании AutoDesk не позволяет напрямую заниматься расчетами, несмотря на то что в данном решении реализована возможность создания аналитической модели. Архитектурная часть проработана отлично и позволяет выстраивать свободные формы. Загружаемые семейства в AutodeskRevit получили наибольшее развитие, в сравнении с библиотеками других ПО, благодаря наибольшей популярности Revit на рынке. AutodeskFabricationCADmer – программное обеспечение для подготовки производства инженерных коммуникаций, помогающее улучшить детализацию и оценку замоделированной инженерии. Revit с помощью сторонних расчетных модулей (Dynamo) решает проблемы с расчетами и нехваткой автоматизации, выводя программирование в данном BIM-решении на первый план. Dynamo с помощью ноды PythonScript напрямую обращается к Revit на языке программирования и позволяет с помощью готовых или собственноручных скриптов автоматизировать моделирование [13].

ПК ЛИРА – решение, наиболее развиваемое в последние годы. Построив модель в одной из программ для BIM-моделирования, можно в формате IFC импортировать данные в ПК ЛИРА. После импорта будет получена расчетная модель несущих элементов здания, которую можно рассчитать на различные виды нагрузок. Стоит отметить, что важным элементом BIM-решений является автоматизация процессов производства. ПК ЛИРА подбирает и проверяет сечения стальных и железобетонных конструкций и автоматически формирует рабочие чертежи колонн, балок и т.д. Помимо этого, данное ПО позволяет проводить расчеты фундаментов благодаря модулю «Грунт», который по введенным характеристикам слоев достаточно точно отражает поведение грунта [14].

В процессе разработки стадии Р модель продолжает регулярно проверяться на наличие коллизий и ошибок построения пространства, что немного замедляет процесс выдачи рабочей документации, но позволяет получить более достоверную и точную модель. Также ПК ЛИРА САПР хорошо совместим с другими программными комплексами с помощью IFC формата, например с Revit. Сравнение выполнено по методу экспертной оценки (табл. 2).

Таблица 2

Конструктивная BIM-модель

Table 2

Constructive BIM model

Наименование показателя, критерия или признака (вес показателя, %)	ПК SCAD	Tekla Structures	Revit	ПК ЛИРА	SCAD	Tekla Structures	Revit	ПК ЛИРА
Удобство интерфейса	1	1	0,75	1	5,5	5,5	4,1	5,5
Выполнение расчета на прочность и устойчивость	1	0	1	1	16,7	0	16,7	16,7
Простота создания библиотечных элементов	0,5	1	1	1	4,2	8,3	8,3	8,3
Возможность совместной работы	1	1	0,75	1	13,6	13,6	10,2	13,6
Качество взаимодействия с другими ПО	0,5	0,75	1	1	4,2	6,3	8,3	8,3
Комплексность разработки ПО	0,5	0,5	1	1	2,77	2,77	5,55	5,55
Интеграция со станками ЧПУ	0	1	1	0,75	0	11,1	11,1	8,35
Возможность создания готовых чертежей	0	1	1	1	0	16,7	16,7	16,7
Возможность применения готовых библиотечных каталогов	0,5	0,75	1	1	5,55	8,35	11,1	11,1
Стоимость	1	0,75	0,75	0,5	18,1	11,8	11,8	9,05
Итого:					70,62	84,42	98,3	97,6

Рассмотрим заключительный этап – создание инженерной BIM-модели:

ProjectStudioCS выпускает целый ряд BIM-решений для различных специальностей: nanoCAD ОПС – решение проектирования охранно-пожарной сигнализации, nanoCAD СКС – решение проектирования структурированных кабельных систем, nanoCAD ВК и nanoCAD – решение проектирования отопления. Преимуществом данного BIM-решения является низкая цена, высокий уровень адаптации под российские стандарты, оборудование и хорошая поддержка от производителя учебных заведений. Недостатком – отсутствие собственного формата, по факту система nanoCAD продуктов является приложением к уже действующим ПК ArchiCAD или Revit.

MagiCAD – инженерное решение, предназначенное для проектирования инженерных сетей (чаще отопление, вентиляция и кондиционирование). Также предоставляет возможность запроектировать наружные сети тепло-, газо- и водоснабжения. Недостатками MagiCAD являются высокая стоимость продукта, низкий уровень адаптации под российские стандарты оформления и необходимость создания подробной модели на ранних этапах проектирования [15]. Особенность MagiCAD – это его работа на базе AutoCAD и Revit, что понижает его статус как самостоятельной программы (например, вся документация будет оформляться в AutoCAD).

Revit, благодаря комплексному подходу к составлению информационной модели (архитектуры, конструкций и инженерных коммуникаций), использует единый формат данных (rvt), что позволяет просто собрать единую BIM-модель. Этому дополнительно способствует большое количество готовых информационных семейств, предоставляемых производителями оборудования и материалов. Сравнение выполнено по методу экспертной оценки (табл. 3).

Таблица 3

Инженерная BIM-модель

Table 3

Engineering BIM model

Наименование показателя, критерия или признака (вес показателя, %)	ProjectStudioCS NanoCaD	MagiCAD	Revit	ProjectStudioCS NanoCaD	MagiCAD	Revit
Удобство интерфейса	1	1	0,75	7,14	7,14	5,36
Простота создания библиотечных элементов	1	1	1	14,28	14,28	14,28
Возможность совместной работы	0,75	1	0,75	5,36	7,14	5,36
Качество взаимодействия с другими ПО	0,75	0,75	1	8,03	8,03	10,71
Комплексность разработки ПО	1	1	1	10,71	10,71	10,71
Возможность создания готовых чертежей	1	1	1	7,14	7,14	7,14
Возможность применения готовых библиотечных каталогов	1	0,75	1	21,42	16,06	21,42
Стоимость	1	0,5	0,75	21,42	10,71	16,06
Итого:				95,5	88,36	91,04

Далее необходимым является описание программных комплексов по моделированию процессов строительства и управлению проектами.

Autodesk BIM 360 – это набор облачных сервисов, используемых на стадии проектирования и строительства. Его ключевая особенность заключается в доступе к данным с компьютеров и мобильных устройств – объединение всех участников процесса. В ходе исследования этапа возведения здания наиболее интересен сервис BIM 360 Glue. Решение позволяет строителям наблюдать с планшета 3D-модель прямо на площадке производства [16]. Контроль за ходом проведения работ также учтен. Принцип действия прост: инженер проверяет строительный процесс и отмечает в модели выполненные элементы. Текущая информация поступает на сервер и отображается на компьютерах или планшетах всех заинтересованных лиц. Геодезисты с помощью цифровых тахеометров и модуля Layout выносят модель в натуру и проверяют отклонения от проектных данных. Благодаря Glue и Layout на стройплощадке уменьшилось количество ошибок и проекты стали более качественными. В процессе анализа набора сервисов и прочих программ не найдено BIM-решение, позволяющее контролировать качество строительного материала. И хотя контроль качества самого процесса строительства имеет решение в среде BIM [17, 18], он остается субъективным в ряде случаев, что является слабой стороной данного этапа жизненного цикла.

Программа BIM WIZARD поддерживает формат IFC, что позволяет импортировать данные из информационной модели с корректной привязкой сметных норм к каждому элементу. Благодаря этому BIM WIZARD способен автоматически формировать локальную смету и корректировать ее в случае внесения изменений в модель. Сопутствующий продукт – Plan WIZARD – автоматически преобразует полученные данные в графики работ. Все автоматически сформированные данные требует корректировки, чтобы исключить повтор строк одинаковых работ. Программный комплекс TrioBoxWIZARD значительно улучшает автоматизацию формирования сметных расчетов и календарного планирования.

Главным недостатком логистики на основании 4D-модели является сложность формулировки и неспособность иметь дело с большими проектами. Также современные программные комплексы не учитывают рабочие пространства, требуемые во время выполнения работ строительства.

Наиболее продолжительный этап жизненного цикла является самым спорным. На этапе эксплуатации процесс доработки информационной модели продолжается. В статье не будет упомянуто программ, ориентированных под этап эксплуатации здания, так как на рынке их огромное количество и различия между ними малозаметны. Такие программы получили общее название CAFM (Computer Aided Facility Management). Именно на данном этапе идеология BIM проявляется в высшей степени, так как в этот момент информация, занесенная в модель на этапе проектирования, выходит на первый план. BIM-решения используют информационную модель и данные по каждому ее элементу для формирования графиков плановых мероприятий, учета оборудования и гарантийных обязательств, мониторинга и оптимизации инженерных систем, а также для контроля расходования ресурсов [19, 20].

К сожалению, CAFM сервисы не являются востребованными в достаточной мере, так как заказчики в большинстве случаев ограничиваются исключительно визуальным трехмерным представлением будущего проекта, не ориентируясь на перспективы и выгоды применения BIM на последующих этапах строительства.

Этап демонтажа или реконструкции по сопутствующим BIM-решениям не отличается от этапа разработки проекта и его анализа. ПО, проанализированные на этапе создания модели, справляются с созданием документации для реконструкции и демонтажа не хуже, чем с проектированием с нуля. Все BIM-программы, участвующие на протяжении всего жизненного цикла здания, найдут применение на данном этапе.

В процессе анализа рынка BIM-решений было выявлено небольшое отставание предложенных программных комплексов от заветной идеологии BIM (рис. 2). EIR постепенно привлекает все больше внимания. Поэтому техническое задание в BIM обладает высоким уровнем проработки.

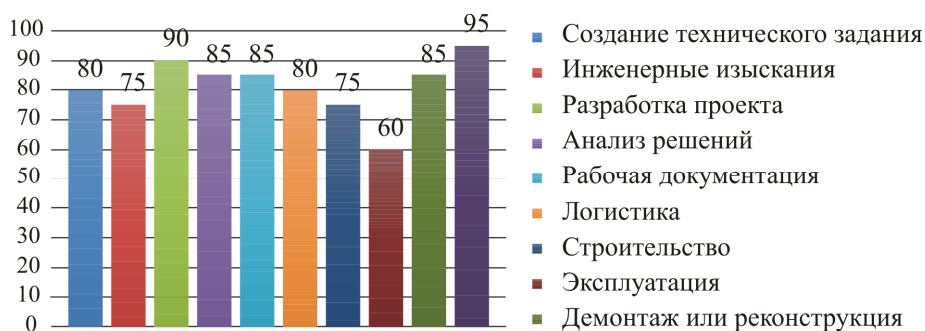


Рис. 2. Процент зрелости BIM-решений в сопоставлении с этапами жизненного цикла
Fig. 2. The percentage of maturity BIM solutions as compared stages of the building's life cycle

Инженерные изыскания имеют возможность проводиться с использованием BIM-технологий, но зрелость продукции в качестве инструмента быстрого и качественного моделирования не достигает требуемого уровня. Оценка зрелости BIM-решений на этапе инженерных изысканий составляет 75 % и представлена на диаграмме (см. рис. 2).

Заключение

Процесс моделирования в среде BIM привлекает наибольшее внимание в настоящее время. Оценив разработку проекта с точки зрения системности, можно сделать вывод, что моделирование является одним из самых передовых этапов жизненного цикла. Разработчики BIM-программ дорабатывают инженеррию как элемент информационной модели. Учитывая некоторые недостатки, моделирование оценено в 90 % от требуемого уровня.

Анализ решений, полученных в результате разработки проекта в BIM, демонстрирует высокий уровень зрелости. Расчет инженерных систем немного отстает, как и на этапе моделирования. В соответствии с этим BIM-решения закрывают задачи проведения расчетов при строительстве на 85 %.

В BIM-проектировании этап выдачи документации зависит от самого моделирования. Если при разработке проекта нет возможности проработать некоторые элементы, то и рабочая документация, с использованием BIM, не будет выдана в полной мере.

Программные комплексы TrioBoxWIZARD и AutodeskNavisworks в качестве решения задач BIM логистики справляются на 80 %. В настоящее время этап логистики продолжает развиваться.

Программное обеспечение строительного процесса не отличается от решений на этапе изысканий. Несмотря на достаточную зрелость продуктов BIM, остаются проблема оборудования на стройплощадке и субъективность оценки качества работ.

Этап эксплуатации имеет большие перспективы BIM в будущем. К сожалению, на данный момент упускаются возможности использования информационной модели на наиболее продолжительном этапе жизненного цикла. BIM-решения на 50–60 % удовлетворяет современной идее BIM.

Демонтаж и реконструкция обладают процентом зрелости, приближенным к оценке этапа моделирования здания. BIM-решения моделирования изначально закладывают возможность вносить информацию об элементах, подлежащих демонтажу или реконструкции.

Возможность обмена информацией в среде BIM посредством анализа оценена на 95 %. Это означает, что сервисы, представленные выше, обладают степенью зрелости, удовлетворяющей идеологии BIM.

В результате анализа был получен график, наглядно демонстрирующий степень зрелости информационной модели для жизненного цикла. Средний показатель развитости в результате оценки равен 81 %. Некоторые BIM-решения вызывают вопрос целесообразности их использования в сфере BIM-технологий. Стоит отметить, что некоторые вышеупомянутые решения не являются полноценным продуктом BIM.

Работа выполнена при финансовой поддержке Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашикова в рамках гранта № САС/20-20-10.

Библиографический список

1. Чегодаева М.А. Этапы формирования и перспективы развития BIM-технологий // Молодой ученый. – 2017. – № 10. – С. 105–108.
2. Талапов В.В. Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования здания. – М.: ДМК Пресс, 2015. – С. 285–290.

3. Звонов И.А., Нарезная Т.К., Денисова Д.Л. Проблемы и перспективы внедрения BIM технологий при строительстве и проектировании // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры. – СПб., 2018. – 29 с.
4. Гришина Н.М., Мицко Д.И. Разработка и внедрение BIM-стандарта: исследование методов управления в строительстве // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 3 (41). – С. 267–268.
5. Пронина Л.А., Гоман В.А., Новикова В.Е. Геодезические работы по созданию цифровых топографических планов // Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития. – 2020. – С. 88–89.
6. Макаренко С.А. Создание поверхности в среде AutoCAD (Civil 3D) по результатам тахеометрической съемки // Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2016. – № 2 (3). – 50 с.
7. Медведев В.И., Райкова Л.С. Программы для обработки данных лазерного сканирования местности // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2017. – № 2 (9). – 24 с.
8. Подольский А.А., Богданов М.А. Сравнительный анализ геоинженерных САПР // Наука без границ. – 2017. – № 5 (10). – С. 170–171.
9. Шестакова Е.Б., Мальщук Н.С. Основные принципы формирования единого ресурсного пространства BIM технологии // Путевой навигатор. – 2019. – № 41 (67). – С. 37–38.
10. Вайнштейн М.С. Разработка смарт-каталогов для строительного проектирования // Научное обозрение. – 2016. – № 13. – С. 19–20.
11. Артемова С.Ю., Попова К.С. Информационное моделирование зданий, разработка семейств и плагинов для Revit // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки. – М., 2019. – С. 439–441.
12. Кукушкин И.С. SCADOfficev.21 в структуре комплексной автоматизации процесса проектирования промышленных объектов // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – № 9. – 96 с.
13. Ворначева Н.Ю., Соболева В.В. Анализ возможностей языков программирования и их приложений в строительстве // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования. – Астрахань, 2019. – 142 с.
14. Прохоров И.С., Рахлецов И.А. Оценка способов моделирования грунтовых оснований в ПК «Лира» // Молодежная научная весна. – Чита, 2017. – 52 с.
15. Бардадым В.Ю. Преимущества и недостатки программы MagiCAD как надстройки AutoCAD // Инновационная наука. – 2019. – № 12. – С. 33–35.
16. Автоматизация строительства с использованием информационных технологий / А.А. Скрипкина, А.С. Тимофеева, А.А. Афанасьева, И.Л. Ципурский // Научный формат. – 2019. – № 2 (2). – 179 с.
17. Топчий Д.В., Токарский А.Я. Концепция контроля качества организации строительных процессов при проведении строительного надзора на основе использования информационных технологий // Вестник евразийской науки. – 2019. – № 3. – С. 3–6.
18. Богданов А.Н., Листратов Я.А. Строительный контроль методом наземного лазерного сканирования // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – № 4 (50). – С. 404–406.
19. Куракова О.А., Макеева Х. Использование BIM-технологий на стадии эксплуатации объектов недвижимости // Недвижимость: экономика, управление. – 2018. – № 2. – С. 56–57.
20. Деменев А.В., Лопатко Р.Н. Эксплуатация зданий и сооружений на основе BIM стандартов // ScienceandTechnology. – 2019. – № 1. – 45 с.

References

1. Chegodaeva M.A. Etapy formirovaniya i perspektivy razvitiya BIM-tekhnologij [Stages of formation and prospects of development of BIM technologies]. *Molodoj uchenyj*, 2017, no. 10, pp. 105-108.
2. Talapov V.V. Tekhnologiya BIM. Sut' iosobennosti vnedreniya informacionnogo modeli-rovaniya zdaniya. [The essence and features of building information modeling implementation]. Moscow, DMK Press, 2015, pp. 285-290.
3. Zvonov I.A., Narezhnaya T.K., Denisova, D.L. Problemy i perspektivy vnedreniya BIM tekhnologij pri stroitel'stve i proektirovanii [Problems and prospects of implementing BIM technologies in construction and design]. *BIM-modelirovanie v zadachah stroitel'stva i arhitektury*, Saint Peterburg, 2018, 29 p.
4. Grishina N.M., Micko D.I. Razrabotka i vnedrenie BIM-standarta: issledovanie metodov upravleniya v stroitel'stve [Development and implementation of the BIM standard: research of management methods in construction]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2017, no. 3 (41), pp. 267-268.
5. Pronina. L.A., Goman V.A., Novikova V.E. Geodezicheskie raboty po sozdaniyu cifrovyyh topograficheskikh planov [Geodetic works on creation of digital topographic plans]. *Geodeziya, zemleustrojstvo i kadastry: problemy i perspektivyrazvitiya*, 2020, pp. 88-89.
6. Makarenko S.A. Sozdanie poverhnosti v srede AutoCAD (Civil 3D) porezul'tatam ta-heometricheskoy s'emki [Creating a surface in AutoCAD (Civil 3D) based on total station survey results]. *Modeli i tekhnologii prirodoobustrojstva (regional'nyj aspekt)*, 2016, no. 2 (3), 50 p.
7. Medvedev V.I. Programmy dlya obrabotki dannyh lazernogo skanirovaniya mestnosti [Software for processing data of laser scanning of terrain]. *Rajkova L.S. SAPR i GIS avtomobil'nyh dorog*, 2017, no. 2 (9), 24 p.
8. Podol'skij A.A., Bogdanov M.A. Sravnitel'nyj analiz geoinzhenernyyh SAPR [Comparative analysis of geoen지니어ed CAD systems]. *Nauka bez granic*, 2017, no. 5 (10), pp. 170-171.
9. Shestakova E.B., Mal'shchukova N.S. Osnovnye principy formirovaniya edinogo re-sursnogo prostranstva BIM tekhnologii [Basic principles of forming a single resource space of BIM technology]. *Putevoj navigator*, 2019, no. 41 (67), pp. 37-38.
10. Vajnshtejn M.S. Razrabotka smart-katalogov dlya stroitel'nogo proektirovaniya [Develop-ment of smart catalogs for construction design]. *Nauchnoe obozrenie*, 2016, no. 13, pp. 19-20.
11. Artemova S.YU., Popova K.S. Informacionnoe modelirovanie zdaniy, razrabotka se-mejstv i plaginov dlya Revit [Building information modeling, development of families and plugins for Revit]. *Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya otraslevoj nauki*, Moscow, 2019, pp. 439-441.
12. Kukushkin I.S. SCAD Office v.21 v structure kompleksnoj avtomatizacii processa proektirovaniya promyshlennyh ob"ektov [SCADOfficev.21 in the structure of integrated auto-mation of the design process of industrial facilities]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2015, no. 9, 96 p.
13. Vornacheva N.Y., Soboleva V.V. Analiz vozmozhnostej yazykov programmirovaniya i ih prilozhenij v stroitel'stve [Analysis of the capabilities of programming languages and their ap-plications in construction]. *Potencial intellektual'no odarennoj molodezhi – razvitiyu nauki i obrazovaniya*, Astrahan', 2019, 142 p.

14. Prohorov I.S., Rahlecov I.A. Ocenka sposobov modelirovaniya gruntovyh osnovanij v PK «Lira» [Evaluation of methods for modeling soil bases in the PC " Lira"]. *Molodezhnaya nauchnaya vesna*, Chita, 2017, 52 p.
15. Bardadym V.Y. Preimushchestva i nedostatki programmy MagiCAD kak nadstrojki AutoCAD [Advantages and disadvantages of MagiCAD as an AutoCAD add-on]. *Innovacionnaya nauka*, 2019, no. 12, pp. 33-35.
16. Skripkina A.A., Timofeeva A.S., Afanas'eva A.A., Cipurskij I.L. Avtomatizaciya stroitel'stva s ispol'zovaniem informacionnyh tekhnologij [Construction automation using information technologies]. *Nauchnyj format*, 2019, no. 2 (2), 179 p.
17. Topchij D.V., Tokarskij A.Y. koncepciya kontrolya kachestva organizacii stroitel'nyh processov pri provedenii stroitel'nogo nadzora na osnove ispol'zovaniya informacionnyh tekhnologij [The concept of quality control of the organization of construction processes during construction supervision based on the use of information technologies]. *Vestnik evrazijskoj nauki*, 2019, no. 3, pp. 3-6.
18. Bogdanov A.N., Listratov Y.A. Stroitel'nyj kontrol' metodom nazemnogo lazernogo skanirovaniya [Construction control by ground-based laser scanning]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2019, no. 4 (50), pp. 404-406.
19. Kurakova O.A., Makeeva H. Ispol'zovanie BIM-tekhnologij na stadia ekspluatatsii ob"ektov nedvizhimosti [Use of BIM technologies at the stage of operation of real estate objects]. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie*, 2018, no. 2, pp. 56-57.
20. Demenev A.V., Lopatko R.N. Ekspluatatsiya zdaniy i sooruzhenij na osnove BIM standartov [Operation of buildings and structures based on BIM standards]. *Science and Technology*, 2019, no. 1, 45 p.