

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 69.05

DOI: 10.22227/2305-5502.2026.1.4

Оценка рабочей документации с использованием цифровых моделей и нейросетевой классификации

Александр Русланович Никитин, Сергей Анатольевич Синенко

Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Цифровизация строительной отрасли и внедрение технологий информационного моделирования (ТИМ) требуют разработки новых подходов к оценке рабочей документации (РД). Традиционные методы ручной проверки трудоемки, субъективны и не обеспечивают воспроизводимости результатов. Предлагается методика интеллектуальной оценки РД, подготовленной с использованием средств информационного моделирования, на основе формализованных логических правил и нейросетевого анализа.

Материалы и методы. Методика реализует двухканальный подход: параллельную оценку цифровой модели и текстово-графической документации. В ее основе — многоуровневая структура показателей, логическая булева модель, а также архитектура нейросети, включающая графовую подсеть (GNN), текстовую подсеть (BERT) и сверточную подсеть (CNN), объединенные в многослойный классификатор. На выходе — четыре дискретных решения: принято, принято с доработкой, направлено на доработку, отказ в приемке. Учтена возможность работы с неполным комплектом документации. Верификация методики осуществлялась с помощью экспертного опроса.

Результаты. Разработана математическая модель, описывающая логику оценки документации по критериям выполнения, процентного соответствия и количественных метрик. Экспертная валидация показала высокую согласованность оценок ($W \approx 0,52$), особенно по логике структуры, разделению на критические группы и двухканальности. Наиболее проблемными аспектами признаны архитектура нейросети и обратная связь.

Выводы. Методика доказала применимость для задач внутреннего аудита, автоматизации контроля приемки документации, подготовки к экспертизе и оценки степени готовности РД. Развитие модели возможно через уточнение архитектуры и расширение набора показателей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рабочая документация, информационное моделирование, нейросетевая классификация, цифровая модель здания, методика оценки, показатели оценки, архитектурно-строительное проектирование

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Никитин А.Р., Синенко С.А. Оценка рабочей документации с использованием цифровых моделей и нейросетевой классификации // Строительство: наука и образование. 2026. Т. 16. Вып. 1. Ст. 4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2026.1.4

Автор, ответственный за переписку: Александр Русланович Никитин, a.nikitin56@gmail.com.

Evaluation of working documentation using digital models and neural network classification

Alexander R. Nikitin, Sergej A. Sinenko

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The digitalization of the construction industry and the introduction of information modelling (TIM) technologies require the development of new approaches to the evaluation of working documentation. Traditional methods of manual verification are time-consuming, subjective and do not provide reproducible results. This paper proposes a method for intelligent evaluation of working documentation prepared using information modelling tools, based on formalized logical rules and neural network analysis.

Materials and methods. The methodology implements a two-channel approach: parallel assessment of the digital model and textual and graphic documentation. It is based on a multi-level structure of indicators, a logical Boolean model, as well as a neural network architecture that includes a graph subnet (GNN), a text subnet (BERT) and a convolutional subnet (CNN), combined into a multilayer classifier. As a result, there are four discrete decisions: adopted, adopted with revision, sent for revision, refusal to accept. The possibility of working with an incomplete set of documentation is taken into account. Verification of the methodology was carried out using an expert survey.

Results. A mathematical model has been developed that describes the logic of evaluating documentation by performance criteria, percentage compliance and quantitative metrics. Expert validation showed a high consistency of assessments ($W \approx 0.52$), especially in the logic of the structure, division into critical groups and two-channel. The most problematic aspects are the architecture of the neural network and feedback.

Conclusions. The methodology proved its applicability for the tasks of internal audit, automation of control over the acceptance of documentation, preparation for examination and assessment of the degree of readiness of working products. The development of the model is possible through the clarification of the architecture and the expansion of the set of indicators.

KEYWORDS: working documentation, information modelling, neural network classification, digital model of the building, assessment methodology, assessment indicators, architectural and construction design

FOR CITATION: Nikitin A.R., Sinenko S.A. Evaluation of working documentation using digital models and neural network classification. *Construction: Science and Education*. 2026; 16(1):4. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2026.1.4

Corresponding author: Alexander R. Nikitin, a.nikitin56@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Современные процессы цифровизации в строительной сфере способствуют активному внедрению технологий информационного моделирования (ТИМ), которые трансформируют подход к архитектурно-строительному проектированию. Благодаря ТИМ обеспечивается повышение согласованности, точности и прозрачности при формировании проектной и рабочей документации [1–4]. Тем не менее по мере распространения этих технологий усиливается необходимость критической оценки выпускаемой рабочей документации (РД), от которой зависят сроки, стоимость и устойчивость выполнения строительных проектов [5, 6].

Традиционный подход к оценке РД в виде ручной проверки экспертами остается трудоемким, субъективным и подвержен человеческому фактору. В этой связи актуальной задачей является разработка автоматизированных методов оценки документации, позволяющих выявлять ошибки, неполноту и несоответствия нормативным требованиям [7, 8].

Одним из перспективных направлений в этом контексте выступает использование искусственного интеллекта (ИИ), в частности — нейросетевых алгоритмов. Нейросети дают возможность обучаться на больших объемах данных и выявлять типовые ошибки в проектной и рабочей документации, в том числе подготовленной с помощью ТИМ. Однако, чтобы обеспечить применимость такой методики в реальной практике, требуется не только разработка алгоритма, но и его верификация с участием профессиональных экспертов отрасли [9–12].

Таким образом, возникает научно-практическая проблема: как интегрировать возможности нейросетей и экспертного подхода для объективной и воспроизводимой оценки РД, сформированной средствами ТИМ.

Цель исследования — разработка методики оценки рабочей документации, подготовленной с использованием технологий информационного моделирования с применением нейросетевых алгоритмов.

Задачи исследования:

- обосновать критерии оценки РД, созданной средствами ТИМ;
- разработать структуру методики, включающей нейросетевой модуль анализа;

- провести экспертный опрос для уточнения значимости критериев и валидации результатов автоматизированной оценки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Процесс архитектурно-строительного проектирования можно представить как последовательность этапов (жизненный цикл проекта — ЖЦ) от зарождения замысла до выпуска РД и последующего строительства. На рис. 1 приведена схема основных этапов этого цикла.

На концептуальном этапе формируются исходные требования и архитектурно-планировочные решения в общей форме (эскизный проект, технико-экономическое обоснование). Далее разрабатывается проектная документация (ПД) — комплект документов стадии «П», достаточный для оценки проекта уполномоченными органами. Проектная документация содержит основные архитектурно-конструктивные и инженерные решения, пояснительные записки и расчеты, необходимые для проверки соответствия нормативным



Рис. 1. Этапы жизненного цикла архитектурно-строительного проектирования

требованиям. После завершения проектирования эта документация передается на государственную или негосударственную экспертизу, которая проверяет проект по критериям безопасности, надежности, соблюдения норм и правил. Успешное прохождение экспертизы завершается получением положительного заключения, свидетельствующего о соответствии проекта установленным требованиям.

Следующий этап — разработка РД. На этой стадии проект доводится до полной детализации: выпускаются рабочие чертежи всех разделов, спецификации материалов и оборудования и другие документы, которые требуются для выполнения строительно-монтажных работ. Рабочая документация основывается на решениях, одобренных экспертизой, и не должна им противоречить. Она служит непосредственным руководством для строительных работ и содержит всю информацию, нужную строительным организациям. После выпуска РД и ее проверки (внутренней или внешней) можно переходить к строительству объекта. Таким образом, ЖЦ проектирования охватывает путь от первоначальной идеи до готового комплекта документов, прошедших экспертную оценку и пригодных для практического воплощения. Каждый этап логически вытекает из предыдущего, повышая степень детализации и обоснованности решений [13].

На всех перечисленных этапах в настоящий момент параллельно создаются цифровые информационные модели (ЦИМ) соответствующего уровня детализации. Так, на стадии концепции модель имеет укрупненный характер (например, соответствует уровню LOD ~ 100–200, содержащему общие массы и основные параметры здания), тогда как на стадии РД информационная модель (ИМ) обогащается деталями конструкций, инженерных систем и атрибутами, достигая уровня LOD ~ 400–500 (детализированные элементы вплоть до размеров изготавливаемых изделий) [14–17].

Рабочая документация по проекту включает два ключевых взаимосвязанных компонента: ЦИМ здания и классическую текстово-графическую часть. Цифровая модель (ЦМ) на стадии РД содержит весь объем геометрической и атрибутивной информации о проекте (архитектуре, конструкциях, инженерных системах) в актуальной версии. Текстово-графическая часть включает чертежи (планы, фасады, разрезы, узлы), оформленные в соответствии с Единой системой конструкторской документации/Системой проектной документации для строительства (ЕСКД/СПДС); спецификации материалов и оборудования; пояснительную записку, а также иные документы (например, результаты расчетов, технологические карты).

В современных проектах эти два компонента дополняют друг друга: модель служит источником для генерации чертежей и спецификаций, а тексто-

вые документы уточняют информацию, которая не отражена непосредственно в BIM-модели.

С учетом такой структуры в методике реализована возможность проведения параллельной двухканальной (когда одновременно оценивается ЦМ и представленная документация) или двухэтапной проверки РД. Первый вариант — оценка в один этап, когда оценивается совместно ЦМ и предоставленная документация. Второй вариант — оценка РД в два этапа. Первый этап — проверка ЦМ: анализируется соответствие модели установленным требованиям (структуре, правильности геометрии, информационному наполнению и т.д.). После согласования ЦМ запускается второй этап — проверка оформленной документации: оценивается комплектность и оформление чертежей, пояснительных материалов и их согласованность с ИМ. Двухэтапный подход обоснован тем, что выявление и устранение ошибок на уровне модели упрощает последующую проверку чертежей и текста. Если модель не соответствует ключевым требованиям, дальнейшая детальная проверка чертежей теряет смысл, поэтому сначала должна быть достигнута приемлемая степень оценки BIM-модели. Лишь после этого система переходит к анализу текстовой и графической документации, используя информацию, извлеченную из проверенной модели.

На рис. 2 представлена блок-схема последовательности оценки в два этапа. На первом этапе модуль анализа BIM-модели выявляет несоответствия по формализованным показателям. После исправления критических ошибок в модели (при их наличии) система переходит ко второму этапу, на котором проверяются состав и содержание выданной документации: наличие всех обязательных чертежей и разделов, соответствие чертежей модели, оформление по стандартам. Таким образом, достигается комплексный результат оценки: от цифрового представления проекта до традиционных документов.

Для обоснования разработки методики был проведен обзор существующих методов контроля и экспертизы проектной и рабочей документации в отечественной и зарубежной практике. В табл. 1 приведена сравнительная характеристика ключевых подходов в России и за рубежом [18].

В России ключевым механизмом оценки остается экспертиза проектной документации, наделенная полномочиями не допустить проект к реализации при несоответствии требованиям. За рубежом больше ответственности возложено на проектировщиков и механизмы страхования ответственности, а контроль государства сосредоточен на отдельных аспектах (прежде всего, безопасности и градостроительном соответствии).

Объем, неоднородность и многоуровневость современной рабочей документации чрезвычайно затрудняют ее системную проверку вручную. Проект включает десятки моделей и чертежей, сотни стра-



Рис. 2. Блок-схема последовательности оценки рабочей документации

ниц текстов и тысячи параметров, которые должны одновременно соответствовать множеству требований — нормативным (СП, ГОСТ), организационно-методическим, а также требованиям конкретного задания на проектирование. Даже при использовании частичных автоматизированных средств проверки (например, только коллизии или только заполненность параметров) остается значительный пласт несоответствий, выявление которых требует интеллектуального анализа. К таким сложным для формализации задачам относятся, в частности: проверка

соответствия принятых проектных решений нормам безопасности (анализ текста пояснительной записки на наличие требуемых разделов по пожарной безопасности, энергоэффективности, оценке риска и т.д.), сопоставление числовых показателей в модели и в пояснительной записке (например, сравнение общей площади по экспликации с суммой площадей помещений в модели), выявление логических противоречий между разделами (например, несогласованность марок оборудования между схемами инженерных систем и спецификациями).

Табл. 1. Сравнение методов оценки проектной и рабочей документации в России и за рубежом

Аспект оценки	Отечественная практика	Международная практика
Регуляторная проверка	Обязательная государственная экспертиза проектной документации: независимый орган (экспертиза ПД) проверяет соответствие проекта нормативным документам и выдает заключение. Рабочая документация формально в экспертизе не рассматривается, но правильность принятых решений в РД косвенно контролируется через соответствие проектной документации и строительный надзор	Отсутствует единый институт госэкспертизы. Контроль соответствия нормам осуществляется через процедуры выдачи разрешений на строительство (building permit) местными органами власти. Проект проверяется муниципальными экспертами или аккредитованными инженерами на соответствие строительным кодексам. Ответственность за качество документации во многом лежит на сертифицированных архитекторах и инженерах, чьи подписи удостоверяют соблюдение норм

Окончание табл. 1

Аспект оценки	Отечественная практика	Международная практика
Внутренний контроль	Принята система нормоконтроля в проектных организациях — проверка документации специальными отделами на соответствие ГОСТ, СПДС, техническому заданию. Также проводится авторский надзор главными специалистами проекта	В крупных международных компаниях приняты внутренние процедуры QA/QC (quality assurance/quality control): проверка чертежей другим отделом, внешний технический аудит проекта (peer review) по инициативе заказчика. Инженеры, имеющие профессиональную лицензию, несут персональную ответственность за качество разделов
Использование ТИМ для оценки	Широко применяется проверка модели на коллизии и другие ошибки средствами ПО (Navisworks, Revit и др.) на этапах проектирования. Появляются нормативные рекомендации по проверке информационных моделей (Минстрой РФ выпустил стандарт информационного моделирования, эксперты разрабатывают критерии проверки BIM-моделей). BIM-модель в ряде случаев передается на экспертизу для дополнительной автоматизированной проверки	Автоматизированный контроль с помощью BIM развит: используются программные инструменты для проверки правил (Solibri Model Checker, Autodesk Model Checker и др.), настраиваются кастомные скрипты для валидации моделей. В некоторых странах реализованы пилотные проекты автоматической проверки соответствия нормативам: например, Сингапур внедрил систему CORENET для автоматического анализа моделей на соответствие строительным нормам. Эти системы снижают трудоемкость ручной проверки и повышают ее объективность
Фокус оценки	Основной упор — соответствие нормативным требованиям (техрегламенты, СНиП, СП). Проект оценивается прежде всего с точки зрения безопасности и соблюдения обязательных норм. Вторично рассматриваются экономические и организационные аспекты (сметы, графики)	За рубежом критерии оценки более разнообразны: кроме соблюдения обязательных норм (безопасность, доступность и т.д.), оцениваются архитектура (эстетика, вписанность в окружение), устойчивость (энергоэффективность, экологичность — часто через добровольные сертификации LEED, BREEAM), стоимость и сроки. Формализованные индексы качества дизайна встречаются (например, Design Quality Indicator) в Великобритании — опросная методика оценки восприятия качества проекта. Однако такие оценки, как правило, добровольные и используются заказчиками для выбора оптимального проекта, а не являются обязательной госэкспертизой

Существующие средства автоматизации не обеспечивают полноценного охвата этих вопросов, что обуславливает необходимость применения методов ИИ. Нейросетевые алгоритмы и смежные технологии способны обучаться на больших массивах данных проектов, обнаруживая сложные закономерности и несоответствия, которые трудно заложить явными правилами. Современные методы ИИ, включая нейросетевые архитектуры глубокого обучения, обработку естественного языка (NLP) и графовые модели, открывают новые возможности для интеллектуальной проверки технической документации на основе ТИМ [19–21].

В ряде исследований продемонстрирована эффективность таких подходов для оценки проектных решений. Нейросети могут одновременно анализировать разнородную информацию — 3D-геометрию, табличные данные, текстовые описания и выявлять скрытые взаимосвязи. Например, обученная модель может выявить, что отсутствие определенных пара-

метров в ЦМ часто коррелирует с ошибками в оформлении спецификаций, и сигнализировать о таких ситуациях. Таким образом, внедрение нейросетевого модуля в систему оценки позволяет значительно повысить полноту и точность автоматической проверки, снизить нагрузку на экспертов и ускорить процесс выявления ошибок на ранних этапах проектирования [22–27].

Дополнительно применение нейросетевого подхода обеспечивает адаптивность системы оценки. Алгоритм можно обучить на примерах реальных проектов и экспертиз, благодаря чему критерии проверки автоматически подстраиваются под распространенные шаблоны проектирования и типовые ошибки. В перспективе это даст возможность системе «учиться» у экспертов, перенимая их опыт, и постоянно улучшать качество оценки.

Для реализации методики оценки РД разработана специальная архитектура на основе искусственных нейронных сетей, позволяющая обрабатывать

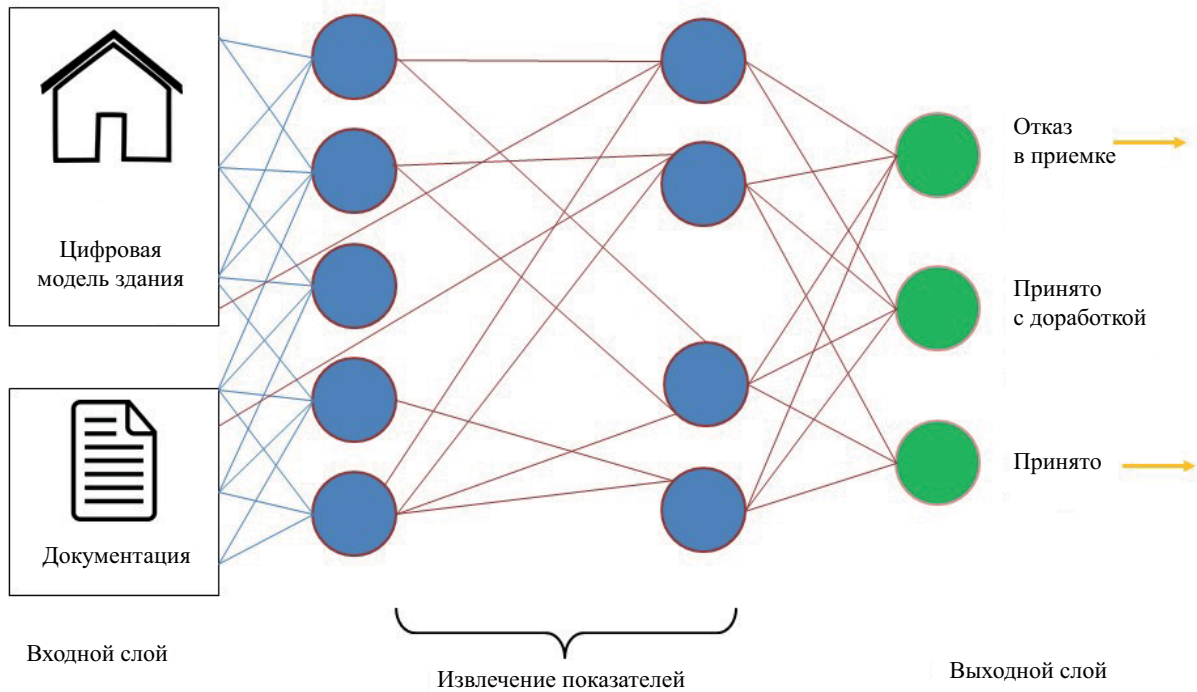


Рис. 3. Схема архитектуры методики оценки рабочей документации

как данные ИМ, так и текстовые документы. Схема архитектуры представлена на рис. 3.

Входной слой содержит два источника данных:

1. Цифровая модель здания. Форматы: IFC, RVT. Представляет ИМ объекта капитального строительства. Содержит топологические, геометрические, параметрические и атрибутивные данные.

2. Документация. Форматы: PDF, DOCX, XLS и др. Включает текстовые пояснительные записки, чертежи, спецификации, штампы, таблицы и другую РД, подготовленную на основе ЦМ.

Эти данные поступают в нейросеть как входной сигнал, разделенный на потоки обработки.

Извлечение показателей — это скрытые или внутренние слои, они не видны пользователю, в методике используется два скрытых слоя.

Этот блок обозначен как «Извлечение показателей», что отражает ключевую особенность методики: формирование признаков x_1, x_2, \dots, x_n на основе структуры показателей оценки РД.

Внутри скрытых слоев происходит разделение обработки информации по типам входа. На первом слое осуществляется извлечение признаков с помощью подсетей.

Графовая подсеть. Используется подход графовых нейронных сетей (Graph Neural Network — GNN) для анализа структуры здания. BIM-модель преобразуется в граф: узлы графа соответствуют элементам (конструкции, помещения, оборудование), а ребра — различным отношениям (смежность, иерархия «этаж – помещение – зона», связи инженерных сетей и т.п.). Каждый узел имеет набор признаков (атрибутов элемента: тип, размеры, материал и др.).

Текстовая подсеть. Для анализа текстовых данных применяется архитектура для обработки естественного языка (Natural Language Processing — NLP). Цель — получить семантические признаки из пояснительных записок, описаний и требований. Подсеть превращает текст каждого раздела в вектор, отражающий содержание. Например, она может уловить, упоминаются ли в пояснительной записке важные аспекты (нормы, расчеты), полнота описания, наличие определенных ключевых слов (как «пожарная безопасность», «энергосбережение» и прочее).

С целью сопоставления модели и документации используется *сверточная подсеть* (Convolutional Neural Network — CNN), обрабатывающая изображения листов чертежей и сверяющая чертеж с моделью.

На втором скрытом слое происходит объединение информации от подсетей и формирование вектора $[x_1 \dots x_n]$ — унифицированного набора признаков для финального решения.

Для преобразования показателей оценки в признаки каждый показатель имеет 4 атрибута, указанные в табл. 2.

Схема извлечения признака показана на рис. 4.

После обработки ИМ и документации на выходном слое формируется отчет, включающий следующие основные компоненты:

- перечень выявленных несоответствий. По завершении проверки автоматически формируется сводная ведомость всех обнаруженных нарушений и отклонений от требований. Несоответствия группируются по показателям и снабжены указанием конкретных элементов модели или фрагментов документации, которых они касаются;

Табл. 2. Атрибуты показателя оценки рабочей документации

Атрибут	Описание
Идентификатор	Уникальное название или код показателя
Единица измерения	%, количество, бинарный (да/нет), текстовая метка
Метрика	Что считается соответствием
Метод извлечения	Как будет извлечено значение из цифровой модели/документации

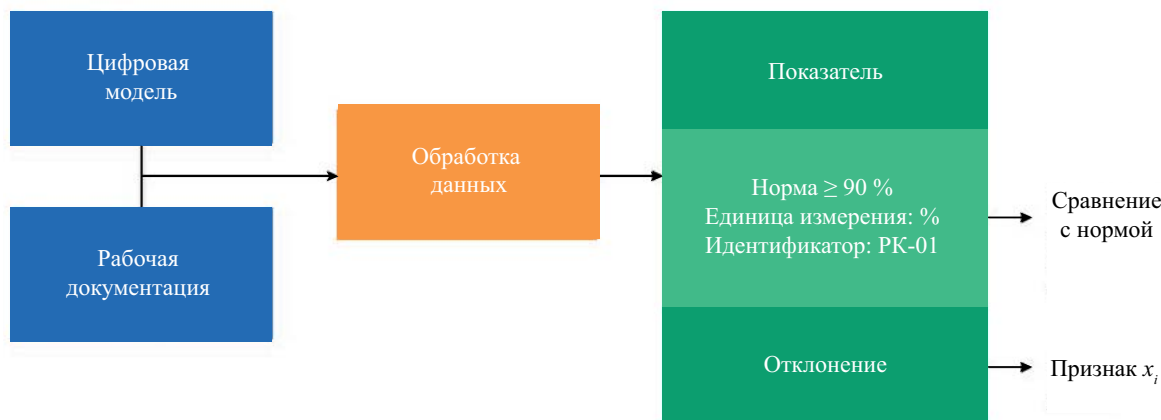


Рис. 4. Схема извлечения признака

- рекомендации по устранению недостатков. Для каждого выявленного несоответствия интеллектуальная система генерирует рекомендации, основанные на заложенных правилах и накопленных данных о типовых решениях. Рекомендации могут включать указания по исправлению модели или по дополнению документации. Если определенное несоответствие встречалось в ранее обученных примерах, система предложит конкретное решение, которое было эффективно в подобных случаях;

- системное решение по документам. Ключевой итог работы методики — это помощь в выработке решения о дальнейшей судьбе проверяемой РД. На основе совокупной оценки всех показателей и с учетом критичности обнаруженных проблем система выносит предварительное заключение в виде одного из сценариев, указанных в табл. 3.

Методика оценки РД основана на логических правилах и нейросетевой классификации без применения весов или интегральных показателей. Такой подход обеспечивает отказ от весов и агрегирования, упрощает аудит, повышает прозрачность логики принятия решений, позволяет добавлять или исключать из модели показатели, не выполняя дополнительных исследований по определению веса введенного показателя [28, 29]. В основе модели лежит многоуровневая структура показателей, представленных в виде вложенных групп:

- 1) группа — обобщенный критерий;
- 2) подгруппа 1-го уровня — уточненный аспект внутри группы;
- 3) подгруппа 2 — конкретный аспект внутри группы;
- 4) показатель — конкретный аспект оценки.

Табл. 3. Сценарии принятия решений

Решение	Условия	Дальнейшие действия
✓ Принято	Полный комплект, все показатели в пределах допустимого, отсутствуют критические замечания	Документация передается на следующий этап (экспертиза, реализация)
⚠ Принято с доработкой	Мелкие отклонения, не влияющие на применимость, небольшие нарушения оформления	Допустить условно, обязать разработчика устранить замечания в срок
✗ Отказ в приемке	Критические нарушения структуры, отсутствие обязательных разделов, противоречия между моделью и текстами	Возврат документации на доработку, запрет на использование
🔄 Направлено на доработку	Выявлен ряд существенных, но устранимых недостатков	Формируется отчет по текущим замечаниям и направляется подрядчику для устранения замечаний

Фрагмент группировки показателей для раздела «Автоматизация инженерных систем» представлен в табл. 4.

Пусть S — множество всех групп показателей, где каждая группа G содержит подгруппы первого уровня P , каждая подгруппа первого уровня содержит подгруппы второго уровня F , а каждая подгруппа второго уровня — конечное множество показателей x . Формально:

$$S = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}; \quad (1)$$

$$G_i = \{P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{in}\}; \quad (2)$$

$$P_{ij} = \{F_{ij1}, F_{ij2}, \dots, F_{ijn}\}; \quad (3)$$

$$F_{ijk} = \{I_1, I_2, \dots, I_r\}, I \in \{0, 1\}. \quad (4)$$

Каждый показатель — булева переменная, которой сопоставляется бинарная оценка:

$I = 1$ — требование выполнено;

$I = 0$ — требование нарушено.

Для количественных показателей и показателей, заданных в процентах, введена логическая функция преобразования, чтобы сохранить бинарную структуру модели. При ограничении сверху:

$$I_{ijk} = \begin{cases} 1, & x \leq T \\ 0, & x > T \end{cases}; \quad (5)$$

при ограничении снизу:

$$I_{ijk} = \begin{cases} 1, & x \geq T \\ 0, & x < T \end{cases}, \quad (6)$$

где x — фактическое значение или доля выполнения; T — допустимое значение.

Подгруппа 2-го уровня считается выполненной, если выполнены все ее показатели:

$$F_{ijk} = \bigwedge_r I_{ijk}. \quad (7)$$

Подгруппа 1-го уровня считается выполненной, если выполнены все подгруппы 2-го уровня:

$$P_{ij} = \bigwedge_k F_{ijk} = \bigwedge_k \left(\bigwedge_r I_{ijk} \right). \quad (8)$$

Группа считается выполненной, если выполнены все подгруппы 1:

$$G_i = \bigwedge_k P_{ij} = \bigwedge_j \left(\bigwedge_k \left(\bigwedge_r I_{ijk} \right) \right). \quad (9)$$

Таким образом, отмечается выполнение группы G_i через логическую конъюнкцию всех входящих в нее показателей.

В рамках разрабатываемой методики оценки РД применяется классификация групп показателей по степени их значимости и влияния на достоверность проектных решений.

Все группы разделяются $G_i \in S$ на два подкласса:

$$G_{crit} \subset S; G_{noncrit} = S/G_{crit}. \quad (10)$$

Табл. 4. Фрагмент многоуровневой структуры показателей

P	Подгруппа 1	F	Подгруппа 2	I	Показатель	Метрика
<i>Группа 1 — показатели оценки ЦИМ на стадии «Рабочая документация»</i>						
2	Функциональность системы	29	Функциональность	86	Полнота реализации функций в соответствии с ТЗ	%
				87	% функций, реализованных согласно спецификации	%
				88	Отсутствие ошибок при тестировании типовых и граничных сценариев	Да/нет
				89	Соответствие функций назначению системы	Да/нет
				90	Наличие функций диагностики состояния системы	Да/нет
				91	Наличие функций управления и ручного вмешательства	Да/нет
				92	Наличие и доступность ручных регуляторов, кнопок аварийной остановки	Да/нет
		30	Гибкость	93	Возможность адаптации к изменению входных данных/условий	Да/нет
		94		Соответствие количества независимых функциональных модулей/блоков	Да/нет	

Табл. 5. Системная классификация итоговых решений

Значение	Решение
$D = 1$	Принято
$D = 2$	Принято с доработкой
$D = 3$	Направлено на доработку
$D = 4$	Отказ в приемке

Это разбиение применяется при построении логических выражений несоответствия:

$$F_{crit} = \bigvee_{G_i \in G_{crit}} \neg G_i; \quad (11)$$

$$F_{noncrit} = \bigvee_{G_i \in G_{noncrit}} \neg G_i. \quad (12)$$

Далее результаты анализа интерпретируются классификатором и выносятся итоговое решение:

$$D = \begin{cases} 1, F_{crit} = 0 \wedge F_{noncrit} = 0; \\ 2, F_{crit} = 0 \wedge F_{noncrit} = 1; \\ 3, F_{crit} = 1 \quad (\text{локализуемые}); \\ 4, F_{crit} = 1 \quad (\text{критические}). \end{cases} \quad (13)$$

Результат D принимает одно из четырех значений, указанных в табл. 5.

С целью валидации ключевых компонентов методики оценки РД проведен экспертный опрос. Для опроса экспертов подготовлена анкета.

К участию в опросе были приглашены эксперты, обладающие достаточным опытом и компетенциями в области архитектурно-строительного проектирования. Критерии для выбора экспертов включали:

1. Опыт работы не менее пяти лет в проектировании или экспертизе проектно-сметной и рабочей документации.
2. Специалисты, состоящие в НОПРИЗ.
3. Специалисты, имеющие практический опыт нормоконтроля, проведения экспертизы или технического аудита документации.
4. Специалисты, обладающие навыками и понимающие принципы информационного моделирования объектов капитального строительства.

В анкете представлены 6 тематических блоков, охватывающих:

1. Структуру системы показателей.
2. Деление на критические и некритические группы.
3. Классификацию итоговых решений.
4. Логiku двухканальной и двухэтапной проверки.
5. Применимость нейросетевой архитектуры.
6. Механизм обратной связи.

Каждый блок вопросов содержит шкальные, альтернативные и открытые вопросы. Такой формат позволил оценить уровень согласия экспертов и собрать рекомендации для доработки методики.

С целью экспертной валидации методики важно обеспечить достаточный, но не избыточный состав группы. Расчет количества экспертов выполнен по формуле:

$$n_{min} = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (14)$$

где t — коэффициент доверия (1,96 для 95 % доверительного интервала); σ — предполагаемое стандартное отклонение = 1; Δ — допустимая ошибка (0,6 балла);

$$n_{min} = \frac{1.96^2 \cdot 1^2}{0.6^2} \approx 11. \quad (15)$$

Для проведения опроса привлечено 11 экспертов. Осуществлен заочный индивидуальный опрос экспертов. Рассчитаны для количественных шкальных оценок (1–5) описательные статистики: среднее значение, медиана, мода и диапазон оценок для каждого вопроса, что позволило определить общее мнение группы и вариативность суждений. Для вопросов с выбором вариантов вычислены процентные доли по каждому варианту ответа — это показало, какие мнения преобладают. Открытые комментарии экспертов подвергнуты качественному анализу. Ответы сгруппированы по сходным темам или предложениям. Ключевые замечания и рекомендации, часто упоминаемые разными экспертами, выделены в отчетности. На основе полученных данных опроса будет доработана методика оценки РД.

С целью оценки согласованности мнений экспертов для вопросов, где есть ранжирование или согласие/несогласие, рассчитан коэффициент конкордации Кендалла W :

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)}, \quad (16)$$

где S — сумма квадратов отклонений рангов от среднего; m — число экспертов; n — число оцениваемых объектов.

Статистическая проверка значимости W :

$$\chi^2 = m \cdot (n - 1) \cdot W. \quad (17)$$

Сравнивается с критическим значением χ^2 (уровень значимости $\alpha = 0,05$).

Интерпретация значимости W :

- $W < 0,3$ — низкая согласованность;
- $0,3 \leq W < 0,7$ — умеренная согласованность;
- $W > 0,7$ — высокая согласованность.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В экспертном опросе приняло участие 11 экспертов, оценивших разработанную методику по шести тематическим блокам. Анкета включала шкальные вопросы (оценка по 5-балльной Likert-шкале), альтернативные вопросы (дихотомические «да/нет» или выбор из двух вариантов) и открытые вопросы для комментариев. Тематические блоки опроса были следующими:

- структура показателей (логика построения, группировка, полнота набора показателей);
- разделение на критические/некритические группы (обоснованность выделения критических показателей);
- итоговая классификация (на 4 исхода модели);
- двухканальность методики (совмещение работы модели и документального контроля);
- архитектура нейросети (понятность и целесообразность выбранной архитектуры);
- обратная связь системы (список выявляемых несоответствий и выдаваемые рекомендации).

Количественные результаты опроса

Для каждого шкального вопроса рассчитаны сводные показатели — медиана оценки и межквартильный размах (IQR). В табл. 6 приведены результаты по всем шести блокам. Высокие значения медианы свидетельствуют о положительной оценке соответствующего аспекта методики большинством экспертов, тогда как более низкие медианы указывают на наличие критических замечаний. Межквартильный размах характеризует разброс мнений: узкий IQR говорит о согласованности оценок, широкий — о расхождении мнений группы экспертов.

Как видно из табл. 6, наивысшие оценки получили блоки 1, 2 и 4. В частности, логичность структуры и группировка показателей оценены практически максимально (медиана 5) при минимальном разбросе мнений, т.е. эксперты единодушно признали структуру показателей понятной и обоснованной. Аналогично выделение критических показателей считается необходимым (медиана 5) — почти все

эксперты согласились с важностью разделения метрик на критические и некритические. Кроме того, двухканальный подход получил высокую оценку: эксперты позитивно оценили идею параллельного анализа модели и документации. Разброс оценок в этих блоках не превышает 4–5, что указывает на высокую согласованность положительных мнений. В то же время архитектура нейросети вызвала наибольшие разногласия и низкие оценки. Медиана равна 3 как по понятности, так и по целесообразности архитектуры, при этом четверть экспертов дала оценку 2 (ниже удовлетворительной) по понятности. Это означает, что значительная часть экспертов сочла архитектуру плохо понятной для пользователя. Разброс мнений в блоке 5 на низком уровне, т.е. эксперты здесь едины во мнении о недостатках. По блоку 6 (обратная связь) мнения разделились: полноту выявления несоответствий системой оценивают в целом положительно (медиана 4), тогда как полезность рекомендательной части ниже (медиана 3). Это показывает, что эксперты считают перечень обнаруживаемых системой проблем достаточно полным, но ценность автоматически сгенерированных рекомендаций вызвала сомнения у части респондентов. Блок 3 (итоговая классификация модели на 4 исхода) получил промежуточные оценки — медиана 4 по обоим вопросам. В целом эксперты согласны, что 4 класса исходов являются разумным выбором, однако несколько экспертов указали на возможность улучшений.

Распределение оценок экспертов по шести тематическим блокам показано на рис. 5.

Для количественной оценки согласованности мнений экспертов был вычислен коэффициент конкордации Кендалла W . Рассчитанное значение составило $W \approx 0,52$, что свидетельствует о достаточно высокой степени согласия между экспертами. Статистический критерий χ^2 показал значимость конкордации ($p < 0,001$), т.е. согласованность мнений не носит случайный характер.

Табл. 6. Оценки экспертов по шкальным вопросам (медиана и IQR)

Блок и аспект оценки	Медиана (IQR)
Блок 1. Логичность структуры показателей	5 (4–5)
Блок 1. Корректность группировки показателей	5 (4–5)
Блок 1. Полнота набора показателей	4 (3–5)
Блок 2. Необходимость разделения показателей на критические	5 (5–5)
Блок 2. Понятность критериев критичности показателей	4 (3–5)
Блок 3. Корректность классификации на 4 исхода	4 (4–5)
Блок 3. Полнота охвата возможных исходов	4 (3–5)
Блок 4. Целесообразность двухканальной методики	5 (4–5)
Блок 4. Удобство использования двух каналов	4 (3–5)
Блок 5. Понятность архитектуры нейросети	3 (2–3)
Блок 5. Обоснованность выбора архитектуры нейросети	3 (3–4)
Блок 6. Полнота обнаружения несоответствий системы	4 (4–5)
Блок 6. Полезность рекомендаций системы	3 (3–4)

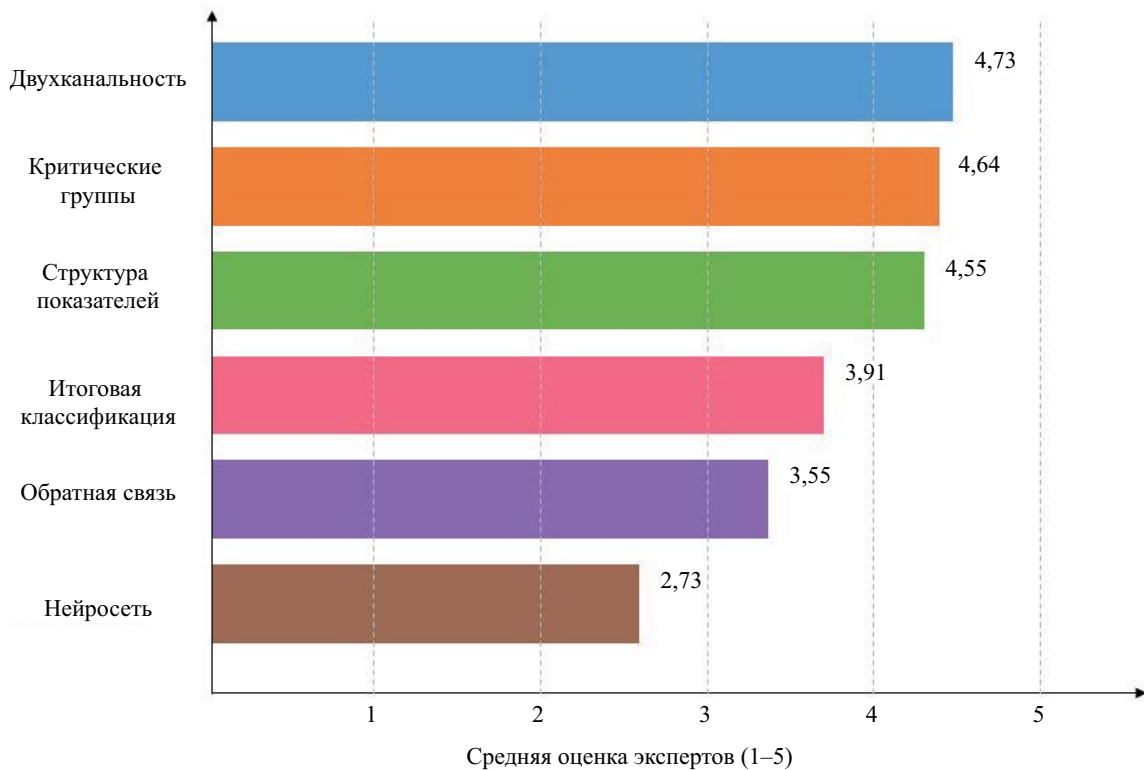


Рис. 5. Оценки экспертов

Дополнительно проанализированы ответы на альтернативные вопросы (тип «да/нет»), сопровождавшие каждый блок. Эти вопросы выявляли долю экспертов, согласных или несогласных с ключевыми положениями методики. Результаты распределения ответов приведены ниже:

Блок 1: 8 экспертов ($\approx 73\%$) считают набор показателей полным, не требующим дополнений; 3 эксперта указали, что необходимо добавить показатели для полноты оценки.

Блок 2: 9 экспертов (82%) поддерживают недостаточно обосновано.

Блок 3: 8 экспертов (73%) согласны, что классификация на 4 исхода охватывает все ключевые ситуации; 3 эксперта полагают, что следует пересмотреть число классов (объединить категории «отказ в приемке», «направлено на доработку»).

Блок 4: 10 экспертов (91%) считают целесообразным использовать два канала (нейросеть и документацию) совместно; лишь 1 эксперт высказался за упрощение подхода до одного основного канала анализа.

Блок 5: 4 эксперта (36%) заявили, что архитектура нейросети им полностью понятна; остальные 7 (64%) отметили недостаточную ясность устройства модели и потребность в дополнительных пояснениях.

Блок 6: 7 экспертов (64%) считают, что полезна выдача рекомендаций по устранению выявленных несоответствий; 4 эксперта (36%) оценивают ценность рекомендаций как низкую, указывая на их общий характер.

Открытые вопросы в анкете позволили экспертам подробно комментировать недостатки методики и предлагать улучшения. Анализ ответов выявил ряд повторяющихся недочетов и рекомендаций. Многие эксперты дополнили оценки конкретными примерами несоответствий и советами по доработке. Далее приведены ключевые замечания экспертов (с указанием соответствующего тематического блока):

Блок 1 (структура показателей): несколько экспертов указали на недостающие показатели, предлагая расширить набор для полноты. Такие комментарии свидетельствуют о том, что, хотя в целом структура была одобрена, некоторым специалистам не хватило отдельных метрик для всестороннего охвата.

Блок 2 (критические показатели): в отзывах подчеркивалась важность четкого определения критериев критичности. Например, один эксперт указал: «Критерии отнесения показателей к “критическим” должны быть более четко прописаны, чтобы у всех было единое понимание».

Блок 5 (нейросеть): наиболее обширную обратную связь эксперты дали по архитектуре нейросети. Непонятность модели стала общим местом в комментариях. «Архитектура нейросети слишком сложна для пользователя; необходимы дополнительные пояснения и обучающие материалы», — отметил один из экспертов. Другой рекомендовал упростить модель: «Имеет смысл использовать более простую архитектуру — так результаты будут легче интерпретировать». Подобные рекомендации объясняют низкие баллы, выставленные по этому блоку, и указывают

направление для улучшения — упрощение и лучшее документирование модели, а также предоставление более подробных описания методики и инструкции.

Блок 6 (обратная связь): в комментариях по модулю обратной связи эксперты подчеркнули необходимость более детальных рекомендаций. Хотя список обнаруживаемых несоответствий оценен положительно, ряд экспертов считает, что советы недостаточно конкретны. Прозвучало пожелание обогащать рекомендации примерами решений: «Хотелось бы получать не только факты о проблемах, но и конкретные шаги, как их исправить». Еще одна частая рекомендация — расширить перечень сценариев, при которых даются рекомендации, чтобы охватить больше практических ситуаций.

Результаты экспертного опроса демонстрируют, что методика получила одобрение по ключевым параметрам, при этом эксперты едины во мнении о наиболее проблемных зонах, требующих доработки. Высокая согласованность оценок ($W \approx 0,52$) подтверждает надежность полученных выводов: эксперты сходятся в положительной оценке логики структуры показателей, критериального разделения и интеграции модели с документацией, и одновременно коллективно указывают на недостаточную ясность нейросетевой части и рекомендательного модуля. Эти данные послужат основой для целенаправленного улучшения методики в соответствии с рекомендациями экспертов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанная методика автоматизированной оценки РД, подготовленной с использованием технологий информационного моделирования, продемонстрировала эффективность и применимость в современных условиях цифрового строительного проектирования. Ее архитектура базируется на логически структурированных показателях, формализованных правилах и нейросетевом классификаторе, что обеспечивает строгое и воспроизводимое приня-

тие решений без применения весов или интегральных обобщений. В методике реализована возможность как параллельной, так и двухэтапной оценки, учитывающей специфику анализа ЦМ и текстографической документации. Встроенный механизм обработки неполного комплекта позволяет сохранять гибкость и формировать корректные замечания даже при частичной доступности исходных данных. Математическая модель использует булеву формализацию, логические операторы и пороговые значения, обеспечивая прозрачность и интерпретируемость результата. Система классифицирует результат анализа по четырем исходам: принято, принято с доработкой, направлено на доработку, отказ в приемке.

Проведенный экспертный опрос подтвердил применимость предложенного подхода: по большинству блоков методики зафиксированы высокие оценки и высокий уровень согласованности мнений (коэффициент Кендалла $W \approx 0,52$). В то же время отмечены направления, требующие дальнейшего развития — в частности, архитектура нейросети и модуль обратной связи, выдающий рекомендации.

Полученные результаты демонстрируют научную и практическую значимость методики. Она может быть использована как основа для систем интеллектуального контроля проектной документации на этапе подготовки к экспертизе, внутреннего проектного аудита или анализа степени готовности документации в рамках договорных процессов. В дальнейшем планируется расширение набора показателей и обучение нейросети на расширенных корпусах проектных данных.

Особую практическую ценность методика представляет при работе с договорными обязательствами подрядчиков на проектирование. В случае досрочного расторжения контракта она позволяет объективно оценить фактический объем выполненной ПД на основе автоматизированной проверки, что делает возможными обоснованную фиксацию степени готовности результата и урегулирование финансовых расчетов между сторонами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Крюков К.М. Практический подход к интеграции технологии информационного моделирования и бережливого строительства // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 1. С. 180–193. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-180-193. EDN SRJTJS.
2. Вирцев М.Ю., Салахов Р.Л. Преимущества и область применения BIM-технологий в России // Экономика строительства и жилищно-коммунального хозяйства. 2022. № 1 (1). С. 31–38. EDN IIPWK.
3. Кестелев Н.А. Роль информационного моделирования и автоматизированных технологий в проектировании и строительстве высотных зданий // Современные перспективы развития гибких производ-

ственных систем в промышленном гражданском строительстве и агропромышленном комплексе : сб. науч. ст. 2-й Всеросс. науч.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров. 2024. С. 235–240. EDN QGFLSV.

4. Лapidус А.А., Федосов С.В., Петрухин А.Б., Кеневет Э. Цифровое информационное моделирование BIM — одна из возможностей управления жизненным циклом объектов строительства // Строительное производство. 2023. № 4. С. 32–36. DOI: 10.54950/265853402023432. EDN AWXPGA.

5. Никитин А.Р. Оценка рабочей документации, подготовленной с помощью информационного моделирования // Технологии, модели и алгоритмы

модернизации науки в современных геополитических условиях : сб. ст. Нац. (Всеросс.) науч.-практ. конф. с междунар. уч. 2025. С. 62–67. EDN NNJCEG.

6. *Придвижкин С.В., Тяпочкин М.Ю., Старцева М.Г.* Оценка себестоимости строительства в ГК «Кортрос» с использованием аналитики данных информационной модели // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Т. 24. № 4. С. 41–49. DOI: 10.14529/build240406. EDN LCNAWB.

7. *Евсязина В.А., Дмитриева Н.Н.* Проверка нормативных документов в процессе разработки проектной документации с помощью информационной модели // Экономика строительства. 2024. № 4. С. 160–164. EDN OACGCE.

8. *Gao S.* A BIM-based ontological seismic multi-objective evaluation and optimisation design for buildings : PhD thesis. Cardiff University, 2025. URL: <https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/177611>

9. *Мандрица П.М.* Применение искусственного интеллекта в экспертизе проектной документации: повышение эффективности и качества строительного проектирования // Инновации и инвестиции. 2024. № 5. С. 623–628. EDN SVSJLM.

10. *Hosseini M.A., Ravanshadnia M., Rahimzadegan M., Ramezani S.* Next-Generation Building Condition Assessment: BIM and Neural Network Integration // Journal of Performance of Constructed Facilities. 2024. Vol. 38. Issue 6. DOI: 10.1061/JPCFEV.CFENG-4828

11. *Ostadreza A., Shahhosseini V.* Automated Construction Progress Monitoring Using Image Segmentation Trained on a Synthetic Dataset, 3D Reconstruction, and BIM. 2024. DOI: 10.2139/ssrn.5049036

12. *Никитин А.Р., Синенко С.А.* Выявление показателей и доминирующих факторов, влияющих на оценку проектной документации // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16. № 5. EDN CWDXSG.

13. *Мищенко Д.С., Скуркан Е.С.* Особенности разработки проектной и рабочей документации // Информационные системы и технологии АПК и ПГС : сб. науч. ст. 2-й Междунар. науч.-техн. конф. 2024. С. 279–283. EDN LUNCQJ.

14. *Редько В.С., Цимбельман Н.Я.* Алгоритм анализа и контроля качества данных и качества проекта с применением цифровой информационной модели // Инженерный вестник Дона. 2024. № 7 (115). С. 518–536. EDN ECDPWM.

15. *Рыбакова А.О.* Использование информационных моделей модульных элементов на этапе архитектурно-строительного проектирования объектов капитального строительства : дисс. ... канд. тех. наук. М., 2023. 201 с. EDN DHJXLQ.

16. *Tsay G.S., Staub-French Sh., Poirier E., Zadeh P., Pottinger R.* BIM for FM: understanding information quality issues in terms of compliance with owner's Building Information Modeling Requirements // Fron-

tiers in Built Environment. 2023. Vol. 9. DOI: 10.3389/fbuil.2023.1117066. EDN YJKICO.

17. *Candir E., Atasoy G.* Exploring quality issues in building information models via structural design reviews // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1101. Issue 9. P. 092011. DOI: 10.1088/1755-1315/1101/9/092011. EDN MVWWTE.

18. *Городнова Н.В., Лемеза В.А.* Применение BIM-технологий в цифровой экономике: мировой опыт и российская практика // Экономика, предпринимательство и право. 2022. Т. 12. № 8. С. 2241–2260. DOI: 10.18334/epp.12.8.115082. EDN XSYSOS.

19. *Zhang C., Hu Z., Zhu H., Wang X., Gao J.* Effects of silane on reaction process and microstructure of meta-kaolin-based geopolymer composites // Journal of Building Engineering. 2020. Vol. 32. P. 101695. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101695

20. *Khan A.A., Bello A.O., Arqam M., Ullah F.* Integrating Building Information Modelling and Artificial Intelligence in construction projects: A review of challenges and mitigation strategies // Technologies. 2024. Vol. 12. Issue 10. P. 185. DOI: 10.3390/technologies12100185

21. *Nikitin A.* Features of the use ai in generative design of building and structures // Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences. 2024. Vol. 19. Issue 5. DOI: 10.26782/jmcms.2024.05.00001

22. *Liu H., Gan V.J.L., Cheng J.C.P., Zhou S.A.* Automatic fine-grained BIM element classification using multi-modal deep learning (MMDL) // Advanced Engineering Informatics. 2024. Vol. 61. P. 102458. DOI: 10.1016/j.aei.2024.102458

23. *Peng J., Liu X.* Automated code compliance checking research based on BIM and knowledge graph // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. Issue 1. DOI: 10.1038/s41598-023-34342-1

24. *Kayhani N., McCabe B., Sankaran B.* Semantic-aware quality assessment of building elements using graph neural networks // Automation in Construction. 2023. Vol. 155. P. 105054. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.105054

25. *Madireddy S., Gao L., Din Z.U., Kim K., Senouci A., Han Z. et al.* Large Language Model-Driven Code Compliance Checking in Building Information Modeling // Electronics. 2025. Vol. 14. No. 11. P. 2146. DOI: 10.3390/electronics14112146

26. *Слепушкин Д.В., Бурлов Д.Ю.* Возможности искусственного интеллекта и автоматизации процессов проектирования в строительстве: библиометрический анализ // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. № 3. С. 440–455. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.3.440-455. EDN MYHCAL.

27. *Candir E., Atasoy G.* Exploring quality issues in building information models via structural design reviews // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1101. Issue 9. P. 092011. DOI: 10.1088/1755-1315/1101/9/092011. EDN MVWWTE.

28. *Синенко С.А., Никитин А.Р.* Определение критериев оценки проектной документации, подготовлен-

ной с помощью информационного моделирования // Строительное производство. 2024. № 2. С. 88–94. DOI: 10.54950/26585340_2024_2_88. EDN SGGPSM.

29. *Никитин А.Р., Синенко С.А.* О результатах анализа проектной документации для строительства,

разработанной с использованием технологий информационного моделирования // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2 (53). С. 257–265. DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-257-265. EDN KPVVVM.

Поступила в редакцию 15 августа 2025 г.

Принята в доработанном виде 22 августа 2025 г.

Одобрена для публикации 3 сентября 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: Александр Русланович Никитин — аспирант кафедры технологии и организации строительного производства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 6460-1006, ORCID: 0009-0002-6755-8247; a.nikitin56@gmail.com;

Сергей Анатольевич Синенко — доктор технических наук, профессор кафедры технологии и организации строительного производства; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 2697-4535, Scopus: 55982599200, ResearcherID: AAF-6668-2021, ORCID: 0000-0002-2212-750X; sasin50@gmail.com.

Вклад авторов:

Никитин А.Р. — написание статьи, разработка методологии, итоговые выводы.

Синенко С.А. — научное руководство, концепция исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Current digitalization trends in the construction sector are driving the widespread adoption of information modelling technologies (TIM), which are transforming the approach to architectural and structural design. IMT enhances consistency, accuracy and transparency in the preparation of design and working documentation [1–4]. Nevertheless, as these technologies become more widespread, there is a growing need for a critical assessment of the working documentation (WD) produced, upon which the timelines, costs and sustainability of construction projects depend [5, 6].

The traditional approach to assessing WD, involving manual checks by experts, remains labour-intensive, subjective and prone to human error. In this regard, a pressing task is the development of automated methods for assessing documentation, enabling the identification of errors, omissions and non-compliance with regulatory requirements [7, 8].

One promising area in this context is the use of artificial intelligence (AI), particularly neural network algorithms. Neural networks make it possible to learn from large volumes of data and identify typical errors in design and working documentation, including that prepared using TIM. However, to ensure the applicability of such a methodology in real-world practice, it is necessary not only to develop the algorithm but also to verify it with the involvement of professional industry experts [9–12].

Thus, a scientific and practical problem arises: how to integrate the capabilities of neural networks and the expert approach for an objective and reproducible as-

essment of design documentation generated by information modelling tools.

The aim of the research is to develop a methodology for assessing working documentation prepared using information modelling technologies with the application of neural network algorithms.

Research objectives:

- to establish evaluation criteria for the WD created using TIM tools;
- to develop a methodology framework incorporating a neural network analysis module;
- to conduct an expert survey to clarify the significance of the criteria and validate the results of the automated evaluation.

MATERIALS AND METHODS

The architectural and structural design process can be viewed as a sequence of stages (the project life cycle) from the initial concept through to the production of design documents and subsequent construction. Fig. 1 shows a diagram of the main stages of this cycle.

During the conceptual phase, the initial requirements and architectural and planning solutions are formulated in general terms (preliminary design, feasibility study). Next, the design documentation (DD) is developed — a set of “P” stage documents sufficient for the project to be assessed by the relevant authorities. The design documentation contains the main architectural, structural and engineering solutions, explanatory notes and calculations necessary to verify compliance with regulatory requirements. Once the design work is complete, this documentation is submitted for state

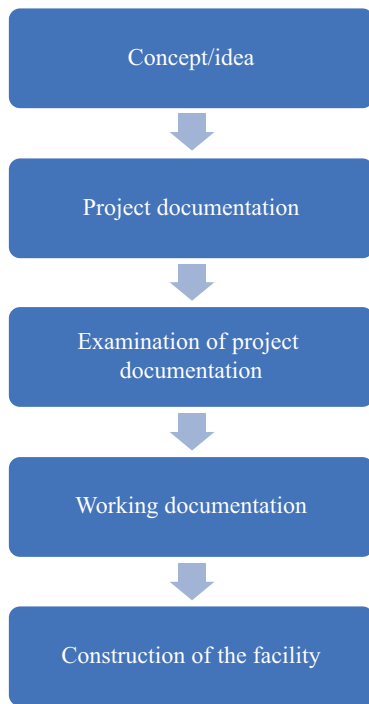


Fig. 1. Stages of the architectural and structural design life cycle

or non-state expert review, which assesses the project against criteria of safety, reliability and compliance with standards and regulations. Successful completion of the review results in the issuance of a positive conclusion, certifying that the project complies with the established requirements.

The next stage is the preparation of the working documentation. At this stage, the design is developed in full detail: working drawings for all sections, specifications for materials and equipment, and other documents required for the execution of construction and installation works are produced. The working documentation is based on the solutions approved by the expert review and must not contradict them. It serves as a direct guide for construction works and contains all the information required by construction organizations. Once the working documentation has been produced and checked (either internally or externally), construction of the facility can begin. Thus, the design lifecycle covers the path from the initial idea to a complete set of documents that have passed expert evaluation and are suitable for practical implementation. Each stage logically follows on from the previous one, increasing the level of detail and soundness of the solutions [13].

At all the stages listed, digital information models (DIM) of the appropriate level of detail are currently being created in parallel. Thus, at the concept stage, the model is of a generalized nature (for example, corresponding to a LOD of ~100–200, containing the building's overall dimensions and key parameters), whereas at the design stage, the information model (IM) is enriched with details of structures, engineering systems and attributes, reaching a level of detail (LOD) of ~400–500 (de-

tailed elements down to the dimensions of manufactured components) [14–17].

The project's working documentation comprises two key interrelated components: the building's digital model and the traditional text-and-graphics section. At the design stage, the digital model (DM) contains the full scope of geometric and attribute information about the project (architecture, structures, and engineering systems) in its current version. The text and graphic section include drawings (plans, elevations, sections, details) prepared in accordance with the Unified System of Design Documentation/Construction Project Documentation System (USDD/CPDS); specifications for materials and equipment; an explanatory note; and other documents (e.g. calculation results, process flow charts).

In modern projects, these two components complement each other: the model serves as a source for generating drawings and specifications, whilst text documents clarify information that is not directly reflected in the BIM model.

Given this structure, the methodology allows for either a parallel two-channel review (where the DM and the submitted documentation are assessed simultaneously) or a two-stage review of the WD. The first option is a single-stage assessment, in which the DM and the submitted documentation are assessed together. The second option is a two-stage assessment of the design documentation. The first stage is the review of the 3D model: compliance of the model with the established requirements (structure, geometric accuracy, information content, etc.) is analyzed. Once the DM was approved, the second stage begins — the review of the formalized documentation: the completeness and presentation of the drawings and explanatory materials are assessed, along with their consistency with the IM. The two-stage approach is justified by the fact that identifying and rectifying errors at the model level simplifies the subsequent review of drawings and text. If the model does not meet key requirements, further detailed verification of the drawings becomes pointless; therefore, an acceptable level of BIM model assessment must first be achieved. Only then does the system proceed to analyze the textual and graphical documentation, using information extracted from the verified model.

Fig. 2 shows a flowchart of the two-stage assessment process. In the first stage, the BIM model analysis module identifies discrepancies based on formalized criteria. Once any critical errors in the model have been corrected (if present), the system proceeds to the second stage, during which the composition and content of the documentation produced are checked: the presence of all mandatory drawings and sections, the conformity of the drawings with the model, and compliance with standards. In this way, a comprehensive assessment result is achieved: from the digital representation of the project to traditional documents.

To justify the development of the methodology, a review was conducted of existing methods for the con-

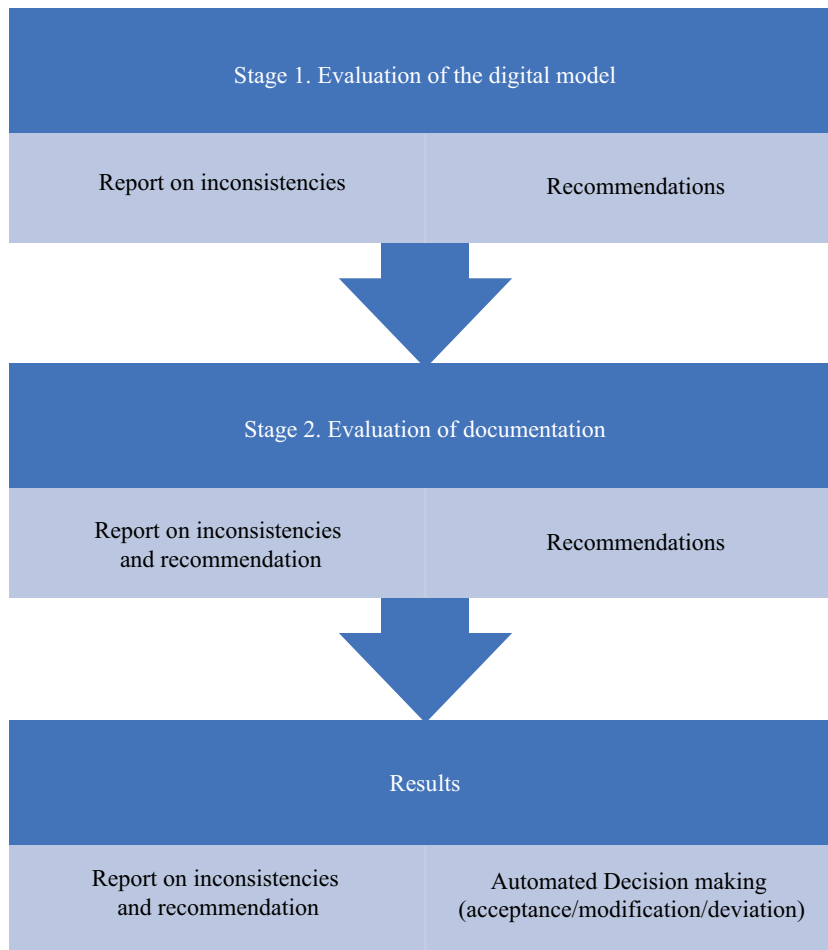


Fig. 2. Flowchart of the working documentation assessment process

trol and examination of design and working documentation in both domestic and international practice. Table 1 presents a comparative analysis of key approaches in Russia and abroad [18].

In Russia, the key mechanism for assessment remains the review of project documentation, which has the authority to prevent a project from proceeding if it fails to meet the requirements. Abroad, greater responsibility is placed on designers and liability insurance schemes, whilst state oversight focuses on specific aspects (primarily safety and compliance with urban planning regulations).

The sheer volume, heterogeneity and multi-layered nature of modern working documentation make it extremely difficult to check systematically by hand. A project comprises dozens of models and drawings, hundreds of pages of text and thousands of parameters, all of which must simultaneously meet a multitude of requirements — regulatory (CP, GOST), organizational and methodological, as well as the requirements of the specific design brief. Even when using partially automated verification tools (for example, checking only for clashes or only for parameter completeness), a significant number of inconsistencies remain, the identification of which requires intellectual analysis. Such tasks, which are difficult to formalize, include, in particular: verifying

the compliance of adopted design decisions with safety standards (analyzing the text of the explanatory note for the presence of required sections on fire safety, energy efficiency, risk assessment, etc.), comparing numerical indicators in the model and in the explanatory note (for example, comparing the total area as per the explanatory note with the sum of the areas of rooms in the model), and identifying logical inconsistencies between sections (for example, discrepancies in equipment brands between engineering system diagrams and specifications).

Existing automation tools do not provide comprehensive coverage of these issues, which necessitates the use of AI methods. Neural network algorithms and related technologies are capable of learning from large datasets of projects, identifying complex patterns and inconsistencies that are difficult to capture through explicit rules. Modern AI methods, including deep learning neural network architectures, natural language processing (NLP) and graph models, open up new possibilities for the intelligent verification of technical documentation based on TIM [19–21].

A number of studies demonstrated the effectiveness of such approaches for evaluating design solutions. Neural networks can simultaneously analyze diverse information — 3D geometry, tabular data, and textual descriptions — and identify hidden correlations. For example,

Table 1. Comparison of methods for assessing design and working documentation in Russia and abroad

Evaluation aspect	Domestic practice	International practice
Regulatory audit	Mandatory state review of project documentation: an independent body (project documentation review) verifies the project's compliance with regulatory documents and issues a report. Working documentation is not formally reviewed during this process, but the correctness of the decisions made in the working documentation is indirectly monitored through compliance with the project documentation and construction supervision	There is no single body responsible for state technical inspection. Compliance with standards is monitored through the building permit process administered by local authorities. The design is checked by municipal experts or accredited engineers to ensure it complies with building codes. Responsibility for the quality of the documentation lies largely with certified architects and engineers, whose signatures certify compliance with the standards
Internal control	A system of regulatory compliance checks has been implemented in design organizations, whereby specialized departments review documentation to ensure it complies with GOST standards, design specifications and the technical brief. In addition, the project's lead specialists carry out design supervision	Large international companies have established internal QA/QC (quality assurance/quality control) procedures: the review of drawings by another department, and an external technical audit of the project (peer review) at the client's request. Engineers who hold a professional licence bear personal responsibility for the quality of their sections
Using TIM for assessment	Software tools (such as Navisworks, Revit, etc.) are widely used to check models for clashes and other errors during the design stages. Regulatory guidelines for checking information models are emerging (the Russian Ministry of Construction has issued a standard for information modelling, and expert bodies are developing criteria for checking BIM models). In some cases, the BIM model is submitted for expert review to undergo additional automated checks	Automated control using BIM is developed: software tools are used to check rules (Solibri Model Checker, Autodesk Model Checker, etc.), and custom scripts are configured to validate models. In some countries, pilot projects have been implemented to automatically check compliance with regulations: for example, Singapore has implemented the CORENET system to automatically analyze models for compliance with building codes. These systems reduce the time required for manual verification and increase its objectivity
Focus ratings	The primary focus is on compliance with regulatory requirements (technical regulations, SNiP, SP). The project is assessed first and foremost in terms of safety and compliance with mandatory standards. Economic and organizational aspects (cost estimates, schedules) are considered secondarily	Abroad, the evaluation criteria are more varied: in addition to compliance with mandatory standards (safety, accessibility, etc.), assessments cover architecture (aesthetics, integration into the surroundings), sustainability (energy efficiency, environmental friendliness — often through voluntary certifications such as LEED and BREEAM), cost and timelines. Formalized design quality indices do exist (for example, the Design Quality Indicator) in the UK — a survey-based method for assessing perceptions of a project's quality. However, such assessments are generally voluntary and are used by clients to select the best project, rather than being a mandatory state-mandated review

a trained model can identify that the absence of certain parameters in the DM often correlates with errors in the drafting of specifications, and flag such situations. Thus, the integration of a neural network module into the evaluation system significantly improves the comprehensiveness and accuracy of automated checks, reduces the workload on experts, and accelerates the process of identifying errors at early design stages [22–27].

Furthermore, the use of a neural network approach ensures the adaptability of the assessment system. The algorithm can be trained using examples from real-world projects and expert reviews, enabling the verification criteria to automatically adapt to common design patterns and typical errors. In the long term, this will enable the system to “learn” from experts, drawing on their experience, and to continuously improve the quality of the assessment.

To implement the WD assessment methodology, a specialized architecture based on artificial neural networks has been developed, enabling the processing of both IM data and text documents. The architecture diagram is shown in Fig. 3.

The input layer contains two data sources:

1. Building Information Model (BIM). Formats: IFC, RVT. Represents the IM of a capital construction project. Contains topological, geometric, parametric and attribute data.

2. Documentation. Formats: PDF, DOCX, XLS, etc. Includes explanatory notes, drawings, specifications, stamps, tables and other design documentation prepared on the basis of the digital model.

This data is fed into the neural network as an input signal, divided into processing streams.

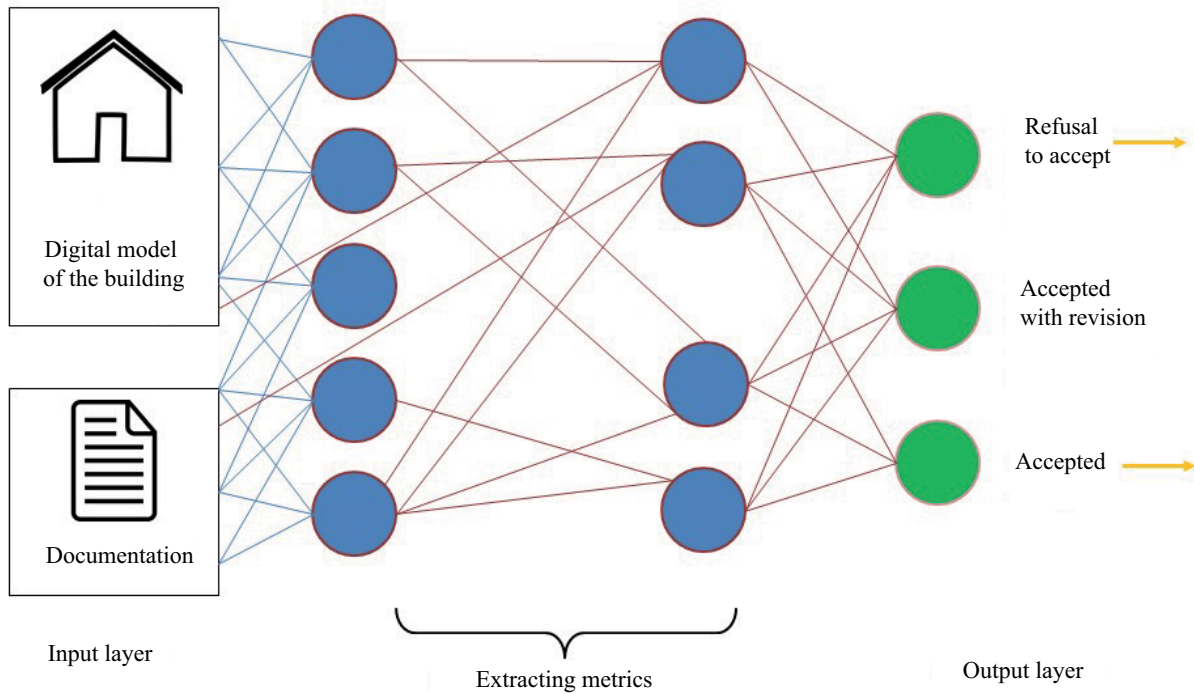


Fig. 3. Architecture diagram of the methodology for evaluating working documents

Feature extraction involves hidden or internal layers; these are not visible to the user. The methodology utilises two hidden layers.

This section is labelled “Extraction of indicators”, which reflects a key feature of the methodology: the generation of features x_1, x_2, \dots, x_n based on the structure of the WD evaluation indicators.

Within the hidden layers, information processing is divided according to input type. In the first layer, features are extracted using subnetworks.

Graph sub-network. A graph neural network (GNN) approach is used to analyze the building’s structure. The BIM model is converted into a graph: the graph’s nodes correspond to elements (structures, rooms, equipment), whilst the edges represent various relationships (adjacency, the “floor – room – zone” hierarchy, connections between engineering networks, etc.). Each node has a set of features (element attributes: type, dimensions, material, etc.).

Text sub-network. A natural language processing (NLP) architecture is used to analyze text data. The aim is to extract semantic features from explanatory notes, descriptions and requirements. The subnet converts the text of each section into a vector that reflects its

content. For example, it can detect whether important aspects (standards, calculations) are mentioned in the explanatory note, the completeness of the description, and the presence of certain keywords (such as “fire safety”, “energy saving” and so on).

To compare the model with the documentation, a *convolutional neural network* (CNN) is used to process images of drawing sheets and verify the drawing against the model.

In the second hidden layer, information from the subnetworks is combined to form the vector $[x_1 \dots x_n]$ — a unified set of features for the final decision.

To convert evaluation indicators into features, each indicator has four attributes, as shown in Table 2.

The feature extraction diagram is shown in Fig. 4.

Once the IM and documentation have been processed, a report is generated on the output layer, comprising the following main components:

- a list of identified non-conformities. Upon completion of the check, a summary of all detected violations and deviations from requirements is automatically generated. Non-conformities are grouped by indicators and accompanied by references to the specific model elements or documentation sections to which they relate;

Table 2. Attributes of the working documentation assessment indicator

Attribute	Description
ID	Unique name or indicator code
Unit of measurement	%, count, binary (yes/no), text label
Metrics	What constitutes compliance
Extraction method	How will the information be extracted from the digital model/documentation?

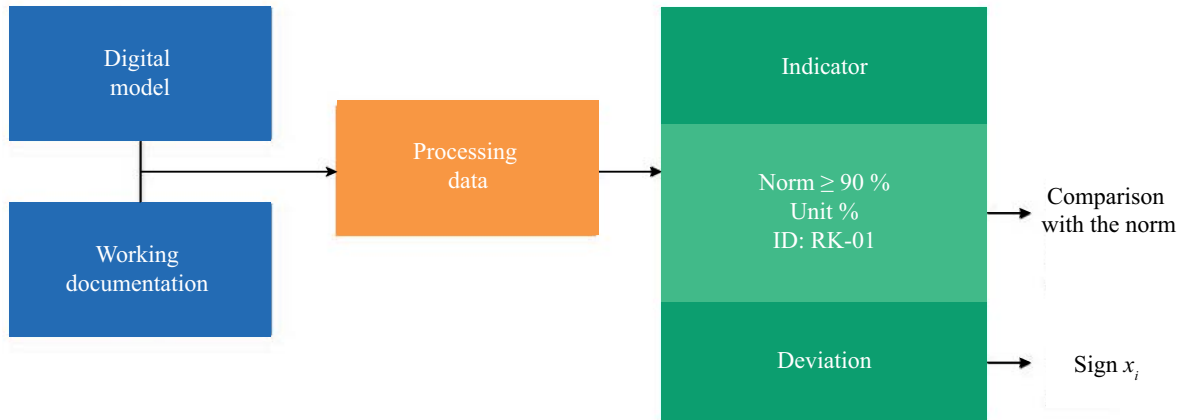


Fig. 4. Feature extraction diagram

- recommendations for rectifying deficiencies. For each identified non-conformity, the intelligent system generates recommendations based on predefined rules and accumulated data on typical solutions. Recommendations may include instructions on how to correct the model or supplement the documentation. If a particular non-conformity has been encountered in previously trained examples, the system will suggest a specific solution that has been effective in similar cases;

- a systematic approach to documentation. The key outcome of this methodology is to assist in determining the future course of action for the documentation under review. Based on a comprehensive assessment of all indicators and taking into account the severity of the issues identified, the system produces a preliminary conclusion in the form of one of the scenarios listed in Table 3.

The method for evaluating WD is based on logical rules and neural network classification, without the use of weights or aggregate indicators. This approach eliminates the need for weights and aggregation, simplifies auditing, increases the transparency of the decision-making logic, and allows indicators to be added to or excluded from the model without the need for additional research to determine the weight of the indicator in question [28, 29]. The model is based on a multi-level structure of indicators, presented as nested groups:

1) group — a general criterion;

2) first-level subgroup — a specific aspect within the group;

3) second-level subgroup — a specific aspect within the group;

4) indicator — a specific aspect of the assessment.

An example of the grouping of indicators for the “Automation of Engineering Systems” section is presented in Table 4.

Let S be the set of all indicator groups, where each group G contains first-level subgroups P , each first-level subgroup contains second-level subgroups F , and each second-level subgroup contains a finite set of indicators x . Formally:

$$S = \{G_1, G_2, \dots, G_n\}; \tag{1}$$

$$G_i = \{P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{in}\}; \tag{2}$$

$$P_{ij} = \{F_{ij1}, F_{ij2}, \dots, F_{ijn}\}; \tag{3}$$

$$F_{ijk} = \{I_1, I_2, \dots, I_r\}, I \in \{0,1\}. \tag{4}$$

Each indicator is a Boolean variable to which a binary value is assigned:

$I = 1$ — requirement met;

$I = 0$ — requirement not met.

For quantitative indicators and those expressed as percentages, a logical conversion function has been in-

Table 3. Decision-making scenarios

Decision	Terms and Conditions	Next steps
✓ Accepted	Complete set; all parameters are within acceptable limits; no critical comments	The documentation is forwarded to the next stage (review, implementation)
⚠ Accepted with amendments	Minor discrepancies that do not affect applicability; minor formatting errors	Grant conditional approval; require the developer to address the comments within the specified timeframe
✗ Rejection	Critical structural flaws, the absence of required sections, and inconsistencies between the model and the texts	Return of documentation for further revision; prohibition on use
🔄 Sent for further revision	A number of significant but rectifiable shortcomings were identified	A report on current issues is compiled and sent to the contractor for rectification

Table 4. An example of a multi-level indicator structure

<i>P</i>	Subgroup 1	<i>F</i>	Subgroup 2	<i>I</i>	Indicator	Metrics
<i>Group 1 — BIM evaluation criteria at the ‘Working documentation’ stage</i>						
2	System functionality	29	Functionality	86	Full implementation of functions in accordance with the technical specifications	%
				87	% of functions implemented in accordance with the specification	%
				88	No errors were found during testing of typical and boundary scenarios	Yes/no
				89	Alignment of functions with the system’s purpose	Yes/no
				90	Availability of system diagnostics functions	Yes/no
				91	Availability of control functions and manual intervention	Yes/no
				92	The presence and accessibility of manual controls and emergency stop buttons	Yes/no
	30	Flexibility	93	Ability to adapt to changes in input data/conditions	Yes/no	
			94	Correspondence between the number of independent functional modules/blocks	Yes/no	

roduced to preserve the binary structure of the model. When there is an upper limit:

$$I_{ijk} = \begin{cases} 1, & x \leq T; \\ 0, & x > T; \end{cases} \quad (5)$$

when constrained from below:

$$I_{ijk} = \begin{cases} 1, & x \geq T \\ 0, & x < T \end{cases} \quad (6)$$

where *x* is the actual value or percentage of completion; *T* is the target value.

A second-level sub-group is considered to have been completed if all its indicators have been met:

$$F_{ijk} = \bigwedge_r I_{ijk}. \quad (7)$$

A first-level subgroup is considered complete if all second-level subgroups have been completed:

$$P_{ij} = \bigwedge_k F_{ijk} = \bigwedge_k \left(\bigwedge_r I_{ijk} \right). \quad (8)$$

A group is considered complete if all subgroups 1 have been completed:

$$G_i = \bigwedge_k P_{ij} = \bigwedge_j \left(\bigwedge_k \left(\bigwedge_r I_{ijk} \right) \right). \quad (9)$$

Thus, the fulfilment of group *G_i* is indicated by the logical conjunction of all the indicators it comprises.

As part of the methodology currently being developed for assessing design solutions, a classification of indicator groups is applied based on their degree of significance and their impact on the reliability of design solutions.

All groups *G_i ∈ S* are divided into two subclasses:

$$G_{crit} \subset S; G_{noncrit} = S/G_{crit}. \quad (10)$$

This decomposition is used when constructing logical negation expressions:

$$F_{crit} = \bigvee_{G_i \in G_{crit}} \neg G_i; \quad (11)$$

$$F_{noncrit} = \bigvee_{G_i \in G_{noncrit}} \neg G_i. \quad (12)$$

The results of the analysis are then interpreted by the classifier, and a final decision is reached:

$$D = \begin{cases} 1, & F_{crit} = 0 \wedge F_{noncrit} = 0; \\ 2, & F_{crit} = 0 \wedge F_{noncrit} = 1; \\ 3, & F_{crit} = 1 \quad (\text{localized}); \\ 4, & F_{crit} = 1 \quad (\text{critical}). \end{cases} \quad (13)$$

The result *D* takes one of the four values listed in Table 5.

An expert survey was conducted to validate the key components of the WD assessment methodology. A questionnaire was prepared for the expert survey.

Experts with sufficient experience and expertise in the field of architectural and structural design were invited to participate in the survey. The criteria for selecting experts included:

1. At least five years’ experience in the design or review of design and cost estimates and working drawings.
2. Specialists who are members of NOPRIZ.
3. Specialists with practical experience in regulatory compliance, conducting reviews or technical audits of documentation.
4. Specialists possessing the skills and understanding of the principles of information modelling for capital construction projects.

Table 5. Systematic classification of final decisions

Value	Solution
$D = 1$	Accepted
$D = 2$	Accepted with amendments
$D = 3$	Sent for further revision
$D = 4$	Refusal to accept

The questionnaire comprises six thematic sections covering:

1. The structure of the indicator system.
2. The division into critical and non-critical groups.
3. The classification of final decisions.
4. The logic behind the two-channel and two-stage verification process.
5. The applicability of neural network architecture.
6. The feedback mechanism.

Each set of questions contains scaled, multiple-choice and open-ended questions. This format enabled us to assess the level of consensus among experts and gather recommendations for refining the methodology.

To ensure the expert validation of the methodology, it is important to ensure that the group is sufficiently large, but not overly large. The number of experts has been calculated using the following formula:

$$n_{\min} = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (14)$$

where t — confidence coefficient (1.96 for a 95 % confidence interval); σ — estimated standard deviation = 1; Δ — permissible error (0.6 points);

$$n_{\min} = \frac{1.96^2 \cdot 1^2}{0.6^2} \approx 11. \quad (15)$$

Eleven experts were invited to take part in the survey. The experts were surveyed individually via a written questionnaire. Descriptive statistics were calculated for the quantitative scale ratings (1–5): the mean, median, mode and range of ratings for each question, which made it possible to determine the group's overall opinion and the variation in views. For multiple-choice questions, the percentage shares for each answer option were calculated — this showed which opinions prevailed. The experts' open-ended comments were subjected to qualitative analysis. Responses were grouped by similar themes or suggestions. Key comments and recommendations frequently mentioned by various experts were highlighted in the report. Based on the survey data obtained, the methodology for assessing WD will be refined.

In order to assess the consistency of expert opinions on questions involving ranking or agreement/disagreement, Kendall's W coefficient of concordance is calculated:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)}, \quad (16)$$

where S — the sum of the squares of the deviations of the ranks from the mean; m — the number of experts; n — the number of objects being evaluated.

Statistical significance test W :

$$x^2 = m \cdot (n - 1) \cdot W. \quad (17)$$

This is compared with the critical value of x^2 (significance level $\alpha = 0.05$).

Interpretation of significance W :

$W < 0.3$ — low consistency;

$0.3 \leq W < 0.7$ — moderate consistency;

$W > 0.7$ — high consistency.

RESULTS

Eleven experts took part in the expert survey, evaluating the methodology developed across six thematic areas. The questionnaire included scaled questions (rated on a 5-point Likert scale), multiple-choice questions (binary “yes/no” or a choice between two options) and open-ended questions for comments. The thematic areas of the survey were as follows:

- structure of indicators (logic of construction, grouping, completeness of the set of indicators);
- division into critical and non-critical groups (justification for identifying critical indicators);
- final classification (based on the model's four outcomes);
- dual-channel methodology (combination of model operation and documentary control);
- neural network architecture (clarity and appropriateness of the chosen architecture);
- system feedback (list of identified discrepancies and recommendations provided).

Quantitative survey results

For each scaled question, summary statistics have been calculated: the median score and the interquartile range (IQR). Table 6 presents the results for all six sections. High median values indicate that the majority of experts have a positive assessment of the relevant aspect of the methodology, whereas lower medians indicate the presence of critical comments. The interquartile range characterizes the spread of opinions: a narrow IQR indicates consistency in assessments, whilst a wide one indicates a divergence of opinion amongst the group of experts.

As can be seen from Table 6, blocks 1, 2 and 4 received the highest ratings. In particular, the logical structure and grouping of indicators were rated almost at the maximum (median 5) with minimal variation in

Table 6. Expert ratings for scaled items (median and IQR)

Module and assessment component	Median (IQR)
Section 1. Logical structure of indicators	5 (4–5)
Section 1. Correct grouping of indicators	5 (4–5)
Section 1. Completeness of the set of indicators	4 (3–5)
Section 2. The need to categorise indicators as critical	5 (5–5)
Section 2. Clarity of the criteria for determining the criticality of indicators	4 (3–5)
Section 3. Classification accuracy for 4 outcomes	4 (4–5)
Section 3. Comprehensive coverage of possible outcomes	4 (3–5)
Section 4. The merits of the dual-channel approach	5 (4–5)
Section 4. The convenience of using two channels	4 (3–5)
Section 5. Interpretability of neural network architecture	3 (2–3)
Section 5. Justification for the choice of neural network architecture	3 (3–4)
Section 6. Completeness of system non-conformity detection	4 (4–5)
Section 6. The usefulness of the system's recommendations	3 (3–4)

opinion; in other words, the experts unanimously recognized the structure of the indicators as clear and well-founded. Similarly, the identification of critical indicators is considered necessary (median 5) — almost all experts agreed on the importance of dividing metrics into critical and non-critical. Furthermore, the dual-track approach was highly rated: experts responded positively to the idea of parallel analysis of the model and documentation. The spread of ratings in these sections does not exceed 4–5, indicating a high degree of consensus among positive opinions. At the same time, the neural network architecture was the subject of the greatest disagreement and received the lowest ratings. The median score was 3 for both clarity and practicality of the architecture, whilst a quarter of the experts gave a score of 2 (below satisfactory) for clarity. This means that a significant proportion of the experts considered the architecture to be difficult for users to understand. The range of opinions in section 5 is narrow, i.e. the experts are in agreement regarding the shortcomings. Opinions were divided on section 6 (feedback): the system's ability to identify discrepancies was generally rated positively (median 4), whilst the usefulness of the recommendations was rated lower (median 3). This shows that experts consider the list of problems detected by the system to be sufficiently comprehensive, but the value of the automatically generated recommendations was questioned by some respondents. Block 3 (final classification of the model into 4 outcomes) received intermediate ratings — a median of 4 on both questions. Overall, the experts agree that four outcome classes are a reasonable choice; however, several experts pointed to the possibility of improvements.

The distribution of the experts' ratings across the six thematic areas is shown in Fig. 5.

To quantitatively assess the consistency of the experts' opinions, Kendall's W coefficient of concordance was calculated. The calculated value was $W \approx 0.52$, indicating a fairly high degree of agreement among the experts. The χ^2 statistical test showed that the con-

cordance was significant ($p < 0.001$), i.e. the consistency of opinions is not random.

In addition, the responses to the alternative questions (of the "yes/no" type) accompanying each section were analyzed. These questions identified the proportion of experts who agreed or disagreed with the key provisions of the methodology. The distribution of responses is shown below:

Section 1: 8 experts ($\approx 73\%$) consider the set of indicators to be complete and in no need of further additions; 3 experts indicated that indicators should be added to ensure the assessment is comprehensive.

Section 2: 9 experts (82%) consider the justification to be insufficient.

Block 3: 8 experts (73%) agree that the classification into 4 outcomes covers all key situations; 3 experts believe that the number of classes should be reviewed (merging the categories "rejected" and "sent for revision").

Block 4: 10 experts (91%) consider it appropriate to use two channels (neural network and documentation) in conjunction; only 1 expert advocated simplifying the approach to a single primary analysis channel.

Block 5: 4 experts (36%) stated that they fully understood the neural network architecture; the remaining 7 (64%) noted a lack of clarity regarding the model's structure and a need for further explanation.

Block 6: 7 experts (64%) consider it useful to provide recommendations for rectifying identified discrepancies; 4 experts (36%) rate the value of the recommendations as low, citing their general nature.

The open-ended questions in the questionnaire allowed experts to comment in detail on the methodology's shortcomings and suggest improvements. An analysis of the responses revealed a number of recurring shortcomings and recommendations. Many experts supplemented their assessments with specific examples of inconsistencies and advice on how to refine the methodology. The key comments from the experts are set out below (with reference to the relevant thematic section):

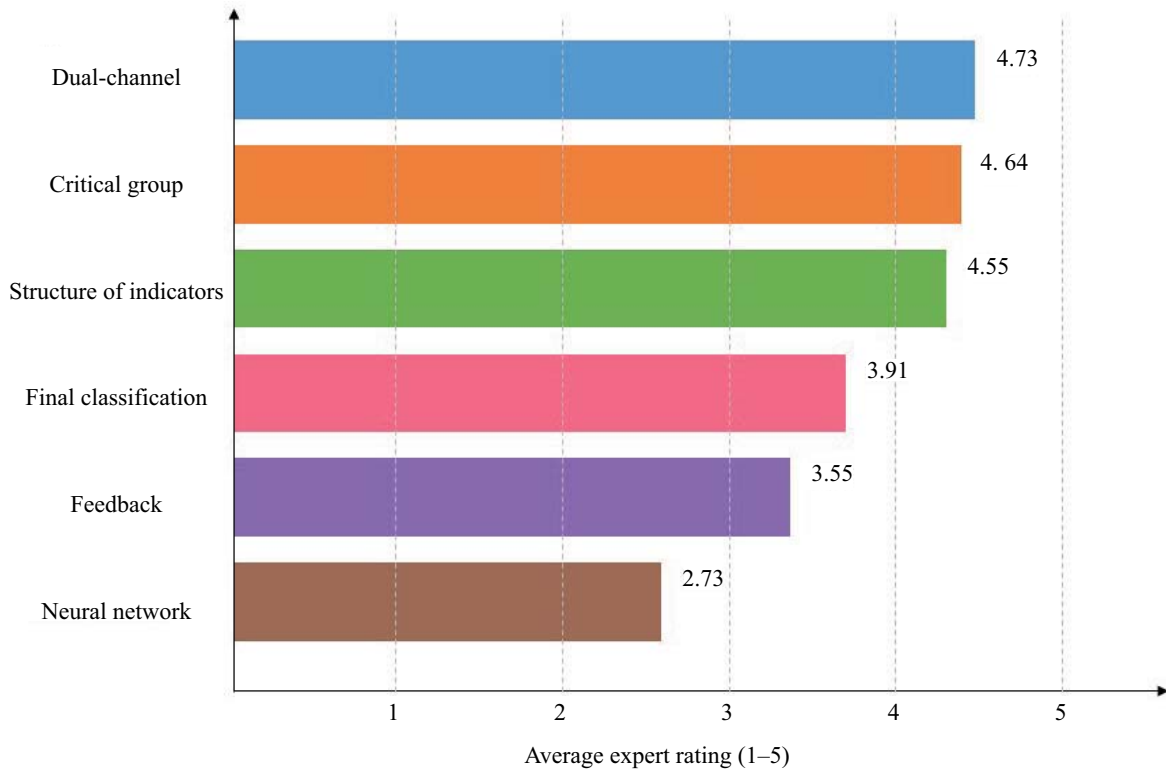


Fig. 5. Expert assessments

Section 1 (structure of indicators): several experts pointed out missing indicators, suggesting that the set be expanded for completeness. Such comments indicate that, although the structure was generally approved, some specialists felt that certain metrics were lacking for comprehensive coverage.

Section 2 (critical indicators): the feedback emphasized the importance of clearly defining the criteria for criticality. For example, one expert noted: “*The criteria for classifying indicators as “critical” should be more clearly defined so that everyone has a common understanding*”.

Block 5 (neural network): the experts provided the most extensive feedback on the neural network architecture. The model’s lack of clarity was a recurring theme in the comments. “*The neural network architecture is too complex for the user; additional explanations and training materials are needed*”, noted one of the experts. Another recommended simplifying the model: “*It makes sense to use a simpler architecture — that way, the results will be easier to interpret*”. Such recommendations explain the low scores awarded for this block and point the way forward for improvement — simplifying and better documenting the model, as well as providing more detailed descriptions of the methodology and instructions.

Block 6 (feedback): In their comments on the feedback module, the experts emphasized the need for more detailed recommendations. Although the list of identified discrepancies was viewed positively, a number of experts felt that the advice was not specific enough.

There was a call to supplement the recommendations with examples of solutions: “*We would like to receive not only facts about the problems, but also specific steps on how to rectify them*”. Another frequent recommendation was to expand the list of scenarios for which recommendations are provided, so as to cover more practical situations.

The results of the expert survey show that the methodology has been approved in terms of key parameters, whilst the experts are in agreement regarding the most problematic areas requiring further refinement. The high consistency of the assessments ($W \approx 0.52$) confirms the reliability of the conclusions drawn: the experts agree on the positive assessment of the logic of the indicator structure, the criteria-based classification and the integration of the model with the documentation, whilst collectively pointing to a lack of clarity in the neural network component and the recommendation module. These findings will serve as the basis for targeted improvements to the methodology in accordance with the experts’ recommendations.

CONCLUSION AND DISCUSSION

The methodology developed for the automated evaluation of design documentation prepared using information modelling technologies has demonstrated its effectiveness and applicability in the modern context of digital construction design. Its architecture is based on logically structured indicators, formalized rules and a neural network classifier, which ensures rigorous and reproducible decision-making without the use

of weights or integral generalizations. The methodology provides for both parallel and two-stage evaluation, taking into account the specific nature of DM analysis and text-graphical documentation. The built-in mechanism for processing incomplete data sets allows for flexibility and the generation of accurate comments even when source data is only partially available. The mathematical model uses Boolean formalization, logical operators and threshold values, ensuring the transparency and interpretability of the result. The system classifies the analysis result into four outcomes: accepted, accepted with revisions, sent for revision, or rejected.

An expert survey confirmed the validity of the proposed approach: most sections of the methodology received high ratings and demonstrated a high level of consensus (Kendall's coefficient $W \approx 0.52$). At the same time, areas requiring further development were identified — in particular, the neural network ar-

chitecture and the feedback module that generates recommendations.

The results demonstrate the scientific and practical significance of the methodology. It can be used as a basis for intelligent control systems for project documentation during the preparation stage for expert review, internal project audits, or analysis of the documentation's readiness within contractual processes. Future plans include expanding the set of indicators and training the neural network on larger corpora of project data.

This methodology is of particular practical value when dealing with the contractual obligations of design contractors. In the event of early termination of a contract, it enables an objective assessment of the actual volume of work completed, based on an automated verification process, thereby facilitating a well-founded determination of the stage of completion of the deliverable and the settlement of financial accounts between the parties.

REFERENCES

1. Kryukov K.M. Practical approach to integration of building information modeling and lean construction. *Journal of Construction and Architecture*. 2025; 27(1):180-193. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-180-193. EDN SRJTJS. (rus.).
2. Virtsev M.Yu., Salakhov R.L. Advantages and scope of application BIM technologies in Russia. *Economics of Construction and Housing and Communal Services*. 2022; 1(1):31-38. EDN IIPWK. (rus.).
3. Kestelev N.A. The role of information modeling and automated technologies in the design and construction of high-rise buildings. *Modern prospects for the development of flexible manufacturing systems in industrial civil engineering and the agro-industrial complex : collection of scientific articles of the 2nd All-Russian scientific and technical conference of young scientists, graduate students, masters and bachelors*. 2024; 235-240. EDN QGFLSV. (rus.).
4. Lapidus A.A., Fedosov S.V., Petrukhin A.B., Kenevei E. Digital information modeling BIM is one of the possibilities of construction objects life cycle management. *Construction Production*. 2023; 4:32-36. DOI: 10.54950/265853402023432. EDN AWXPGA. (rus.).
5. Nikitin A.R. Evaluation of working documentation prepared using information modeling. *Technologies, models and algorithms for modernizing science in modern geopolitical conditions : collection of articles from the National (All-Russian) scientific and practical conference with international participation*. 2025; 62-67. EDN NNJCEG. (rus.).
6. Pridvizhkin S.V., Tyapochkin M.Yu., Startseva M.G. Estimation of construction costs in the Kortros group of companies using information model data analytics. *Bulletin of SUSU. Series: Construction Engineering and Architecture*. 2024; 24(4):41-49. DOI: 10.14529/build240406. EDN LCNAWB. (rus.).
7. Evsyagina V.A., Dmitrieva N.N. Verification of normative documents in the process of project documentation development with the help of an information model. *Construction Economics*. 2024; 4:160-164. EDN OACGCE. (rus.).
8. Gao S. *A BIM-based ontological seismic multi-objective evaluation and optimisation design for buildings : PhD thesis*. Cardiff University, 2025. URL: <https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/177611>
9. Mandritsa P.M. Application of artificial intelligence in project documentation expertise: enhancing efficiency and quality in construction design. *Innovation & Investment*. 2024; 5:623-628. EDN SVSJLM. (rus.).
10. Hosseini M.A., Ravanshadrnia M., Rahimzadegan M., Ramezani S. Next-Generation Building Condition Assessment: BIM and Neural Network Integration. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2024; 38(6). DOI: 10.1061/JPCFEV.CFENG-4828
11. Ostadreza A., Shahhosseini V. *Automated Construction Progress Monitoring Using Image Segmentation Trained on a Synthetic Dataset, 3D Reconstruction, and BIM*. 2024. DOI: 10.2139/ssrn.5049036
12. Nikitin A.R., Sinenko S.A. Identification of indicators and dominant influencing the evaluation of project documentation. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024; 16(5). EDN CWDXSG. (rus.).
13. Mishchenko D.S., Skurkan E.S. Features of the development of design and working documentation. *Information systems and technologies of the agro-industrial complex and industrial civil engineering : collection of scientific articles of the 2nd International Scientific and Technical Conference*. 2024; 279-283. EDN LUNCQJ. (rus.).
14. Redko V.S., Tsimbelman N.Y. Algorithm to analyze and control data quality and project quality using

digital information model. *Engineering journal of Don*. 2024; 7(115):518-536. EDN ECDPWM. (rus.).

15. Rybakova A.O. *Use of information models of modular elements at the stage of architectural and construction design of capital construction projects*. Moscow, 2023; 201. EDN DHJXLQ. (rus.).

16. Tsay G.S., Staub-French Sh., Poirier E., Zadeh P., Pottinger R. BIM for FM: understanding information quality issues in terms of compliance with owner's Building Information Modeling Requirements. *Frontiers in Built Environment*. 2023; 9. DOI: 10.3389/fbuil.2023.1117066. EDN YJKICO.

17. Candir E., Atasoy G. Exploring quality issues in building information models via structural design reviews. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 1101(9):092011. DOI: 10.1088/1755-1315/1101/9/092011. EDN MVWWTE.

18. Gorodnova N.V., Lemeza V.A. Bim technologies in the digital economy: world experience and Russian practice. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2022; 12(8):2241-2260. DOI: 10.18334/epp.12.8.115082. EDN XSISOS. (rus.).

19. Zhang C., Hu Z., Zhu H., Wang X., Gao J. Effects of silane on reaction process and microstructure of metakaolin-based geopolymer composites. *Journal of Building Engineering*. 2020; 32:101695. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101695

20. Khan A.A., Bello A.O., Arqam M., Ullah F. Integrating Building Information Modelling and Artificial Intelligence in construction projects: A review of challenges and mitigation strategies. *Technologies*. 2024; 12(10):185. DOI: 10.3390/technologies12100185

21. Nikitin A. Features of the use ai in generative design of building and structures. *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*. 2024; 19(5). DOI: 10.26782/jmcms.2024.05.00001

22. Liu H., Gan V.J.L., Cheng J.C.P., Zhou S.A. Automatic fine-grained BIM element classification using

multi-modal deep learning (MMDL). *Advanced Engineering Informatics*. 2024; 61:102458. DOI: 10.1016/j.aei.2024.102458

23. Peng J., Liu X. Automated code compliance checking research based on BIM and knowledge graph. *Scientific Reports*. 2023; 13(1). DOI: 10.1038/s41598-023-34342-1

24. Kayhani N., McCabe B., Sankaran B. Semantic-aware quality assessment of building elements using graph neural networks. *Automation in Construction*. 2023; 155:105054. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.105054

25. Madireddy S., Gao L., Din Z.U., Kim K., Senouci A., Han Z. et al. Large Language Model-Driven Code Compliance Checking in Building Information Modeling. *Electronics*. 2025; 14(11):2146. DOI: 10.3390/electronics14112146

26. Slepushkin D.V., Burlov D.Yu. Artificial intelligence and automation of design processes in construction: a bibliometric analysis. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2025; 20(3):440-455. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.3.440-455. EDN MYHCAL. (rus.).

27. Candir E., Atasoy G. Exploring quality issues in building information models via structural design reviews. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 1101(9):092011. DOI: 10.1088/1755-1315/1101/9/092011. EDN MVWWTE.

28. Sinenko S.A., Nikitin A.R. Determination of criteria for evaluating project documentation prepared using information modeling. *Construction Production*. 2024; 2:88-94. DOI: 10.54950/26585340_2024_2_88. EDN SGGPSM. (rus.).

29. Nikitin A.R., Sinenko S.A. On the results of the analysis of design documentation for construction, developed using information modeling technologies. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025; 15(2):(53):257-265. DOI: 10.21285/2227-2917-2025-2-257-265. EDN KPVVRM. (rus.).

Received August 15, 2025.

Adopted in revised form on August 22, 2025.

Approved for publication on September 3, 2025.

B I O N O T E S : **Alexander R. Nikitin** — postgraduate student of the Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 6460-1006, ORCID: 0009-0002-6755-8247; a.nikitin56@gmail.com;

Sergej A. Sinenko — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Technology and Organization of Construction Production; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 2697-4535, Scopus: 55982599200, ResearcherID: AAF-6668-2021, ORCID: 0000-0002-2212-750X; sasin50@gmail.com.

Contribution of the authors:

Alexander R. Nikitin — writing the article, developing the methodology, final conclusions.

Sergej A. Sinenko — scientific supervision, research concept.

The authors declare no conflict of interest.