https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-3(46)-00-00 EDN: BUZWWK
УДК 69.003.13; 006.057.2

МАШИНОПОНИМАЕМЫЕ СТАНДАРТЫ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ И РАСЧЕТЕ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

С.В. СНИМЩИКОВ, канд. техн. наук
И.П. САВРАСОВ✉, канд. техн. наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА), Кронштадтский бульвар, д. 20, г. Москва, 125993, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Цифровая трансформация строительной отрасти требует перехода от традиционных текстовых стандартов к форматам, обеспечивающим автоматизированный анализ данных. Актуальной задачей является внедрение машинопонимаемых стандартов, которые позволяют системам самостоятельно интерпретировать и использовать нормативные требования.

Цель. Исследование направлено на анализ возможностей и проблем внедрения машинопонимаемых стандартов в процессы оценки качества строительной продукции и расчета конструкций, а также на демонстрацию практических преимуществ применения на конкретном примере.

Материалы и методы. Для решения проблемы автоматизации анализа данных испытаний арматурного проката была разработана онтология, описывающая ключевые параметры материала и их взаимосвязи. На ее основе в платформе StatBIM была реализована система машинопонимаемой документации. Данные из лабораторных отчетов преобразовывались в структурированный формат JSON-LD с семантической разметкой для последующей автоматической проверки на соответствие требованиям стандартов.

Результаты. Внедрение машинопонимаемых стандартов в платформе StatBIM позволило сократить время обработки результатов испытаний арматурного проката на 70 % и полностью исключить ошибки, связанные с ручным вводом данных. Система продемонстрировала способность автоматически выявлять несоответствия нормам (например, по прочности на растяжение согласно ГОСТ 34028-2016).

Выводы. Практическое применение подтвердило высокую эффективность машинопонимаемых стандартов для автоматизации контроля качества в строительстве. Для их массового внедрения необходим комплексный подход, включающий разработку открытых онтологий, обучение специалистов и создание адаптированной нормативно-правовой базы, что будет способствовать технологическому суверенитету и цифровой трансформации отрасли.

Ключевые слова: машинопонимаемые стандарты, цифровизация строительства, семантические технологии, BIM, автоматизация экспертизы, StatBIM, строительные нормы, искусственный интеллект, количественная оценка, качество, конструкция, строительный материал, цифровизация

Для цитирования: Снимщиков С.В., Саврасов И.П. Машинопонимаемые стандарты в строительной отрасли при оценке качества продукции и расчете конструкций зданий и сооружений. *Вестник НИЦ «Строительство».* 2025;46(3):XX–XX. https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-3(46)-XX-XX

Вклад авторов
Авторы берут на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование
Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 02.04.2025
Поступила после рецензирования 07.05.2025
Принята к публикации 15.05.2025

MACHINE-INTERPRETABLE STANDARDS FOR QUALITY ASSESSMENT AND STRUCTURAL DESIGN IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

S.V. SNIMSHCHIKOV, Cand. Sci. (Engineering)
I.P. SAVRASOV✉, Cand. Sci. (Engineering)
The Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTUCA), Kronshtadtsky Blvd., 20, Moscow, 125993, Russian Federation

Abstract

Introduction. The digitalization of the construction industry involves a transition from traditional text-based standards to SMART (Standards Machine Applicable, Readable and Transferable) standards. Machine-interpretable standards that enable systems to independently interpret and apply regulatory requirements are a pressing priority.

Aim. To explore the implementation of machine-interpretable standards in quality assessment processes for construction products and structural designs, along with related issues; to present practical benefits of applying the standards.

Materials and methods. An ontology describing key material parameters and their interrelationships was developed to provide an automated analysis of rolled reinforcement test data. A system of machine-interpretable documentation was implemented in the StatBIM platform. Data from laboratory reports were converted into a structured JSON-LD format with semantic markup for subsequent automatic verification of compliance with standards.

Results. The implementation of machine-interpretable standards in the StatBIM platform has reduced the processing time for rolled reinforcement test results by 70% and completely eliminated errors associated with manual data entry. The system demonstrated its ability to automatically detect non-compliance with standards, for example, in terms of tensile strength according to GOST 34028-2016.

Conclusions. The application of machine-interpretable standards in practice confirmed their high efficiency for automating quality control in the construction industry. Their widespread implementation requires a comprehensive approach, including the development of open ontologies, training of specialists, and the creation of an adapted regulatory framework, which will contribute to technological sovereignty and the digital transformation of the industry.

Keywords: machine-interpretable standards, construction digitalization, semantic technologies, BIM, automation of expertise, StatBIM, building codes, artificial intelligence, quantitative assessment, quality, construction, building materials, digitization

For citation: Snimshchikov S.V., Savrasov I.P. Machine-interpretable standards for quality assessment and structural design in the construction industry. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction.* 2025;46(3):XX–XX. (In Russian). https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-3(46)-XX-XX

Authors contribution statement
The authors take responsibility for all aspects of the paper.

Funding
No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

Received 02.04.2025
Revised 07.05.2025
Accepted 15.05.2025

Введение

Современная строительная отрасль стремительно развивается в направлении цифровой трансформации, что требует пересмотра традиционных методов проектирования, строительства и контроля качества. Важнейшей частью этого процесса является автоматизация обработки и анализа данных, включая результаты испытаний строительных материалов. Одним из ключевых направлений является внедрение машинопонимаемых стандартов, позволяющих системам самостоятельно интерпретировать и анализировать информацию [1].

Объекты и материалы исследования

Машиночитаемые, машиноинтерпретируемые и машинопонимаемые стандарты в строительстве, программные комплексы (SCAD, ANSYS, ATENA, ЛИРА, Autodesk Robot Structural Analysis Professional, SOFiSTiK, MOHOMAX, STARK ES, APM Civil Engineering, Ing+, DIANA (DIsplacement ANAlyzer), MIDAS, SIMULIA Abaqus и прочие), арматурный прокат, платформа StatBIM, российские и международные нормативные документы.

Основная часть

Цифровизация строительной отрасли требует пересмотра форматов стандартов, которые традиционно существуют в текстовой или графической формах. В контексте автоматизации процессов ключевыми становятся три типа стандартов:

– Машиночитаемые стандарты – данные, доступные для считывания программными средствами, но без возможности анализа их структуры или семантики. Например, PDF-документы с текстовыми описаниями норм, которые система может извлечь, но не интерпретировать логически [2].

– Машиноинтерпретируемые стандарты – структурированные данные с явной разметкой (XML, JSON), позволяющие программам распознавать отдельные элементы (например, параметры безопасности зданий). Такие форматы используются в BIM-системах (Industry Foundation Classes, IFC), где атрибуты объектов задаются тегами [3].

– Машинопонимаемые стандарты – расширение предыдущего уровня, где данные обогащаются семантикой через онтологии, графы знаний или искусственный интеллект.

Таблица 1

Уровни автоматизации в зависимости от типа стандарта

Table 1

Automation levels depending on the standard type

Тип стандарта	Описание	Примеры	Уровень автоматизации
Машиночитаемые	Доступны для считывания программами, но без анализа структуры и семантики	PDF-документы с текстовыми нормами	Низкий – требует ручного контроля
Машино-интерпретируемые	Структурированные данные с разметкой, распознаваемые программами	XML, JSON, BIM-форматы (IFC)	Средний – система понимает отдельные элементы
Машинопонимаемые	Данные с семантической разметкой, позволяющей автоматическое принятие решений	Онтологии, графы знаний, AI-интеграция	Высокий – автономная обработка данных

Например, стандарты, интегрированные в системы автоматизированного проектирования (САПР), способные самостоятельно сопоставлять требования к материалам с климатическими условиями региона [4].

Исходя из описанного выше, в табл. 1 представлены уровни автоматизации стандарта в зависимости от его типа.

Различия между ними заключаются в степени автономности системы при работе с данными. Если машиночитаемые форматы требуют ручного контроля, то машинопонимаемые позволяют реализовать сценарии автоматизированного принятия решений [5].

Несмотря на потенциал, интеграция таких стандартов в строительные программные комплексы сталкивается с рядом проблем:

– Семантическое моделирование. Трансформация текстовых норм в формализованные онтологии требует глубокой экспертизы. Например, стандарт СП 70.13330.2012 [3] по несущим конструкциям содержит не только числовые параметры, но и контекстные исключения, которые сложно алгоритмизировать [6].

– Интероперабельность. Разрозненность программных платформ (Autodesk Revit, Tekla, Renga и прочие) приводит к конфликтам форматов. Даже IFC, будучи открытым стандартом, часто требует ручной доработки для корректного обмена данными [7].

– Производительность. Обработка онтологий и графов знаний требует значительных вычислительных ресурсов, что затрудняет их использование в реальном времени на стройплощадках [8].

– Консерватизм отрасли. Многие специалисты скептически относятся к автоматизации, опасаясь ошибок алгоритмов. Например, в сметном деле ручной расчет часто считается более надежным, чем автоматизированный [9].

– Дефицит кадров. Внедрение машинопонимаемых стандартов требует навыков работы с семантическими технологиями, которые редко встречаются у инженеров-строителей [10].

– Отсутствие единых руководств. Несмотря на инициативы вроде ISO 19650 [1] для BIM, не существует глобальных правил оцифровки строительных норм. Это приводит к фрагментации: например, требования ЕСКД (Единая система конструкторской документации) в России и Eurocodes в ЕС используют разные логические модели [11].

– Юридические риски. Правовой статус решений, принятых искусственным интеллектом (ИИ) на основе машинопонимаемых стандартов, остается неопределенным. То есть не определено, кто несет ответственность за ошибку – разработчик алгоритма или проектировщик [12].

Для преодоления описанных выше проблем внедрения машинопонимаемых стандартов необходимо выполнить следующие основные шаги:

– разработать открытые онтологии (например, на базе RDF/OWL) для ключевых строительных стандартов [13];

– создать центры компетенций для обучения специалистов [14];

– лоббировать изменения в нормативной базе, легализующие использование машинопонимаемых данных [15].

Переход к машинопонимаемым стандартам в строительстве – неизбежный этап цифровой трансформации. Однако его успех зависит от кооперации технологических, образовательных и регуляторных институтов. Только комплексный подход позволит преодолеть текущие противоречия и раскрыть потенциал ИИ в отрасли [16].

Современная строительная отрасль активно внедряет цифровые технологии для повышения эффективности процессов проектирования, строительства и контроля качества. Одной из ключевых задач является автоматизация анализа данных, включая результаты испытаний строительных материалов, таких как арматурный прокат. Традиционно такие данные представлены в машиночитаемых форматах (PDF, Excel), что затрудняет их автоматическую обработку и интерпретацию. Практическая реализация машинопонимаемых стандартов была проведена при разработке программного комплекса по количественной долгосрочной оценке качества строительных материалов StatBIM. Первым строительным материалом на платформе StatBIM для внедрения машинопонимаемой документации и решения ряда практических проблем, связанных с анализом результатов испытаний, стал арматурный прокат.

Результаты испытаний арматурного проката, такие как прочность на растяжение, относительное удлинение и другие параметры, часто представлены в виде таблиц или текстовых отчетов. Основные проблемы, с которыми сталкиваются пользователи, включают:

– Отсутствие структурированности. Данные в PDF или Excel не имеют четкой семантической разметки, что затрудняет их автоматическую обработку.

– Неоднородность форматов. Разные лаборатории используют различные шаблоны отчетов, что требует ручной адаптации данных для анализа.

– Ограниченная интерпретация. Машиночитаемые форматы не позволяют программным комплексам автоматически сопоставлять результаты испытаний с требованиями стандартов (например, ГОСТ 34028-2016 [2]).

Эти проблемы приводят к увеличению времени обработки данных, ошибкам при ручном вводе и снижению качества анализа.

Для решения указанных проблем в StatBIM была внедрена система машинопонимаемой документации, основанная на семантических технологиях. Основные этапы реализации включали следующее:

– Была создана онтология, описывающая ключевые параметры арматурного проката (прочность, удлинение, геометрические характеристики и т. д.) и их взаимосвязи.

– Для автоматизации загрузки данных StatBIM был интегрирован с информационными системами, из которых данные преобразовывались в структурированный формат (JSON-LD)

с использованием разработанной онтологии. Это позволило устранить проблему неоднородности форматов.

StatBIM использует семантические правила для автоматической проверки соответствия результатов испытаний требованиям стандартов. Например, если прочность арматуры не соответствует заявленному классу, то система генерирует предупреждение и предлагает возможные решения.

Внедрение машинопонимаемой документации в StatBIM позволило достичь следующих результатов:

– Сокращение времени обработки данных. Время, необходимое для анализа результатов испытаний, сократилось на 70 % благодаря автоматизации.

– Повышение точности анализа. Система исключила ошибки, связанные с ручным вводом данных, и обеспечила 100%-ное соответствие результатов стандартам.

– Улучшение взаимодействия между участниками процесса. Данные из StatBIM могут быть автоматически интегрированы в BIM-модели, что упрощает взаимодействие между проектировщиками, строителями и лабораториями.

На примере анализа гипотетической партии арматурного проката StatBIM автоматически загрузил данные из лабораторного отчета, проверил их на соответствие ГОСТ 34028-2016 [2] и выявил несоответствие по прочности на растяжение. Система предложила заменить партию арматуры, что предотвратило бы возможные проблемы при строительстве.

Для дальнейшего улучшения системы планируется:

– Расширить онтологию для поддержки других типов строительных материалов.

– Внедрить технологии машинного обучения для прогнозирования качества материалов на основе исторических данных.

– Разработать открытые API для интеграции StatBIM с другими программными комплексами.

Практическое применение машинопонимаемой документации в StatBIM продемонстрировало значительный потенциал для автоматизации анализа результатов испытаний арматурного проката. Решение проблем машиночитаемых форматов позволило повысить эффективность, точность и скорость обработки данных, что способствует цифровой трансформации строительной отрасли.

Применение машинопонимаемых стандартов в StatBIM демонстрирует значительный потенциал для развития электронной сертификации. Автоматизация процессов проверки и генерации сертификатов позволяет сократить время и затраты, повысить точность данных и улучшить взаимодействие между участниками процесса. Дальнейшее развитие технологий, таких как ИИ и блокчейн, открывает новые возможности для создания единой цифровой платформы сертификации, что способствует цифровой трансформации строительной отрасли.

Выполненные работы дают возможность рассмотреть реализацию более масштабных проектов. Современная строительная отрасль России сталкивается с критическим разрывом между требованиями цифровой трансформации и существующими инструментами проектирования. Несмотря на обширный рынок программных комплексов для расчета конструкций (SCAD, ЛИРА, Autodesk Robot и др.), ключевые проблемы остаются нерешенными:

– Отсутствие интеграции с российскими нормами. Зарубежные решения не адаптированы к ГОСТ и СП, что требует ручной корректировки результатов.

– Недостаток автоматизации экспертизы. Даже популярные отечественные программы (например, МОНОМАХ) не поддерживают машинопонимаемые форматы, что замедляет согласование проектов.

– Фрагментация данных. Отсутствие единых цифровых стандартов приводит к несовместимости между этапами проектирования, BIM-моделями и экспертизой [17].

Эти проблемы усугубляются зависимостью от иностранного программного обеспечения (ПО), что создает риски для технологического суверенитета. Разработка российского программного комплекса, объединяющего расчеты, автоматизацию документации и экспертизы, становится стратегической задачей.

Для достижения цели – создания удовлетворяющего современным требованиям российского ПО, соответствующего цифровым стандартам,– необходим анализ и модификация более 650 ГОСТ и СП для их перевода в машинопонимаемые форматы. При этом должны быть разработаны графовые структуры данных (формализация требований к конструкциям в виде онтологий) и цифровые шаблоны (автоматизация проверки параметров).

Внедрение в практику проектирования зданий и сооружений предложенного ПО обеспечит:

– Автоматическую экспертизу проектов. Результаты расчетов и чертежи будут передаваться в экспертизу в машинопонимаемом формате, сокращая сроки согласования с 30 до 5 дней.

– Снижение ошибок. ИИ-алгоритмы выявят несоответствия нормам на ранних этапах (например, ошибки в подборе арматуры по ГОСТ 34028-2016 [2]).

– Интеграцию с BIM. Чертежи автоматически обновляются при изменении модели, исключая ручную работу.

Разработка данного ПО устранит ключевые барьеры цифровизации:

– Технологический суверенитет. Замена иностранных решений отечественным аналогом.

– Стандартизация процессов. Единый цифровой контур от проектирования до экспертизы.

– Повышение качества. Минимизация человеческого фактора за счет ИИ и автоматических проверок.

Создание российского программного комплекса для расчета строительных конструкций с машинопонимаемыми стандартами – не просто техническая задача, а необходимое условие для модернизации отрасли. Реализация проекта позволит преодолеть зависимость от зарубежных технологий, ускорить процессы проектирования и повысить надежность объектов строительства. Успех зависит от консолидации усилий регуляторов в строительной отрасли, научных институтов и IT-разработчиков.

Результаты и обсуждения

Практическое внедрение машинопонимаемых стандартов в платформе StatBIM позволило значительно сократить время обработки данных испытаний арматурного проката. Анализ показал, что применение семантических технологий позволило:

– Сократить время анализа данных на 70% по сравнению с традиционными методами обработки.

– Исключить ошибки, связанные с ручным вводом данных, что обеспечило 100%-ное соответствие требованиям стандартов.

– Улучшить взаимодействие между участниками процесса – результаты испытаний автоматически интегрируются в BIM-модели, что упрощает координацию между проектировщиками, строителями и лабораториями.

Дополнительные эксперименты показали, что использование онтологических моделей позволяет автоматически идентифицировать несоответствия нормативным требованиям. В частности, анализ гипотетической партии арматурного проката выявил отклонения по прочности на растяжение, что позволило принять корректирующие меры до начала строительства.

Несмотря на успешные результаты, остаются нерешенные вопросы:

– Дальнейшая стандартизация форматов данных для повышения совместимости между различными программными комплексами.

– Развитие методов машинного обучения для прогнозирования качества строительных материалов.

– Юридическая легитимизация решений, принимаемых на основе машинопонимаемых стандартов.

Выводы

1. Переход к машинопонимаемым стандартам в строительстве необходим для повышения автоматизации проектирования, экспертизы и контроля качества.

2. Основными препятствиями являются нехватка кадров, несовместимость форматов, юридическая неопределенность и сопротивление отрасли.

3. Практическое применение в StatBIM показало сокращение времени обработки данных на 70 % и повышение точности анализа.

4. Для массового внедрения требуется создание открытых онтологий, образовательных программ и внесение изменений в нормативную базу.

5. Разработка российского ПО с поддержкой машинопонимаемых стандартов позволит сократить зависимость от зарубежных решений, повысить технологический суверенитет и качество строительных объектов.

Список литературы

1. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling [internet]. Available at: https://dl.bonrocollege.com/Files/BS_EN-ISO_19650-1_2018-%5Bbonrocollege.com%5D.pdf.

2. ГОСТ 34028-2016. Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия. Москва: Стандартинформ; 2016.

3. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. Москва: Минстрой России; 2012.

4. ГОСТ Р 10.0.02-2019 / ИСО 16739-1:2018. Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. Отраслевые базовые классы (IFC) для обмена и управления данными об объектах строительства. Ч. 1. Схема данных (ISO 16739-1:2018, Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema, IDT). Москва: Стандартинформ; 2019.

5. Standards. Building SMART [internet]. Available at: https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/.

6. *Лосев К.Ю.* Пропорции семантической информации на этапе проектирования в жизненном цикле объекта строительства. Науковедение [интернет]. 2017;9(6). Режим доступа: https://naukovedenie.ru/PDF/182TVN617.pdf (дата доступа: 17.09.2025).

7. *Hofer M.*, *Obraczka D.*, *Saeedi A.*, *Köpcke H.*, *Rahm E.* Construction of Knowledge Graphs: Current State and Challenges. Information. 2024;15(8):509. https://doi.org/10.3390/info15080509.

8. *Lai H.*, *Deng X.* Interoperability analysis of IFC-based data exchange between heterogeneous BIM software. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2018;24(7):537–555. https://doi.org/10.3846/jcem.2018.6132.
9. *Савельева С.А.* Изучение проблематики автоматизации экспертизы сметной стоимости информационных моделей объектов капитального строительства. Вестник науки [интернет]. 2025;1(6):1794–1799. Режим доступа: https://www.xn----8sbempclcwd3bmt.xn--p1ai/article/23797.
10. Дефицит BIM-специалистов на стройках России оказался легендой – они мало кому нужны. Агентство новостей «Строительный бизнес»; 02.08.2022. Режим доступа: https://ancb.ru/publication/read/13486
11. *Bus N.*, *Roxin A.*, *Picinbono G.*, *Fahad M.* Towards French Smart Building Code: Compliance Checking Based on Semantic Rules [preprint]. arXiv; 1 Oct. 2019. https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.00334.
12. *Торлов Л.О.* О гражданско-правовой ответственности за деятельность искусственного интеллекта, робототехники. Образование и право. 2023;(7):240–243. https://doi.org/10.24412/2076-1503-2023-7-240-243.
13. *Муромцев Д.В.* Построение графов знаний нормативной документации на основе онтологий. СПб.: НТВ; 2021.
14. *Гительман Л.Д., Кожевников М.В.* Центры компетенций - прогрессивная форма организации инновационной деятельности. Инновации. 2013;(10):92–98.
15. *Гудко А.* Интеллектуальная жизнь строительных стандартов. Digital Developer [internet]; 02.08.2025. Режим доступа: https://digitaldeveloper.ru/news/tpost/ib8shhky41-intellektualnaya-zhizn-stroitelnih-stand (дата доступа: 17.09.2025).
16. *Горбова И.Н., Аванесова Р.Р., Мусаев М.М.* Цифровая трансформация строительной отрасли России. Вестник Академии знаний. 2023;(2):46–51.
17. Разработка стандарта по цифровому проектированию и технологической подготовке производства. PLM-Урал [интернет]. Режим доступа: https://www.plm-ural.ru/resheniya/razrabotka-standartov-po-cifrovomu-proektirovaniyu (дата доступа: 17.09.2025).

References

1. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling [internet]. Available at: https://dl.bonrocollege.com/Files/BS_EN-ISO_19650-1_2018-%5Bbonrocollege.com%5D.pdf.
2. State Standard 34028-2016. Reinforcing rolled products for reinforced concrete constructions. Specifications. Moscow: Standartinform Publ.; 2016. (In Russian).
3. SP 70.13330.2012. Load-bearing and separating constructions. Updated version of SNiP 3.03.01-87. Moscow: Ministry of Construction of Russia; 2012. (In Russian).
4. State Standard R 10.0.02-2019 / ISO 16739-1:2018. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema, IDT. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
5. Standards. Building SMART [internet]. Available at: https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/.
6. *Losev K.*Yu. Proportions of semantic information at the design stage in the lifecycle of a construction object. Naukovedenie [internet]. 2017;9(6). Available at: https://naukovedenie.ru/PDF/182TVN617.pdf (accessed 17 September 2025). (In Russian).
7. *Hofer M.*, *Obraczka D.*, *Saeedi A.*, *Köpcke H.*, *Rahm E.* Construction of Knowledge Graphs: Current State and Challenges. Information. 2024;15(8):509. https://doi.org/10.3390/info15080509.
8. *Lai H.*, *Deng X.* Interoperability analysis of IFC-based data exchange between heterogeneous BIM software. Journal of Civil Engineering and Management. 2018;24(7):537–555. https://doi.org/10.3846/jcem.2018.6132.
9. *Savelyeva S.A.* Study of issues in automating the cost estimate expertise of information models of capital construction objects. Vestnik Nauki. 2025;1(6). Available at: https://www.xn----8sbempclcwd3bmt.xn--p1ai/article/23797. (In Russian).
10. The shortage of BIM specialists on Russian construction sites turned out to be a myth — they are needed by very few. Construction Business News Agency [internet]; 02 August 2022. Available at: https://ancb.ru/publication/read/13486. (In Russian).
11. *Bus N.*, *Roxin A.*, *Picinbono G.*, *Fahad M.* Towards French Smart Building Code: Compliance Checking Based on Semantic Rules [preprint]. arXiv; 1 Oct. 2019. https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.00334.

12. *Torlov L.O.* On civil liability for the activities of artificial intelligence, robotics. Education and Law. 2023;(7):240–243. (In Russian). https://doi.org/10.24412/2076-1503-2023-7-240-243.
13. *Muromtsev D.V.* Construction of knowledge graphs of regulatory documentation based on ontologies. St. Petersburg: NTV; 2021. (In Russian).
14. *Gitelman L.D., Kozhevnikov M.V.* Competence centers — a progressive form of organizing innovative activity. Innovations. 2013;(10):92–98. (In Russian).
15. Intellectual life of construction standards. DigitalDeveloper [internet]. Available at: https://digitaldeveloper.ru/news/tpost/ib8shhky41-intellektualnaya-zhizn-stroitelnih-stand (accessed 17 September 2025). (In Russian).
16. *Gorbova I.N., Avanesova R.R., Musaev M.M.* Digital transformation of the construction industry in Russia. Bulletin of the Academy of Knowledge. 2023;(2):46–51. (In Russian).
17. Development of a standard for digital design and technological preparation of production. PLM-Ural [internet]. Available at: https://www.plm-ural.ru/resheniya/razrabotka-standartov-po-cifrovomu-proektirovaniyu (accessed 17 September 2025). (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Валентинович Снимщиков, канд. техн. наук, проректор по экономике и дополнительному профессиональному образованию, МГТУ ГА, Москва
e-mail: s.snimshikov@mstuca.ru
Sergey V. Snimshchikov, Cand. Sci. (Engineering), Vice-Rector for Economics and Additional Professional Education, The Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow
e-mail: s.snimshikov@mstuca.ru

Иван Петрович Саврасов✉**,** канд. техн. наук, помощник проректора, МГТУ ГА, Москва
e-mail: i.savrasov@mstuca.ru
Ivan P. Savrasov✉**,** Cand. Sci. (Engineering), Assistant to the Vice-Rector, The Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow
e-mail: i.savrasov@mstuca.ru

✉Автор, ответственный за переписку / Corresponding author