УДК 69.009.1

© А. Ф. Юдина, д-р техн. наук, профессор

© С. Ю. Григорьев, магистрант

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: yudinaantonina2017@mail.ru, gsu72@mail.ru

© В. З. Величкин, д-р техн. наук, профессор

(Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: V.Velichkin2011@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-2-132-137

© A. F. Yudina, Dr. Sci. Tech., Professor

© S. Yu. Grigoryev, undergraduate

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia)

E-mail: yudinaantonina2017@mail.ru; gsu72@mail.ru

© V. Z. Velichkin, Dr. Sci. Tech., Professor.

(Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University, St. Petersburg, Russia)

E-mail: V.Velichkin2011@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОЕКТОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

USING OF BIM TECHNOLOGIES FOR QUALITY CONTROL OF CONSTRUCTION INFRASTRUCTURE PROJECTS

Проанализирован опыт использования информационного моделирования зданий (BIM) в проектах строительной инфраструктуры. Строительные компании внедряют BIM-технологии в свои проекты как инструмент интеграции информации об уровне качества в процессе строительства. Представлен обзор литературы по модельно-ориентированному подходу к контролю качества (QC) и обеспечению качества (QA), а также модель «продукт, процесс и организация» (PPO) для управления ключевыми элементами планирования и уровнем качества. Проведенные авторами исследования по модельно-ориентированному подходу к QA/QC позволили обозначить проблемы и препятствия для внедрения BIM в секторе строительной инфраструктуры. Результаты этого исследования позволят продвигать и использовать BIM-технологии в проектах строительства для управления качеством: заказчики, архитекторы, инженеры-строители, подрядчики, поставщики и субподрядчики получают доступ к 3D-модели контроля качества.

Ключевые слова: BIM-технологии, контроль качества проектов, инфраструктура, информационные системы, модель PPO (Product, Process, and Organization), цикл PDCA (Plan-Do-Check-Act), модельно-ориентированный подход к обеспечению и контролю качества (QA/QC).

The article analyzes the experience of using Building Information Modeling (BIM) in construction infrastructure projects. Construction companies are introducing BIM technologies into their projects as a tool for integrating information about the quality level in the construction process. The article provides a review of literature on model-oriented approach to quality control (QC) and quality assurance (QA). The product, process and organization model (PPO) for managing key elements of planning and quality level is also considered. The study made by the authors on a model-oriented approach to QA / QC has enabled to identify problems and obstacles to the BIM implementation in the construction infrastructure sector. The results of this study will allow further promotion and use of BIM-technologies in construction projects. Using BIM technologies for quality management, all project participants, including customers, architects, civil engineers, contractors, suppliers and subcontractors, will have access to a 3D model of quality control.

Keywords: BIM technologies, project quality control, infrastructure, information systems, PPO (Product, Process, and Organization) model, PDCA (Plan-Do-Check-Act) cycle, model-oriented approach to quality assurance and quality control (QA / QC).

Введение. Проекты строительства генерируют большое количество информации, которая обычно хранится в виде документов на протя-

жении всего жизненного цикла проекта. Эта информация имеет важное значение для дальнейшего применения. Ее повторное использование

в процессе строительства становится все более значимым при управлении строительством.

Концепция информационного моделирования зданий (BIM) возникла в 1970-х годах. Это набор взаимодействующих правил, процессов и технологий, генерирующих «методологию управления основным проектом здания и проектными данными в цифровом формате на протяжении всего жизненного цикла объекта». В последние годы BIM-технологии были выдвинуты в качестве информационной платформы для облегчения управления проектом строительства.

При этом важным является реализация интеграции между BIM-технологиями и другими информационными системами, применяемыми в строительстве, так как все они, как правило, используют разные форматы данных. Поэтому в среде BIM для конвертации между форматами и обмена данными между различными программными комплексами должен иметься единый стандарт. В настоящее время широко используется стандарт *Industry Foundation Classes (IFC)*. IFC — формат данных с открытой спецификацией, которая не контролируется ни одной компанией или группой компаний. Формат файла был разработан *building SMART* (ранее *International Alliance for Interoperability, IAI*) для упрощения взаимодействия в строительной индустрии.

В последние годы BIM-технологии использовались в строительстве коммерческих зданий начиная от виртуального представления объекта до момента его фактического строительства, для анализа сокращения неточностей, повышения безопасности, решения прочих проблем и прочего. Тем не менее, доступно очень мало информации об использовании BIM-технологий в управлении проектами строительной инфраструктуры. Для BIM-технологий применяется несколько терминов строительной инфраструктуры, таких как *Civil BIM*, *CIM (Civil Information Modeling)*, *Horizontal BIM* и *Heavy BIM*. Независимо от терминов, основная цель заключается в использовании основанных на моделях технологий и процессов в инфраструктурном строительном секторе. Одним из примеров использования является использование BIM-технологий в качестве инструмента контроля качества (QC) и обеспечения качества (QA) для строительства автомагистралей и мостов.

Целью управления качеством проекта является информирование и ориентирование участников проекта на конкретные методы обеспечения качества. Информационные материалы включают последовательность действий, средств управления и контроля, которые должны быть выполнены во время строительства. До начала строительных работ генеральные подрядчики должны подготовить конкретный план управления качеством проекта с подробным описанием процедур контроля. План управления качеством должен соответствовать стандартам ISO 9001:2008 и техническим спецификациям проекта.

Планирование уровня качества должно быть сосредоточено на определении четких требований к качеству создаваемой продукции. Кроме того, должны быть разработаны планы проверки и испытаний (ИТР) в соответствии с договором. При планировании условий контроля для строительных работ необходимо учитывать:

- последовательность рабочих операций;
- специфические производственные условия на месте проведения работ;
- методы строительства и материалы, которые будут использоваться;
- типы машин и оборудования, их мощность, техническое обслуживание;
- компетентность и навык персонала;
- ответственность за реализацию и мониторинг контроля рабочего процесса и устранение любых недостатков;
- характеристики продукта, допуски (допустимые отклонения) и стандарты качества исполнения;
- использование карт технологического контроля;
- процесс контроля, соответствующий требованиям стандартов;
- контрольные точки контроля (этапы технологического процесса, на которых производится контроль качества);
- записи, которые должны храниться как свидетельство того, что средства контроля рабочего процесса остаются эффективными.

В процессе контроля качества данные QA и QC должны собираться от генерального подрядчика и субподрядчиков с использованием модели PPO (*Product, Process and Organization*) для анализа общего качества строительства.

Модель PPO (Product, Process and Organization). Метод управления Деминга был широко распространен в области управления качеством с начала 1980-х годов. Целью метода является улучшение практики управления качеством [1]. Метод управления Деминга состоит из 14 обязательных пунктов, которые являются принципами трансформации для управления качеством [2]. Анализируя 14 пунктов, Деминг подчеркивает важность контроля процесса (непрерывное улучшение) и организационной структуры (внутреннее и внешнее сотрудничество) для улучшения продукта (удовлетворенность потребителя). С этой точки зрения руководители строительных работ должны сосредоточиться на выявлении, понимании и управлении вопросами продукта, процесса и организации, возникающими в ходе работы.

Термин «продукт» относится к последнему компоненту строительного проекта, такому как здание, сооружение и т. п. Термин «организация» относится к структуре управления и персоналу, которые участвуют во внедрении и мониторинге контроля рабочих процессов и устранении любых недостатков. Термин «процесс» относится к методам измерения и анализа качества и процедурам для работы с несоответствующей продукцией. На рис. 1 представлена модель контроля качества PPO (продукт, процесс и организация) [3].

Цикл *PDCA (Plan-Do-Check-Act)* включает такие этапы, как планирование (*plan*), реализация (*do*), проверка (*check*) и исправление (*act*). Управление процессами подразумевает набор

практик, которые интегрируют методологические подходы в управление качеством и реализуются для мониторинга и улучшения процессов, которые последовательно предоставляют продукты и услуги для удовлетворения потребностей клиентов и применимых требований стандартов качества. С целью предупреждения и улучшения качества продукции цикл *PDCA (Plan-Do-Check-Act)*, впервые введенный Шухартом в 1931 году и измененный Демингом, используется до настоящего времени.

В цикле *PDCA* первый этап, *Plan*, состоит из нескольких частей:

- генеральные подрядчики должны проанализировать политику качества, задание по объему работ и связи с проектом, описания продуктов, а также стандарты и нормы;
- определить конкретные цели, включая план управления качеством, операционные определения и контрольные списки (строительные спецификации).

Второй этап, *Do*, реализует последовательность операций.

Третий этап, *Check*: анализируются результаты выполненных операций с помощью проверки качества.

В течение или после выполнения задания ответственные по качеству должны предоставить обратную связь для этапа *Act*. Компоненты, которые не прошли проверку, должны быть скорректированы или переработаны.

На рис. 2 представлена блок-схема процесса контроля качества.

Рис. 1. PPO-модель контроля качества

Рис. 2. Блок-схема процесса контроля качества

В плане управления качеством процедуры контроля должны быть определены применимые стандарты качества, такие как ISO 9001:2008; технические спецификации для проекта; четко обозначены обязанности и полномочия персонала.

Модельно-ориентированный подход к обеспечению и контролю качества (QA/QC) сочетает модель PPO с технологией BIM. При строительстве автомагистралей и мостов дефекты качества обычно возникают в результате трех различных аспектов:

- неправильное понимание стандартов качества и процедур контроля для изделий (тротуаров и мостов);
- недостаточная ответственность;
- игнорирование постоянного улучшения качества до, во время и после строительства.

Используя технологию BIM для управления качеством, интеграция информации о качестве (строительные нормы, требования к качеству и процедуры контроля в рамках единой информационной платформы, распределение обязанностей и т. п.) может быть реализована через различные слои в 3D-модели. К 3D-модели можно добавить «меру времени», объединяя информацию о расписании, качестве, материалах и оборудовании и пр., что позволит улучшить коммуникацию между участниками проекта в процессе строительных работ.

Результаты исследования. Для проведения опроса с целью выявления современной практики использовании BIM в качестве инструмента интеграции информации об уровне качества для строительства автомагистралей и мостов была

составлена и разослана анкета по электронной почте одиннадцати специалистам, работающим в десяти различных компаниях, расположенных по территории Соединенных Штатов. Процент ответивших составил 45,5 %: пять человек из пяти разных компаний в штатах Калифорния, Джорджия и Мэриленд. Практически все респонденты были из крупных компаний со средним годовым доходом в пределах 250–500 млн долларов, и 60 % из них проработали в строительной отрасли более пяти лет.

Так, отвечая на один из вопросов анкеты «Модельно-ориентированный подход к обеспечению и контролю качества (QA/QC)», 100 % респондентов ответили:

- модельно-ориентированный подход будет эффективен для улучшения качества;
- использование BIM является крайне эффективным, так как оно дает нам визуальное представление о рабочем процессе, что приводит к улучшению координации и коммуникации в момент работы;
- BIM может использоваться в качестве аналитического инструмента для обеспечения соответствия стандартам качества, что в итоге улучшит качество строительных проектов и точность информации;
- модель BIM поддерживает прогресс контроля качества, связывая информацию о качестве, такую как планы проверки и тестирования или стандарты качества, с моделью.

Респонденты отметили, что использование BIM сокращает количество замечаний (жалоб) от поставщиков и субподрядчиков, а также су-

щественно уменьшает количество заказов на изменение и переработку ошибок или брака.

Одним из основных препятствий для внедрения BIM-технологий в проекты строительной инфраструктуры может быть процесс конкурентного ценообразования, открытый для каждого генерального подрядчика. Это связано с тем, что большинство проектов инициируются государственным сектором. Контракт обычно присуждается подрядчику, который предложит самую низкую цену. После присуждения контракта подрядчик обязан нанять поставщиков и субподрядчиков. В процессе торгов может не быть возможности для введения инновационных решений, поскольку внедрение новых технологий обычно требует дополнительных затрат, даже если в конечном итоге это приводит к экономии. Например, генеральные подрядчики понимают, что использование BIM уменьшает количество заказов на изменение или устранение брака или ошибок; может возникнуть следующий вопрос: кто получит выгоду от их сокращения? Кроме того, государственный сектор далеко не всегда заинтересован в повышении эффективности развития инфраструктуры. Другими словами, государственный сектор не хочет брать на себя риски, связанные с внедрением технологии BIM, особенно для развития инфраструктуры.

Также одним из препятствий для внедрения BIM в проекты инфраструктуры является характер проекта строительства инфраструктуры. Объекты инфраструктуры, такие как мост и автомагистраль, считаются менее сложными, нежели здания. Кроме того, в связи с характером единичных продуктов (зданий, сооружений) и необходимостью работы с нетиповыми элементами (конструкциями) могут отсутствовать единые стандарты для обеспечения и контроля качества [4]. По этим причинам на создание 3D-моделей требуется больше времени и усилий, так как официальной стандартной модели продукта не существует, а созданные 3D-модели не могут использоваться в других проектах.

В процессе строительства задействовано множество участников. Несмотря на то что общая цель проекта достигается работой всех звеньев, участники проекта, такие как субподрядчики и поставщики, проявляют большую заинтересованность в процессе строительства, чтобы по-

лучить максимум прибыли. Кроме того, существует нехватка квалифицированных кадров, умеющих работать с BIM, при этом далеко не все участники готовы использовать BIM в процессе строительства.

Обсуждение. BIM-технология может обеспечить обширное и интегрированное хранилище информации о качестве продукции и сделать возможным обмен визуальной, комплексной и качественной информацией. BIM-технологии обеспечивают легкий доступ к спецификациям и критериям контроля качества в проектах инфраструктуры, используя интегрированную базу данных, обеспечивая динамическое моделирование процесса строительства и выявляя критические отклонения контрольных точек от государственных стандартов DOT*. Это может повысить эффективность строительства и точность процесса контроля качества. BIM-технологии имеют большой потенциал в качестве инструмента управления качеством.

Эта статья посвящена исследованию «Использование BIM для управления качеством в проектах строительной инфраструктуры» в области строительства и положила начало этой области исследований. На основании результатов, изложенных в статье, выявлен большой потенциал использования BIM-технологий для управления качеством в инфраструктурных проектах. Тем не менее, только несколько вариантов использования BIM по этой теме были доступны в процессе поиска литературных и прочих источников. Поэтому предлагается проводить тематические и прикладные исследования использования BIM-технологий в проектах строительства посредством сотрудничества между отраслью и научными кругами, способствовать внедрению их в строительные инфраструктуры.

Библиографический список

1. Deming W. E. Improvement of quality and productivity through action by management // National Productivity Review. 1982. Vol. 1 (1). Pp. 12–22.
2. Deming W. E. Out of the crisis. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, 1986. 524 p.

* DOT — Department of Transportation (Министерство транспорта).

3. Harmel G., Bonjour E., Dulmet M. Product, processes and organization architectures modeling: from strategic expectations to strategic competencies // 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, INCOM'06, Saint-Etienne, France. May 2006. Pp. 211–216.

4. Rowlinson S. M., Walker A. The Construction Industry in Hong Kong. Hong Kong: Longman, 1995. 162 p.

5. Shewhart W. A. Economic control of quality of manufactured product. New York: Van Nostrand, 1931. 516 p.

References

1. Deming, W. E., Improvement of quality and productivity through action by management. *National Productivity Review*, 1981, 1(1), pp. 12–22.

2. Deming W. E. *Out of the crisis*. Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study Publ., 1986, 524 p.

3. Harmel G., Bonjour E., Dulmet M. *Product, process, and organization architectures modeling: from strategic expectations to strategic competencies*. Proc. of the 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, INCOM'06. Saint-Etienne, France, 2006, pp. 211–216.

4. Rowlinson S. M., Walker A. *The Construction Industry in Hong Kong*. Hong Kong, Longman Publ., 1995, 162 p.

5. Shewhart W. A. *Economic control of quality of manufactured product*. New York, Van Nostrand Publ., 1931, 516 p.