

УДК 004.94

DOI 10.17513/snt.39632

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Лемеза В.А., Зверева О.М., Придвижкин С.В., Новиков И.В.

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: Viktoria.Lemeza@urfu.me, OM-Zvereva2008@yandex.ru, s.v.pridvizhkin@urfu.ru, i.v.novikov@urfu.ru

В статье рассматриваются различные подходы к решению проблемы автоматизации процесса контроля качества цифровых информационных моделей объектов строительства. Проблема актуальна в связи с необходимостью создания таких моделей, закрепленной в том числе на законодательном уровне, и потребностью в том, чтобы эти модели не содержали ошибок, отвечали потребностям заказчика и могли быть использованы на всех этапах жизненного цикла объекта строительства. Рассмотрены два основных подхода к решению проблемы автоматизации: использование готовых информационных систем, работающих с цифровыми информационными моделями, и создание своих программных продуктов. В качестве готовых информационных систем рассмотрены наиболее часто используемые на практике системы, такие как Autodesk Navisworks, Solibri Model Checker, Allcheck, Revit Model Checker, РусБИМэксперт, EXPRESS Data Manager. Приведен сравнительный анализ функционала, которым обладают эти системы и который может быть использован для проведения проверок, обеспечивающих качество моделей. Отмечено, что большинство этих систем иностранного производства, многие компании-производители ушли с российского рынка, поэтому использование этих систем находится под вопросом. Более перспективным в современных сложных геополитических условиях является второй подход – создание собственного ПО. Рассмотрены два варианта реализации этого подхода: использование одного из современных языков программирования и работа с визуальной средой программирования Dynamo. Первый вариант обладает большей гибкостью использования, но требует профессиональных компетенций в области программирования. Второй – обладает тем достоинством, что, предлагая достаточный функционал для создания специфических проверок, он не требует профессиональных знаний и навыков в области создания программного обеспечения и может быть реализован самими строительными компаниями, в штате которых есть специалисты в области технологии информационного моделирования.

Ключевые слова: цифровая информационная модель, BIM-технологии, качество, программное обеспечение, анализ

BUILDING INFORMATION MODEL QUALITY CONTROL AUTOMATION

Lemeza V.A., Zvereva O.M., Pridvizhkin S.V., Novikov I.V.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, e-mail: Viktoria.Lemeza@urfu.me, OM-Zvereva2008@yandex.ru, s.v.pridvizhkin@urfu.ru, i.v.novikov@urfu.ru

This article discusses various approaches to solving the problem of automating the process of building information models quality control. The problem is relevant in connection with the need to create such models, which is adopted at the legislative level, and the appeal for these models to be error-free, meet the needs of the customer, and can be used at all stages of the building life cycle. Two main approaches to solve the problem of automation are considered: the use of ready-made information systems that work with building information models and the creation of proprietary software. The systems most commonly used in practice, such as Autodesk Navisworks, Solibri Model Checker, Allcheck, Revit Model Checker, RusBIMexpert, EXPRESS Data Manager, are considered as ready-made information systems. A comparative analysis of the functionality that these systems have, and which can be used to conduct checks that ensure the quality of models, is delivered. It is noted that most of these systems are foreign-made, many manufacturing companies have left the Russian market, in this regard, the use of these systems is questionable. More promising in today's complex geopolitical conditions is the second approach – to create proprietary software. Two options for implementing this approach are considered: using one of the modern programming languages and working with the Dynamo visual programming environment. The first option is more flexible in use, but requires professional programming skills. The second has the advantage that by offering sufficient functionality to create specific checks, it does not require professional knowledge and skills in software development and can be implemented by the construction companies themselves, which have specialists in the field of information modelling technology.

Keywords: building information model, BIM technologies, quality, software, analysis

Технология информационного моделирования (ТИМ), или Building Information Modeling (BIM), – это «современный подход к возведению, оснащению, управлению жизненным циклом здания, при котором строительный объект проектируется как единый комплекс объектов инфраструктуры, технологических систем и собственного объекта строительства» [1]. По расчетам

специалистов, применение данной технологии позволит экономить до 20% средств на проектировании и строительстве [1].

Несколько лет назад технологии информационного моделирования казались далеким будущим, однако сейчас они становятся реальностью для большинства строительных организаций. Такая тенденция обусловлена в том числе Постановлением Правительства

РФ от 05.03.2021 № 331 [2], которое декларирует обязательное применение цифровой информационной модели для объектов, финансирование которых выполняется с применением государственных средств.

Информационным основанием технологии является цифровая информационная модель (ЦИМ). Согласно [3], ЦИМ – это «совокупность взаимосвязанных инженерно-технических и инженерно-технологических данных об объекте капитального строительства, представленных в цифровом объектно-пространственном виде».

Очевидно, что цифровая информационная модель и основанные на ее базе процессы эффективны, если модель соответствует реальному объекту, не содержит ошибок и отвечает целям моделирования. В связи с этим и возникает проблема, которую можно сформулировать как проблему оценки качества цифровой информационной модели объекта строительства, так как, согласно [4], «Качество – степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям».

Процесс контроля качества ЦИМ состоит из двух основных подпроцессов: верификации и валидации. В первом подпроцессе проверяется соответствие состава включенных в модель атрибутивных и геометрических данных набору требований, во втором подпроцессе – соответствие их содержания этому набору.

Целью проведенного исследования был анализ возможных подходов к автоматизации процесса контроля качества ЦИМ объекта строительства.

Процесс контроля качества состоит из последовательности проверок, которые бывают следующих основных типов:

- проверка пространственного положения и геометрических параметров;
- проверка данных;
- проверка на 3D-координацию.

Если одна из проверок в последовательности дает неудовлетворительный результат, то ЦИМ отправляется на доработку. В этом случае оставшиеся проверки выполняться не будут.

Последовательность проверок качества ЦИМ, предложенная в [5]:

- проверка рабочих наборов: все элементы модели должны находиться в правильных рабочих наборах;
- проверка привязки элементов: в модели не должно быть элементов, привязанных к неправильным уровням;
- проверка целостности системы: все элементы, входящие в систему, должны правильно соединяться друг с другом, образуя единую систему;
- проверка инженерных решений: проверяются сечения, правильность типа ис-

пользуемого оборудования, правильность соединения элементов между собой;

- пересечения (коллизии): пересечения в рамках систем, пересечение АР-КР, пересечения со смежными системами;

- информационная наполненность, проверка на наличие и заполненность параметров.

Многие проектные фирмы вводят дополнительные проверки ЦИМ, свои требования предъявляют и органы экспертиз.

Последовательность проверок трудозатратна, и для ее проведения нужен высококвалифицированный специалист, который будет ей занят достаточное количество времени. Кроме того, не следует исключать влияние человеческого фактора: высокая квалификация не гарантирует отсутствие ошибок. Очевидна необходимость автоматизации данного процесса.

Было выявлено два возможных подхода к решению данной проблемы: использование готовых программных решений, так называемых «коробочных» продуктов, а также создание собственных программ.

Подход на основе готовых программных решений

Существуют программные системы от разных производителей, которые могут автоматизировать процесс проведения проверок ЦИМ. Перечислим наиболее популярные из них.

Autodesk Navisworks. Данный комплекс программ состоит из трех подсистем: Navisworks Manage, Navisworks Freedom, Navisworks Simulate. Для выполнения контроля качества ЦИМ используется первая из перечисленных – Navisworks Manage. В составе функционала этой подсистемы – сборка проектов, и, если есть сводная модель, осуществляется ее проверка на пространственно-временные коллизии и координацию. Найденные коллизии позволяют обнаружить пересечение различных систем или конструкций. С помощью эффективной настройки параметров программы пользователь может выводить данные о количестве элементов и материалов для дальнейшего их анализа, используя при этом связь Navisworks Manage и Microsoft Excel [6]. Также в среду Autodesk Navisworks был введен модуль «BIMACAD Navisworks Coordinator» [7], предназначенный для фиксации проектных ошибок в ЦИМ, позволяющий накапливать статистику по проекту и создавать отчеты.

Solibri Model Checker (SMC). Продукт, который предоставляет готовые инструменты для проверки BIM моделей, контроля соответствия, координации процесса проектирования [8].

Criteria	Objects	Checking features
Requirements for accessible circulation	Door	Door dimensions and their swing operation
	Corridor	Clear widths and wheelchair turning diameters
	Stair	Various requirements for risers, treads, steps, etc.
	Ramp	Slope, length, clear widths etc.
Rules for specific spaces	Washroom	Washroom door requirements, wheelchair turning
	Kitchen Storage	Wheelchair turning diameter checking
Windows requirements	Window sills	Wheelchair turning diameter checking Maximum sill height
	Surfaces requirements	Floor, wall coverings
Stair, ramp surfaces		Non-skid materials on surfaces

Пример правил проверки, доступных в SMC

Программа позволяет создавать и применять различные параметризованные правила [9]. На рисунке приведены примеры таких правил. Стоит отметить, что в программном обеспечении (ПО) Solibri имеется возможность создавать проверки не только с помощью имеющихся шаблонных правил, но и за счет создания собственных, используя при этом язык программирования Java [10].

Система Allcheck. Настраиваемая экспертная система контроля архитектурно-проектных решений, созданных в Allplan, использует возможности искусственного интеллекта. В основе ее работы лежат правила строительных проверок [11]. Выделяют несколько видов проверок, которые могут быть выполнены в программе:

- анализ координации геометрии объектов разного типа;
- анализ взаимосвязи разделов документации;
- анализ соответствия разделов сводам правил;
- анализ соответствия атрибутов (параметров) заданному регламенту.

В качестве преимуществ системы Allcheck можно выделить следующие:

- наличие детального анализа ошибок, подробное рассмотрение моделей и большее (по сравнению с аналогами) количество встроенных проверок;
- использование множества форматов файлов модели, в отличие, например, от Solibri Model Checker, который поддерживает только формат IFC.

Revit Model Checker. Данный продукт является надстройкой для среды Revit,

включен в состав BIM Interoperability Tools. Для этой среды характерны: возможность создания собственных проверок, прямая интеграция с моделью. Имеются несколько готовых и протестированных наборов проверок, реализован вывод отчетов и возможность их запуска в Revit [12].

EXPRESS Data Manager. Данная система использует язык моделирования EXPRESS. Основным ее преимуществом является возможность конвертации данных из одного формата в другой [13]. Помимо этого поддерживается возможность архивирования данных и их совместное использование. Программа EDMmodelServerManager, являющаяся компонентом EXPRESS Data Manager и ориентированная на ТИМ, предлагает следующий функционал: создание сводной модели, проверка модели в соответствии с требованиями, проверка на коллизии.

РусБИМЭксперт – российская экспертная система контроля качества ЦИМ [14]. Основаниями для создания проверок в данной системе являются строительные нормы и правила, принятые в РФ. Наличие нормативной базы, интегрированной в данную систему, отличает РусБИМЭксперт от ранее перечисленных иностранных продуктов и дает существенное преимущество над ними. В ее библиотеке имеется множество готовых проверок: проверки геометрических взаимодействий (пересечения, касание, параллельность), контроль соответствия разделов (зонирование, выпуски, отверстия), проверки для каждого раздела документации (архитектура, пожарная безопасность, конструктив, расчеты, проверка параметров по регламенту).

Сравнительный анализ ПО контроля качества ЦИМ

Название	Страна-разработчик	Проверка на коллизии	Собственные проверки	Проверка на заполнение параметров	Форматы отчетов
Autodesk Navisworks	США	+	+	–	NWD, DWF
Solibri Model Checker	Финляндия	+	+	+	PDF, RTF, XLSX
Allcheck	Германия	+	–	+	CSV, BCF
Revit Model Checker	США	–	+	+	HTML, XLSX
РусБИМэксперт	Россия	+	+	+	XML, BCF
EXPRESS Data Manager	Норвегия	+	+	+	XLSX

Сравнительный анализ ПО для автоматизации процесса контроля качества ЦИМ приведен в таблице.

Оценивая данный подход в целом, следует отметить, что он не требует привлечения дополнительных специалистов: изучить работу в этих системах можно, освоив программы дополнительного профессионального образования. Затраты в данном случае потребуются в основном на покупку лицензий, так как всё это ПО – коммерческое.

К недостаткам подхода следует отнести существование ограничений при создании проверок. Определенные правила и шаблоны существуют в системах, в этом есть определенное удобство, но и ограниченность. Пользовательские проверки создавать в некоторых системах можно, но их алгоритмы также имеют ограничения. Есть типы систем, такие как AllCheck, в которых нет возможности создания пользовательских проверок. Стоит обратить внимание и на тот факт, что большая часть программ разработаны за рубежом, а значит, не учитывают потребности российского пользователя. Российское ПО есть, но его функционал ограничен. Следует иметь в виду и то, что иностранные фирмы – производители ПО, такие как Autodesk, заявили о своем уходе с российского рынка.

Подходы на основе программирования

Еще одним вариантом автоматизации контроля качества ЦИМ является написание программных модулей на различных языках программирования. Данный подход обладает большей гибкостью, позволяя создавать любые проверки.

Этот подход можно условно разделить на два:

- создание программного кода на одном из алгоритмических языков;
- использование среды визуального программирования, такой как среда Dypamo, в которой имеются узлы (ноды), реализующие некоторые стандартные функции;

из этих узлов, как из некоторого конструктора, собираются скрипты, реализующие проверки.

Revit, являясь основной средой создания ЦИМ, предоставляет API (Application Programming Interface, т.е. набор функций, которые можно использовать в языке программирования для работы с созданной моделью). Используя такие языки программирования, как Python, Java, можно создавать программные модули (скрипты или плагины), которые используют этот API и реализуют различные проверки.

Такой подход является наиболее эффективным, как с точки зрения скорости выполнения, мощности множества проверок, которые можно реализовать, так и с точки зрения нагрузки на Revit. Однако данный способ предполагает, что специалист, работающий с моделью, владеет одним из языков программирования, что встречается достаточно редко.

Dypamo – это среда визуального программирования, некоторая «золотая середина» между готовыми системами и созданием своих программ. В среде имеются готовые компоненты – ноды (узлы), которые реализуют некоторые стандартные функции по извлечению данных из модели и их обработке. Код проверки создается путем соединения этих узлов (нодов). Следует отметить, что можно создавать собственные ноды, используя язык программирования Python, что расширяет возможности системы. Код, созданный в Dypamo, будет менее эффективным, чем при использовании алгоритмического языка, но в среде также можно реализовать практически любую проверку. В Dypamo имеется возможность экспорта и импорта данных в Excel [15], что можно отнести к ее достоинствам. Среда является свободным ПО.

Заключение

Основываясь на результатах сравнительного анализа программных сред, мож-

но сделать вывод, что таких сред создано достаточное количество, большинство из них являются отдельным ПО, которое требует своей установки отдельно от Revit. Такое ПО требует наличия у пользователя навыков по работе с ним, но не требует привлечения профессионалов другой специализации.

Следует отметить, что большая часть таких систем не российского производства, и, хотя нельзя отрицать наличия международных требований к строительным объектам, каждая страна имеет свои национальные особенности и национальные стандарты в строительной отрасли. Имеется российское ПО данного класса, но, так как оно стало развиваться значительно позже, то по функционалу и удобству использования оно еще уступает зарубежным.

Стоит отметить, что собственные проверки можно создавать в большинстве сред, но есть определенные ограничения на их содержание.

Для коммерческого ПО требуется покупка лицензии, что влечет для компании дополнительные финансовые затраты, а в современных условиях ухода с рынка многих иностранных компаний приобретение такой лицензии вообще находится под вопросом. Сложившееся положение остро ставит вопрос импортозамещения, но это же дает шанс для развития российским фирмам-производителям ПО.

Если говорить о выполнении процесса контроля качества с использованием своих программ, то после анализа можно сделать вывод о том, что преимуществом этого подхода является эффективность созданных приложений, возможность создания уникальных проверок, простота использования готового продукта на практике: пользователю достаточно нажать кнопку «запуск» для выполнения той или иной проверки.

Все проверки можно разрабатывать в соответствии с отечественными нормами и правилами. Однако следует иметь в виду, что придется привлекать профессионалов в области программирования и усилить составляющую программирования в образовательных программах будущих специалистов в области ТИМ, что потребует дополнительных затрат.

Список литературы

1. Официальный сайт Минстрой России. [Электронный ресурс]. URL: <https://minstroyrf.gov.ru> (дата обращения: 04.04.2023).
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 5 марта 2021 года № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573842519> (дата обращения: 05.04.2023).
3. СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. М.: Минстрой России, 2020.
4. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: Стандартинформ, 2020. 23 с.
5. Официальный сайт компании Development Systems. [Электронный ресурс]. URL: <https://standard.ds.do/index.php/ds-knowledge-base/bim-standard> (дата обращения: 17.03.2023).
6. Shick Alshabab M., Petrichenko M., Vysotskiy A., Khalil T. BIM-Based Quantity Takeoff in Autodesk Revit and Navisworks Manage // Proceedings of ECECE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering. 2020. Vol. 1. P. 413–421. DOI: 10.1007/978-3-030-42351-3.
7. Останин А.М. BIMACAD Navisworks Coordinato // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016617777 Российская Федерация. Заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Академия BIM». Заявл. 23.05.2016; опублик. 14.07.2016.
8. Официальный сайт компании Nemetschek Group. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nemetschek.com/en/brand/solibri> (дата обращения: 26.02.2023).
9. Eastman C., Jae-min Lee, Yeon-suk Jeong, Jinkook Lee. Automatic rule-based checking of building designs // Automation in Construction. 2009. Vol. 18. P. 1011–1033.
10. Галкина Е.В. Перспективы использования систем проверки информационных моделей в России // Научное обозрение. 2017. № 21. С. 159–161.
11. Официальный сайт компании Allbau Software. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.allbau-software.de> (дата обращения: 26.02.2023).
12. Официальный сайт компании Autodesk дополнительного инструмента Autodesk Model Checker for Revit [Электронный ресурс]. URL: <https://interoperability.autodesk.com/modelchecker.php> (дата обращения: 26.02.2023).
13. Официальный сайт компании Joth EPM продукта EXPRESS Data Manager [Электронный ресурс]. URL: <https://jotneit.com/products/express-data-manager> (дата обращения: 26.02.2023).
14. Официальный сайт компании РусБимЭксперт. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rusbimexpert.ru> (дата обращения: 26.02.2023).
15. Divin N.V. BIM by using Revit API and Dynamo. A review. // AlfaBuild. 2020. Vol. 2, Is. 14. P. 1404-1406. DOI 10.34910/ALF.14.4.