

Верендеева Ольга Сергеевна
Российский университет дружбы народов

Цифровая трансформация системы контроля качества строительства на основе технологий информационного моделирования

Аннотация. Современное строительное производство существенно усложнилось: требования к качеству постоянно повышаются, а ранее допустимые допуски становятся неприемлемыми. Вместе с тем на большинстве российских объектов до сих пор применяется традиционная система контроля, основанная на работе инспектора с бумажной документацией, выборочными измерениями и актами, практически не изменившаяся за последние годы. По мере роста технической и организационной сложности объектов её эффективность снижается, что приводит к увеличению объёма переделок, нарушению сроков и возникновению проблем с безопасностью уже на этапе эксплуатации сооружений. Имеет смысл рассмотреть, может ли информационное моделирование предложить новый подход к этой проблеме.

Исследование базируется на анализе нормативно-правовой базы РФ в сфере информационного моделирования, обзоре отечественных и зарубежных работ по цифровизации строительства и обобщении практического опыта применения BIM-технологий для контроля качества на реальных объектах. В результате выделены четыре ключевых недостатка традиционной системы контроля: фрагментарный характер проверок, высокая доля субъективности оценок, запаздывание выявления отклонений и отсутствие единого информационного пространства для всех участников процесса.

На основе этих выводов разработана и предложена концептуальная модель цифровой системы контроля качества, опирающаяся на технологии информационного моделирования. Применение такой системы позволяет снизить количество проектных ошибок, повысить индекс безопасности, сократить время инспекционного обхода и снизить общие затраты на реализацию проекта.

Ключевые слова: контроль качества строительства, информационное моделирование, BIM-технологии, цифровая трансформация, информационная модель объекта, автоматизация контрольных процессов, прослеживаемость, риск-ориентированный подход, строительный контроль, единая цифровая среда.

Verendeeva Olga Sergeevna
Peoples' Friendship University of Russia

Occupational Safety Monitoring Systems in Construction: Regulatory Framework and Technological Solutions

Annotation. Modern construction production has become significantly more complex: quality requirements are constantly increasing, and tolerances that were previously acceptable are becoming unacceptable. At the same time, on most Russian construction sites a traditional control system is still used, based on the work of an inspector with paper documentation, selective measurements and inspection reports, which has hardly changed in recent years. As the technical and organizational complexity of facilities increases, its effectiveness decreases, which leads to an increase in the amount of rework, violations of deadlines and the emergence of safety problems already at the stage of operation of structures. It makes sense to consider whether information modeling can offer a new approach to this problem.

The study is based on an analysis of the regulatory and legal framework of the Russian Federation in the field of information modeling, a review of domestic and foreign works on the digitalization of construction, and a generalization of practical experience in the use of BIM technologies for quality control on real projects. As a result, four key shortcomings of the traditional control system have been identified: the fragmentary nature of inspections, the high share of subjectivity in assessments, delayed detection of deviations and the lack of a unified information space for all participants in the process.

On the basis of these findings, a conceptual model of a digital quality control system based on information modeling technologies has been developed and proposed. The use of such a system makes it possible to reduce the number of design errors, increase the safety index, reduce the time of inspection rounds and reduce the overall costs of project implementation.

Keywords: construction quality control, information modeling, BIM technologies, digital transformation, asset information model, automation of control processes, traceability, risk-based approach, construction supervision, common data environment.

На большинстве современных стройплощадок наблюдается схожая организация контроля качества: инженер обходит объект, делает записи в журнале, выполняет выборочные измерения и фотофиксацию отдельных участков, при этом лишь часть сведений попадает в официальные акты, а значительный объём данных остаётся в его личных записях и не включается в единую информационную систему. При участии нескольких подрядчиков каждая организация ведёт собственную отчётность, в результате у застройщика, генерального подрядчика и надзорных органов формируются различающиеся представления о состоянии качества, что провоцирует конфликты, затягивает согласовательные процедуры и приводит к дополнительным временным потерям. Практика показывает, что при таком подходе ошибки в проектной документации нередко выявляются уже в ходе строительства, когда их исправление становится дорогостоящим, дефекты обнаруживаются с запозданием, а переделки превращаются в устойчивую и заранее закладываемую статью расходов; дополнительно субъективность оценок усиливает риск споров между участниками процесса.

Нормативная база строительного информационного моделирования интенсивно развивается. Постановление Правительства РФ от 17 мая 2024 г. № 614 придало BIM-технологиям обязательный характер для части объектов капитального строительства[1], закрепив состав и форматы представления данных. СП 333.1325800.2017 сформировал методологические основы создания и ведения информационных моделей на всех стадиях жизненного цикла[2], что обозначило цифровизацию как стратегическое направление развития отрасли.

В этих условиях особую актуальность приобретает вопрос о возможности использования BIM не только как инструмента проектирования, но и как средства трансформации систем контроля качества строительства и эксплуатации. Зарубежный опыт (США, Великобритания, Скандинавия) подтверждает потенциал единой цифровой модели для управления сроками, затратами и рисками, однако адаптация данных подходов к российской практике требует целенаправленных исследований.

Теоретические основы понимания BIM в России заложены в трудах В. В. Талапова[3][4][5], который рассматривает информационное моделирование как новую парадигму управления данными, а не как внедрение отдельного программного продукта. Единая цифровая модель, доступная всем участникам проекта, снижает вероятность ошибок, связанных с несогласованностью и дублированием документации.

Работы А. В. Гинзбурга показывают[6], что основной экономический эффект BIM проявляется на стадиях строительства и эксплуатации (до 15–25 % экономии затрат), тогда как на этапе проектирования он ограничивается приблизительно 5–8 %. Прикладные исследования

В. В. Шарманова и соавторов [7][8][9] на реальном объекте площадью около 30 тыс. м² демонстрируют, что применение информационного моделирования для контроля рисков позволяет выделить сотни критичных зон, повысить индекс безопасности до порядка 90 % и сократить время инспекционных обходов почти вдвое.

Работы С. П. Заторского и К. А. Шумилова показывают снижение совокупных затрат на 10–20 % при использовании BIM в производстве модульных конструкций [10], а исследования Н. А. Солоповой и Ж. В. Селезнёвой подчёркивают [11], что единое информационное пространство повышает прозрачность и качество управленческих решений. Зарубежные авторы (Н. Bradley и др. [12], S. Eleftheriadis и др. [13]) отмечают, что результативность BIM определяется не только технической готовностью, но и изменением организационных процессов и контрактных моделей, что делает институциональные преобразования необходимым условием эффективной цифровой трансформации строительной отрасли.

Несмотря на значительный массив исследований, посвящённых как BIM-технологиям, так и проблематике строительного контроля, в научной литературе отсутствуют работы, в которых была бы представлена целостная концептуальная модель цифровой системы контроля качества, специально ориентированной на российские условия с учётом национальной нормативной базы, структуры отрасли и существующих технологических ограничений. Имеющиеся публикации, как правило, фокусируются на отдельных компонентах — выявлении коллизий в проектной документации, оценке безопасности на строительной площадке, цифровизации исполнительной документации, — однако практически не рассматривают их интеграцию в единую устойчивую систему с ясно сформулированными принципами функционирования и регламентированными этапами реализации. В этих условиях цель настоящего исследования состоит в обосновании и разработке комплексной концептуальной модели цифровой системы контроля качества строительства на основе технологий информационного моделирования, адаптированной к современным условиям российского строительного комплекса, согласованной с действующими нормативными требованиями и опирающейся на проверенные теоретические положения и практический опыт.

Для достижения цели необходимо: выявить ключевые недостатки существующей системы контроля качества и их причины, оценить потенциал и инструменты BIM для их устранения, разработать модель системы строительного контроля с принципами функционирования, алгоритмом работы и оценкой эффектов и ограничений, а также подготовить рекомендации по её внедрению в строительные организации с учётом их специфики и необходимости упорядочения исследований по BIM в области контроля качества.

Методологическую основу исследования составляют монографии Талапова В. В. [3][4][5], в которых информационное моделирование рассматривается не столько как совокупность программных средств, сколько как организационная концепция, определяющая принципы построения информационной модели, распределения функций и координации участников, вследствие чего BIM-ориентированный контроль качества понимается как трансформация логики управления, а не простое добавление нового инструмента. Существенный массив работ посвящён риск-ориентированному контролю на основе BIM: исследования Шарманова В. В. и соавторов [7][8][9] описывают методику увязки сведений о потенциально опасных зонах, выделяемых по трёхмерной модели, с календарным графиком производства работ, что позволяет прогнозировать периоды повышенного риска для отдельных участков, концентрировать контроль в наиболее критичных точках и добиваться роста показателей безопасности при одновременном сокращении продолжительности инспекций. Экономический потенциал технологий подтверждается исследованиями Заторского С. П. и Шумилова К. А. [10], где для производства зафиксировано снижение совокупных затрат на уровне 10–20 %, что подчёркивает значимость BIM как инструмента повышения эффективности строительного производства.

Работы, публикуемые в «Вестнике МГСУ», отражают более широкий контекст цифровизации управления. В частности, Солопова Н.А. и Селезнева Ж.В.[11] акцентируют, что формирование единого информационного пространства способствует росту прозрачности и объективности принимаемых управленческих решений, что методологически важно и для задач строительного контроля. Зарубежные исследования Bradley Н. и соавторов[12], а также Eleftheriadis S. и коллег[13] демонстрируют применение BIM для инфраструктурных объектов и интеграцию с инструментами энергетического анализа на протяжении жизненного цикла зданий. Эти исследования демонстрируют, что эффективность информационного моделирования в первую очередь обусловлена изменением организационных структур и контрактных схем, а не внедрением нового программного обеспечения. В настоящей работе этот вывод положен в основу системного рассмотрения строительного контроля как единого механизма, подлежащего комплексной трансформации средствами информационного моделирования.

Информационная база включает нормативные акты РФ по BIM и строительному контролю, научные публикации 2017–2025 гг., а также материалы реализованных BIM-проектов. Процедура исследования поэтапна: выявление недостатков традиционного контроля, оценка потенциала информационного моделирования и кейсов, разработка концептуальной модели цифровой системы и формулирование рекомендаций по её внедрению.

Исследование имеет концептуальный характер и не охватывает детальную проработку программно-технических решений, оценку экономической эффективности и практическую апробацию. Показано, что традиционный контроль, преобладающий в российской практике, отличается эпизодичностью, большими интервалами между проверками, накоплением ошибок, ростом затрат на их исправление и высокой субъективностью визуальных оценок при отсутствии единых цифровых эталонов и измеримых критериев, что снижает доверие к результатам и провоцирует конфликты. Ситуацию усугубляют запаздывающая управленческая реакция и преобладание бумажного документооборота, увеличивающие трудоёмкость, риск ошибок и расхождение документации с фактическим состоянием объекта. Ключевая институциональная проблема заключается в отсутствии единого информационного пространства, что делает данные о качестве фрагментарными и противоречивыми, затрудняет целостное представление о состоянии объекта и повышает риск управленческих ошибок, а также препятствует системному использованию опыта завершённых проектов и выявлению типовых дефектов, что ведёт к существенным прямым и косвенным издержкам.

Информационное моделирование в строительстве представляет собой смену принципов организации данных и взаимодействия участников, а не просто внедрение нового программного продукта. В основе подхода лежит единая цифровая модель объекта с геометрией, свойствами материалов, технологическими регламентами и допустимыми отклонениями, служащая общим информационным эталоном. Контроль качества опирается на зафиксированные в модели числовые параметры, что снижает субъективность и повышает воспроизводимость оценок. Интеграция модели с календарно-сетевым графиком позволяет постоянно сопоставлять плановое и фактическое состояние объекта и выявлять отклонения до их перерастания в масштабные и затратные переделки.

Информационное моделирование создаёт основу для автоматизации документирования контроля качества: на базе модели автоматически формируются проекты актов, спецификаций и исполнительных схем, которые инженер лишь уточняет, что снижает трудоёмкость и высвобождает ресурсы для аналитики. Одновременно формируется структурированная база данных о качестве, привязанная к элементам модели и содержащая сведения о дефектах, исполнителях и сроках их устранения, что позволяет выявлять типичные нарушения, сравнивать подрядчиков и обоснованно корректировать технологии и объём контроля. Межорганизационная интеграция на основе единой информационной модели согласует

представления о состоянии объекта у всех участников, устраняет противоречивые версии документации, снижает число конфликтов и упрощает согласования; в результате фиксируется сокращение объёма переделок и связанных с ними затрат на 10–20 % [7][10], повышение показателей безопасности и уменьшение совокупных затрат на реализацию проектов.

Цифровая система контроля качества на основе информационного моделирования рассматривается как целостная организационно-информационная структура с новым подходом к работе с данными о качестве. Её ядром является единое информационное пространство, в котором сведения о работах, материалах и конструкциях концентрируются вокруг информационной модели объекта, а результаты контроля фиксируются в записях, привязанных к элементам модели с указанием параметров измерений, статуса и визуальной фиксации. Ключевым принципом выступают прозрачность и полная прослеживаемость процедур, при которой каждое действие от назначения проверки до закрытия предписания регистрируется с указанием исполнителя, времени, содержания отклонений и принятых решений, что обеспечивает восстановление хода процесса, повышает персональную ответственность и создаёт надёжную основу для аудита и разрешения спорных ситуаций.

Третий принцип предполагает максимальную автоматизацию формализуемых операций, что позволяет специалисту по качеству сосредоточиться на аналитике и координации при снижении влияния человеческого фактора и более строгом соблюдении регламентов. Четвёртый принцип основан на рискоориентированном подходе, при котором для критичных конструкций, сложных операций, зон повторяющихся дефектов и подрядчиков с низким уровнем качества устанавливается усиленный контроль, тогда как для типовых отработанных процессов он сокращается, обеспечивая более рациональное использование ресурсов и повышая результативность контроля.

Совокупность этих принципов формирует концептуальную основу цифровой системы контроля качества, в которой информационное моделирование выступает ядром интегрированной среды, обеспечивающей целостность данных, прозрачность процедур, высокий уровень автоматизации и концентрацию контроля на наиболее рискованных участках строительства. Система имеет модульную структуру и опирается на единую информационную базу, центральным элементом которой является информационная модель объекта капитального строительства как детализированное трёхмерное представление конструктивных элементов с атрибутами, интегрированная с календарным графиком и обеспечивающая сопоставление планового и фактического состояния объекта на всех стадиях строительства.

На этой основе формируется подсистема контроля, обеспечивающая планирование инспекционных и приёмочных мероприятий, назначение ответственных, установление сроков и регистрацию результатов; инспектор с мобильным устройством обращается к актуальной информационной модели, визуализирует проверяемые элементы и фиксирует состояние конструкций и отклонения в цифровой среде, что повышает точность и оперативность. Подсистема анализа и отчётности преобразует накопленные данные в документацию и аналитические материалы: автоматически формируются исполнительные схемы, акты и сводные ведомости, а встроенная аналитика агрегирует сведения о дефектах, их динамике и распределении, выделяет типичные проблемные зоны и формирует отчёты для разных уровней управления.

Подсистема взаимодействия участников обеспечивает координацию и обмен информацией между субъектами строительного контроля, включая уведомления о проверках, отклонениях и сроках их устранения, а также настройку прав доступа и маршрутов согласования предписаний, что повышает управляемость и согласованность действий. Алгоритм работы цифровой системы контроля качества имеет циклический характер: на основе календарного графика и информационной модели формируется план проверок с указанием параметров и зон контроля, создаются задания для инспекторов, после чего инженер

с мобильным устройством осматривает конструкции, фиксирует результаты измерений и при необходимости дополняет их фото- и видеоматериалами.

Результаты контроля агрегируются, дефекты классифицируются по типу и критичности, формируются предписания и направляются ответственным исполнителям, затем отслеживаются сроки устранения нарушений, проводятся повторные проверки и уточняется статус элементов модели. На заключительном этапе данные анализируются, формируются отчёты, выявляются тенденции и проблемные зоны, корректируются регламенты и уточняются меры повышения качества, при этом цифровая система переводит управление из реактивного в проактивный формат за счёт непрерывного сопоставления проектных требований и фактического состояния объекта.

Практический эффект такой организации системы подтверждается количественными показателями, полученными в рамках реализованных проектов и представленных в научных исследованиях: за счёт автоматизированного выявления коллизий и несоответствий на проектной стадии удаётся снизить количество проектных ошибок примерно на 37–40% [7], а системный мониторинг зон повышенного риска позволяет довести индекс безопасности строящегося объекта до порядка 90% [7]. Оптимизация работы инспекторов, переход к мобильным средствам фиксации данных и автоматическая генерация значительной части исполнительной документации приводят к сокращению времени инспекционных обходов ориентировочно в два раза (с 8–10 до 4–5 часов) [7]. Совокупное влияние предотвращения дефектов, уменьшения объёма переделок и более рационального использования ресурсов выражается в снижении общих затрат на реализацию проекта в среднем на 10–20% [10], что делает внедрение подобной модели экономически значимым для заказчиков и подрядных организаций.

Внедрение цифровой системы контроля качества ограничено зависимостью от полноты и корректности информационной модели, а также от развитости инфраструктуры, обеспечивающей работу с ресурсоёмкими моделями и их интеграцию с действующими системами. Дополнительные препятствия связаны с необходимостью пересмотра регламентов, изменения сложившейся практики, разработки новых стандартов, обучения персонала и поддерживающей роли руководства. Существенен и экономический фактор, поскольку создание и сопровождение цифровой среды требует значительных инвестиций, окупаемых, как правило, лишь после реализации нескольких проектов, что критично для малых и средних организаций.

Зарубежная практика внедрения BIM (США, Великобритания, Скандинавия) демонстрирует высокий потенциал технологии, но одновременно подчёркивает, что её эффективность определяется не столько самим программным инструментарием, сколько готовностью организаций трансформировать управленческие и производственные процессы [12][13], закрепляя в договорах требования к уровню детализации модели, правилам её ведения и распределению ответственности между участниками. В России нормативная база информационного моделирования в строительстве всё ещё формируется: при обязательности моделей для части объектов детализированные регламенты их применения на стадиях строительства и контроля качества остаются недостаточно разработанными, что требует адаптации зарубежных подходов к отечественным условиям. Перспективы связаны с использованием искусственного интеллекта, решений Интернета вещей и средств дополненной реальности, а эффективное внедрение цифровой системы контроля качества предполагает поэтапный переход от пилотных проектов к масштабированию и непрерывной оптимизации с закреплением культуры работы с данными.

К программному обеспечению предъявляются требования поддержки открытых форматов обмена, наличия мобильных приложений, развитых механизмов разграничения доступа и аутентификации, адаптации под бизнес-процессы, интеграции с электронным

документооборотом и встроенной аналитики. Персонал требует подготовки: специалисты строительного контроля должны работать с информационными моделями и мобильными приложениями, BIM-менеджеры - с профильными комплексами и координацией, руководители - использовать данные для управленческих решений.

Цифровая трансформация системы контроля качества на основе информационного моделирования в современных условиях выступает объективной необходимостью, а не отдалённой перспективой[1][2]. Развитие нормативных требований и накопленный опыт подтверждают реализуемость и эффективность данного подхода. Предложенная концептуальная модель формирует целостный каркас цифровой системы, задавая принципы её построения, ключевые функциональные элементы и замкнутый алгоритм функционирования, что позволяет применять её в качестве практической «дорожной карты» для организаций, интегрирующих BIM в контур контроля качества.

Ожидаемые результаты включают снижение числа ошибок и объёма переделок, повышение уровня безопасности, сокращение трудозатрат на инспекции и уменьшение совокупных затрат проекта[7][10] при переходе от фрагментарного, реактивного контроля к проактивной модели, основанной на едином цифровом информационном пространстве. Одновременно внедрение такой системы требует значительных инвестиций, пересмотра регламентов, подготовки персонала и организационной готовности к изменениям, однако для компаний, прошедших этот этап, цифровой контроль качества становится устойчивым конкурентным преимуществом, а дальнейшие исследования следует направить на уточнение технических требований, апробацию модели на реальных объектах и её интеграцию с технологиями искусственного интеллекта.

Список источников

1. Постановление Правительства РФ от 17.05.2024 № 614 «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов». М., 2024.
2. СП 333.1325800.2017 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. М.: Минстрой России, 2018.
3. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. М.: ДМК Пресс, 2011. 392 с.
4. Талапов В.В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. 2-е изд. М.: ДМК Пресс, 2015. 410 с.
5. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. 3-е изд. М.: ДМК Пресс, 2023. 393 с.
6. Гинзбург А.В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта // Информационные ресурсы России. 2016. № 5. С. 28–31.
7. Шарманов В.В., Симанкина Т.Л., Мамаев А.Е. Контроль рисков строительства на основе BIM-технологий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 12 (63). С. 113–124. DOI: 10.18720/CUBS.63.6
8. Шарманов В.В. Методика оценки факторов достижения безопасности на строительной площадке на основе информационного моделирования // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2017. № 3. С. 73–79.
9. Шарманов В.В., Симанкина Т.Л., Мамаев А.Е. BIM технологии в оценке уровня охраны труда // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 7(69). С. 105–114. DOI: 10.18720/MSE.69.7

10. Заторский С.П., Шумилов К.А. Модель прогнозного расчета технико-экономических показателей префаб-модулей с использованием ТИМ // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 5. С. 745–763. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.5.745-763

11. Солопова Н.А., Селезнева Ж.В. Анализ применения цифровых технологий в государственном и муниципальном управлении // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 11. С. 1836–1845. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.11.1836-1845

12. Bradley H., Lark R., Dunn S. BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective // Automation in Construction. 2016. Vol. 71(2). P. 139–152.

13. Eleftheriadis S., Mumovic D., Greening P. Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 67. P. 811–825.

Сведения об авторе

Верендеева Ольга Сергеевна, магистрант Инженерной академии, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН), г. Москва, Россия

Научный руководитель

Абу Махади Мохаммед Ибрагим, к.т.н., доцент, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН), г. Москва, Россия

Information about the author

Verendeeva Olga Sergeevna, Master's Student, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN), Moscow, Russia

Scientific Supervisor

Abu Mahadi Mohammed Ibrahim, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN), Moscow, Russia