

Academia. Архитектура и строительство, № 4, стр. 138–143.

Academia. Architecture and Construction, no. 4, pp. 138–143.

Исследования и теория

Научная статья

УДК 721.02

doi: 10.22337/2077-9038-2022-4-138-143

Кашеварова Галина Геннадьевна (Пермь). Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН. Кафедра строительных конструкций и вычислительной механики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614010, Пермь, ул. Куйбышева, 109. ПНИПУ) Эл. почта: ggkash@mail.ru.

Сёмина Анастасия Евгеньевна (Пермь). Кандидат архитектуры. Кафедра архитектуры и урбанистики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614010, Пермь, ул. Куйбышева, 109. ПНИПУ). E-mail: semina.ae@yandex.ru.

Kashevarova Galina G. (Perm). Professor, Doctor of Sciences in Engineering, Corresponding Member of RAACS. The department "Building constructions and computational mechanics" of the Perm National Research Polytechnic University; Russia, 614010, Perm, St. Kuibyshev, 109. PNRPU). E-mail: ggkash@mail.ru.

Semina Anastasiya E. (Perm). Candidate of Sciences in Architecture. Department of Architecture and Urban Studies of the Perm National Research Polytechnic University; Russia, 614010, Perm, St. Kuibyshev, 109. PNRPU). E-mail: semina.ae@yandex.ru

Информационное моделирование зданий и классификация архитектурных элементов для объектов культурного наследия

Аннотация. Создание и развитие правил и классификаций для информационных моделей определяют процесс создания моделей для диагностики строительных объектов. В статье описан опыт построения информационных моделей исторических зданий с применением классификаторов строительной информации. Сформулированы задачи, которые могут быть применимы к информационным моделям архитектурного наследия. Отмечено, что множество элементов, которые используются при моделировании исторических зданий, не имеют общепринятого кодирования. Стандартизация параметров, классификаторов, и библиотек элементов – путь информатизации и оптимизации процесса построения модели. Создание каталогов элементов и общепринятых классификаций может ускорить процессы оптимизации информационного моделирования существующих зданий.

Ключевые слова: объекты культурного наследия, цифровые технологии, информационные модели

Information Modeling Technology for the Architectural Section of Cultural Heritage Objects

Annotation. The creation and development of rules and classifications for information models determine the process of creating models for diagnosing building objects. The article

describes the experience of building information models of historical buildings using building information classifiers.

Tasks that can be applied to information models of architectural heritage are formulated. It is noted that many elements that are used in the modeling of historical buildings do not have a generally accepted coding. Standardization of parameters, classifiers, and libraries of elements is the way of informatization and optimization of the model building process. Creating catalogs of elements and generally accepted classifications can speed up the processes of optimizing the information modeling of existing buildings.

Keywords: cultural heritage objects, digital technologies, information models

Актуальность представленной темы определяется необходимостью перехода на цифровые технологии в строительной отрасли, что является одной из приоритетных задач для экономики Российской Федерации. Технология информационного моделирования строительных объектов затрагивает весь жизненный цикл здания, но для уже существующих объектов культурного наследия, которые построены давно и для их проектирования не использовалась технология информационного моделирования, информационная модель здания относится лишь к стадии эксплуатации объекта и имеет свои особенности. Для этой стадии можно отметить следующий закономерный

цикл: эксплуатация, ремонт, реконструкция, модернизация и другие изменения архитектурных, объёмно-планировочных, конструктивных, инфраструктурных и инженерных решений здания. Свою специфику имеет сбор данных натуральных обследований, проектной документации и архивных данных. Это должен быть гибкий процесс, учитывающий особенности зданий разной степени износа и состояния. Важными являются не только геометрические характеристики конструктивных и архитектурных элементов, но и данные об их материалах, повреждениях, переделках и ремонтах [1; 2].

Стремительная цифровизация архитектурно-строительной отрасли на наших глазах меняет технологии и возможности получения достоверной и качественной информации о реальных геометрических параметрах строительных объектов, о наличии дефектов и характере повреждений, а также обработке информации, необходимой для диагностики строительных объектов. Лазерное сканирование, фотограмметрия и методы цифрового документирования позволяют эффективно собирать трёхмерные и пространственные данные для архитектурно-строительных объектов в базу данных (БД) облаков точек [3]. Создание и развитие правил и классификаций для информационных моделей определяют процесс создания моделей для диагностики объектов.

Методика и процесс построения информационной модели

Для построения информационных моделей объектов культурного наследия необходимы данные натуральных обследований, проектной документации и архивные данные.

Сегодня технологии получения трёхмерных данных в виде облаков точек достаточно хорошо изучены и применяются на практике [4]. Такие трёхмерные облака точек точно фиксируют геометрию элементов здания, и основной задачей при моделировании становится наиболее приближенное к реальности воспроизведение геометрических характеристик здания.

В данной работе для построения информационных моделей зданий использовались программы Graphisoft ArchiCAD или Revit. В качестве исходных данных использовались данные наземного лазерного сканирования и воздушной и наземной фотограмметрии. Обработка данных лазерного сканирования и работа с облаками точек проводилась с использованием программ Leica Cyclone и CloudCompare. При обработке фотограмметрической съёмки (при облёте) облака точек предварительно обрабатывались в Agisoft Photoscan

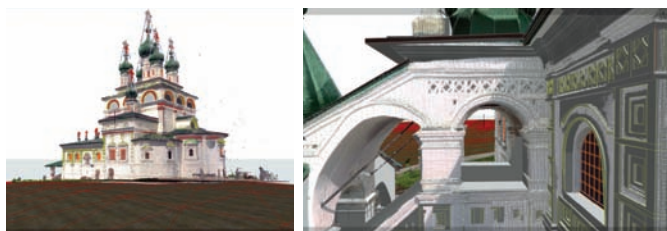


Рис. 1. Совмещенное облако точек и модель: общий вид и детали. Автор А.Е. Сёмина

(Metashape). Затем общее облако точек импортировалось в ArchiCAD или Revit [2; 5; 6].

На рисунке 1 показаны результаты обработки облаков точек, полученных с помощью двух технологий, которые были объединены и импортированы в ArchiCAD.

Для объектов архитектурного наследия технология построения модели, а также программное обеспечение, которое будет использовано, зависит ещё и от задач, которые необходимо решить в процессе работы с конкретным объектом.

Список задач для стадии эксплуатации здания сформулирован в приложении А.2ВИМ-стандарта PAS 1192-3:2014. Основные позиции для архитектурного наследия могут быть сформулированы следующим образом:

- 1) задачи управления объектом капитального строительства;
- 2) модернизация объекта с учётом современного использования и норм проектирования;
- 3) мониторинг состояния конструкций, стабильности здания;
- 4) консервация памятника архитектуры и мониторинг;
- 5) инвентаризация элементов здания;
- 6) визуализация или виртуальная реконструкция, музеефикация;
- 7) контроль и наблюдение за элементами здания и инвентаризация при обследовании.

Учитывая возможность интероперабельности программного обеспечения (поддержки способности к взаимодействию программных компонентов), которая сегодня особенно актуальна из-за большого количества разных программных продуктов, важно продумать стратегию существования информационной модели здания. Необходимо понимать, что информационная модель будет использована для дальнейшей работы. Однако в любом случае важно, чтобы все внесённые поэлементно данные были достоверны и содержали необходимую информацию. Для этого применяется классификация и параметризация элементов модели.

Разработанные сегодня нормативные документы определяют классификацию основных элементов информационной модели разных разделов проектной документации. В основном такая классификация используется для прохождения государственной экспертизы и поиска ошибок модели¹. Для разработчиков и пользователей информационной модели здания особые нормативы и правила определяются уровнями проработки модели, которые прописаны в действующем СП 333.1325800.2020².

¹ Методические рекомендации по подготовке информационной модели объекта капитального строительства, представляемой на рассмотрение в ФАУ «Главгосэкспертиза России» в связи с проведением государственной экспертизы проектной документации и оценки информационной модели объекта капитального строительства (<https://gge.ru>); Классификатор строительной информации (<http://ksi.faufcc.ru/versii.php>).

² СП 333.1325800.2020. Свод правил «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» (<https://docs.cntd.ru/document/573514520>).

Классификация архитектурных элементов

Памятники архитектуры могут находиться в разной степени износа и утраты различных конструктивных и архитектурных элементов (рис. 2).

При моделировании таких объектов важно зафиксировать данные о состоянии конструкций, декора, отделки. Такие данные, собранные в единой модели, могут быть полезны для последующих расчётов, анализа и проектов реставрации.

Учитывая последовательность действий при информационном моделировании (сначала создаётся модель, а затем из неё извлекаются данные – аналитические модели, чертежи, визуализации, спецификации и т.д.), следует отметить, что внесение информации о повреждении объекта необходимо проводить уже на стадии информационного трехмерного моделирования.

В некоторых случаях здание может оказаться практически разрушенным, представлять собой руины (рис. 3). Здесь встаёт вопрос о необходимости создания модели такого здания, о целях и задачах, которые можно решить с помощью информационного моделирования здания. Должен существовать особый подход к инвентаризации и описанию таких объектов.

В ArchiCAD за параметры наличия и состояния конструкций отвечают позиции во вкладке «Реконструкция» (рис. 4), но по умолчанию в программе не предусмотрено отображение состояния элемента или конструкции (степень деградации, повреждения и т.д.).

Согласно ГОСТу 31937-2011³, для описания характеристики технического состояния несущих конструкций принято несколько категорий: нормативное техническое состояние, работоспособное состояние, ограниченно работоспособное состояние, аварийное состояние. По классификатору строительной информации данным характеристикам присвоен код XF_0003 с форматом данных «текстовый»⁴. Присвоив этот и другие функциональные параметры (износ, надёжность, типы дефектов) элементам, можно таким образом дополнить модель информацией о состоянии конструкций [7].

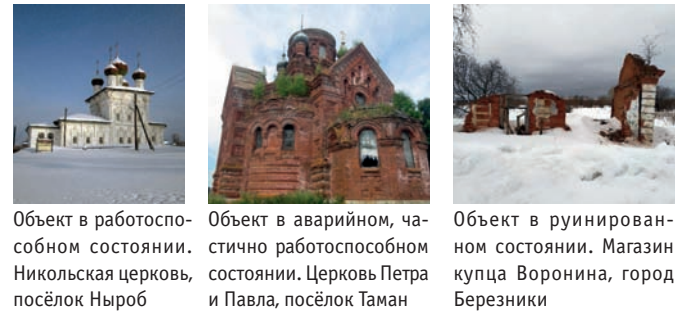
Помимо конструктивных элементов, функций, в зданиях архитектурного наследия есть ещё несколько важных моментов, на которые необходимо обратить внимание при создании моделей: архитектурный декор, особенные архитектурные и конструктивные элементы, повреждения конструкций и декора. Всё это также должно быть отражено в информационной модели [8].

При моделировании серии объектов, богатых декором, возникает вопрос унификации декоративных элементов для использования в нескольких моделях. Это актуально как при моделировании с целью создания информационной модели

для дальнейшей работы, так и при моделировании только трёхмерной модели для визуализации (рис. 5).

Классификация таких параметров должна проводиться не в рамках одного здания, а для определённого количества объектов, расположенных в регионе на одной территории или связанных другими стилистическими и конструктивными особенностями.

Библиотека архитектурных элементов создаёт основу для быстрого моделирования и сравнения собранных данных



Объект в работоспособном состоянии. Никольская церковь, посёлок Ныроб
 Объект в аварийном, частично работоспособном состоянии. Церковь Петра и Павла, посёлок Таман
 Объект в руинированном состоянии. Магазин купца Воронина, город Березники

Рис. 2. Фотофиксация состояния памятников архитектуры. Пермский край. Фото А.Е. Сёминой



Рис. 3. Моделирование руинированных зданий с целью представления в проекте «Парк руин в городе Березники» (бывший город Усолье). Автор А.Е. Сёмина

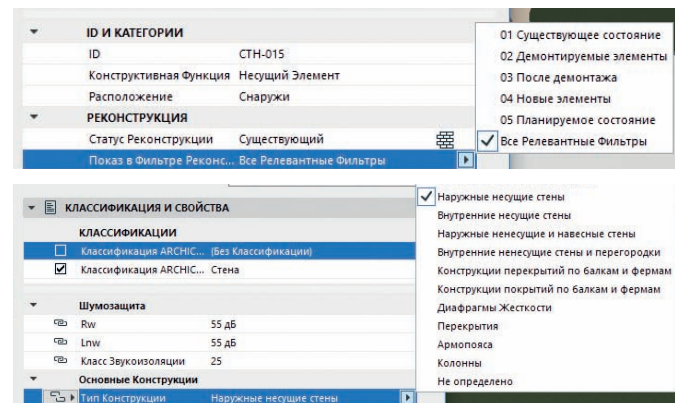


Рис. 4. Настройка параметров стен в ArchiCAD: тип конструкции и вкладка «Реконструкция», элемент стены, модели, руины

³ ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния (<http://vsegost.com/Catalog/54/54142.shtml>).

⁴ Классификатор строительной информации (<http://ksi.faufcc.ru/versii.php>).

архитектурного обследования (рис. 6). Создание библиотеки архитектурных элементов исторических объектов должно быть направлено на минимизацию потери достоверности данных, ускорение процесса моделирования сложных объектов.

Учитывая схожесть архитектуры и, соответственно, архитектурного декора для зданий одного периода, можно подойти к вопросу создания моделей глобально. Создание библиотеки декоративных элементов может быть одной из возможностей ускорить процесс создания информационных моделей (рис. 7). При этом необходимо классифицировать и присвоить идентификационные номера всем элементам, создавая тем самым структуру библиотеки.

Некоторая классификация декоративных элементов уже проведена в классификаторе строительной информации, например, карниз и лепнина (класс и подкласс 1 – P_PL) и

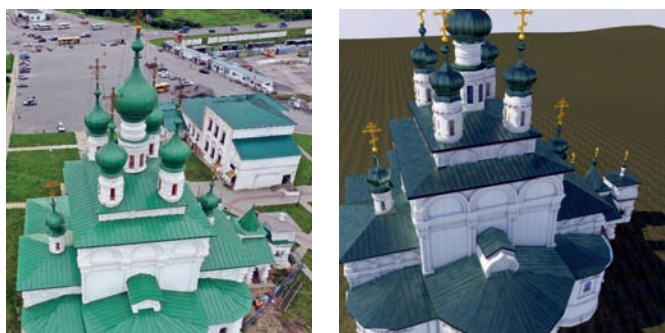


Рис. 5. Сравнение фотографии ОКН «Троицкий собор» в городе Соликамске и рендера информационной модели здания. Автор А.Е. Сёмина

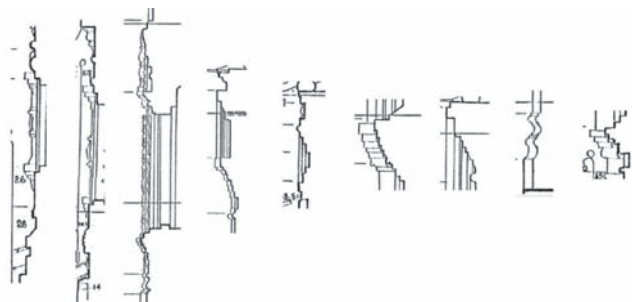


Рис. 6. Разнообразие профилей декоративных элементов фасада. Троицкий собор в городе Соликамске. Схемы А.Е. Сёминой

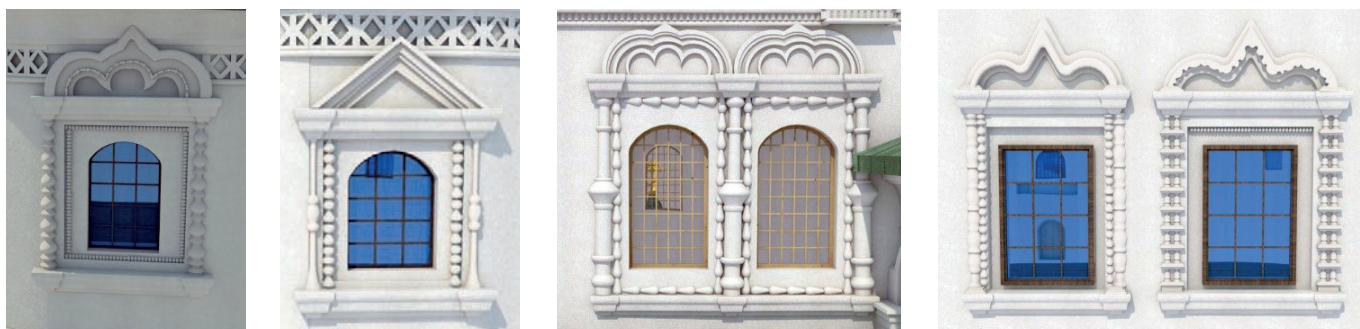


Рис. 7. Разница в декоре наличников окон Троицкого собора в городе Соликамске: рендеры информационной модели. Автор А.Е. Сёмина

отнесена к классам IfcFurniture (IFC-entity) и ЭЛ 30 16 35, ЭЛ 30 16 25, ЭЛ 30 29 40 (МССК)⁵. Другие декоративные элементы можно найти в классификаторе в классификационной таблице 6 «Компоненты»: карниз P_PLA, лепнина P_PLC, наличник N_NEE, торцевой элемент кровли (подзоры) N_NDE, колонна U_ULD, арка U_ULH, пилястра U_ULI (рис. 8)⁶.

Как показал анализ таблиц классификаторов строительной информации, множество элементов, которые используются при моделировании исторических зданий, не имеют общепринятого кодирования. В этом случае разработчикам модели приходится создавать свои классификаторы, что приводит к их большому разнообразию.

* * *

Информационные модели исторических зданий индивидуальны и составляют уникальную базу данных для каждого здания или сооружения. Информация, параметры, библиотеки таких моделей хранятся отдельно и имеют разную структуру для каждого объекта. Один из главных критериев оптимизации процессов работы с информационными моделями исторических зданий – правильная организация процесса сбора данных и построения модели. Стандартизация параметров, классификаторов и библиотек элементов может

⁵ <http://ksi.faufcc.ru/versii.php>

⁶ Там же.

⁷ Там же.

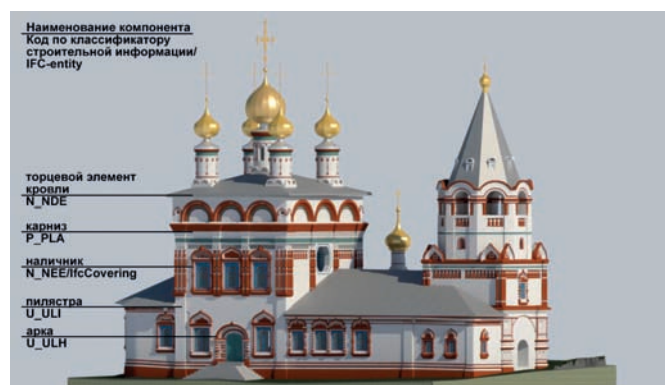


Рис. 8. Элементы архитектурного декора фасада (источник: Классификатор строительной информации⁷)

уменьшить суммарное время, потраченное как на разработку модели, так и на последующее её прочтение.

Одним из результатов информатизационного моделирования историко-архитектурного наследия может стать создание электронных каталогов, библиотек, баз данных – локальных и общегосударственных. Глобально, они могут включать в себя и наборы элементов, и сами объёмные модели памятников архитектуры. Моделирование исторических территорий городов как часть цифровых моделей города может вестись впоследствии уже на основе таких каталогов. Все это создаст основу для создания единой информационной системы, и станет ещё одним шагом для реализации проектов «умного города» [9; 10].

Список источников

1. Захарова, Г.Б. Информационное моделирование исторических зданий / Г.Б. Захарова. – Текст: непосредственный // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 29–30 марта 2018 года. – СПб : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. – С. 83–88.

2. Parametric HBIM Procedure for the Structural Evaluation of Heritage Masonry Buildings. / Croce P.; Landi F.; Puccini B.; Martino M. [и др.]. – Текст: электронный // Buildings. – 2022 – № 12. – URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/2/194/html> (дата обращения 16.10.2022). DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12020194>.

3. Maksimova, S. Digital Survey and Information Modelling Application Experience for the Historical and Cultural Heritage Objects / S. Maksimova, A. Shamarina, A. Semina. – Текст: электронный // Lecture Notes in Networks and Systems – 2022. – Vol. 342. – P. 927–935. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-89477-1_84 (дата обращения 10.10.2022). DOI 10.1007/978-3-030-89477-1_84.

4. Яхина Е.П. Обзор использования технологии лазерного сканирования в реставрации и реконструкции объектов культурного наследия в России / Е.П. Яхина. – Текст: электронный // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы IV Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 21–23 апреля 2021 года / Под общей редакцией А.А. Семёнова. – СПб : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 53–61. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46383324&pff=1> (дата обращения 10.10.2022).

5. A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings / G. Rocha, L. Mateus, J. Fernández, V. Ferreira. – Текст: электронный // Heritage. – 2020. – № 3. – P. 47–67. – URL: https://www.researchgate.net/publication/339097240_A_Scan-to-BIM_Methodology_Applied_to_Heritage_Buildings/link/5e3d5d9b92851c7f7f24671d/download (дата обращения 16.10.2022).

6. Семина, А.Е. Цифровое информационное моделирование колокольни Троицкого собора в городе Соликамск

/ А.Е. Семина, С.В. Максимова, А.А. Шамарина. – Текст: электронный // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы IV Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21–23 апреля 2021 года / Под общей редакцией А.А. Семёнова. – СПб : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 394–400. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46383372&pff=1> (дата обращения 14.10.2022). DOI 10.23968/BIMAC.2021.049.

7. Kashevarova, G.G., Intelligent and Digital Technologies in the Construction Objects Technical Diagnostics / G.G. Kashevarova, A.E. Semina, S.V. Maksimova. – Текст: электронный // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering (Международный журнал по расчёту гражданских и строительных конструкций). – 2021. – Vol. 17. – No 2. – P. 22–33. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48246033> (дата обращения 16.10.2022). DOI 10.22337/2587-9618-2021-17-2-22-33.

8. Barrile, V. An Experimental HBIM Processing: Innovative Tool for 3D Model Reconstruction of Morpho-Typological Phases for the Cultural Heritage / V. Barrile, E. Bernardo, G. Bilotta. – Текст: электронный // Remote Sens. – 2022. – № 14. – 1288. – URL: https://www.researchgate.net/publication/359062083_An_Experimental_HBIM_Processing_Innovative_Tool_for_3D_Model_Reconstruction_of_Morpho-Typological_Phases_for_the_Cultural_Heritage (дата обращения 16.10.2022). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14051288>. англ

9. Пахомов, Е.В. Базовая модель умного города / Пахомов Е.В. – Текст: электронный // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 4 (51). – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_37845241_77072579.pdf (дата обращения: 10.10.2022).

10. Талапов, В. Информационная модель – основа «умного города» / В. Талапов // САПР и графика. – 2018. – 11. – С. 4–7. – URL: <https://sapr.ru/article/25744> (дата обращения 16.10.2022).

References

1. Zakharova, G.B. Informatsionnoe modelirovanie istoricheskikh zdaniy [Information Modeling of historical buildings]. In: *BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury* [BIM-modeling in the tasks of construction and architecture], Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference. St. Petersburg, March 29–30, 2018. – St. Petersburg, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2018, pp. 83–88. (In Russ., abstr.in Engl.)

2. Croce P.; Landi F.; Puccini B.; Martino M.; Maneo A. Parametric HBIM Procedure for the Structural Evaluation of Heritage Masonry Buildings In: *Buildings*, 2022, no. 12. URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/2/194/html> (Accessed 10/16/2022). DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12020194>. (In Engl.)

3. Maksimova S., Shamarina A., Semina A. Digital Survey and Information Modelling Application Experience for the Historical

and Cultural Heritage Objects. In: *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, Vol. 342, P. 927–935. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-89477-1_84 (Accessed 10/10/2022). DOI: 10.1007/978-3-030-89477-1_84. (In Engl.)

4. Yakhina E.P. Obzor ispol'zovaniya tekhnologii lazernogo skanirovaniya v restavratsii i rekonstruktsii ob"ektov kul'turnogo naslediya v Rossii [Review of Using Laser Scanning Technology in the Restoration and Reconstruction of Cultural Heritage Objects in Russia]. In Semenov A.A. (gen.ed.): *BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury [BIM-Modeling in the Tasks of Construction and Architecture]*: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference. St. Petersburg, April 21–23, 2021. Sankt-Peterburg, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2021, pp. 53-61. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46383324&pf=1> (Accessed 10/10/2022). DOI 10.23968/BIMAC.2021.006. (In Russ., abstr.in Engl.)

5. Rocha G., Mateus L., Fernández J., Ferreira V. A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings. In: *Heritage*, 2020, no. 3, pp. 47–67. URL: https://www.researchgate.net/publication/339097240_A_Scan-to-BIM_Methodology_Applied_to_Heritage_Buildings/link/5e3d5d9b92851c7f7f24671d/download (Accessed 10/16/2022). (In Engl.)

6. Semina A.E., Maksimova S.V., Shamarina A.A. Tsifrovoe informatsionnoe modelirovanie kolokol'ni Troitskogo sobora v gorode Solikamsk [Building Information Modeling of the Trinity Cathedral Bell Tower in Solikamsk]. In Semenov A.A. (gen.ed.): *BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury [BIM-Modeling in the Tasks of Construction and Architecture]*:

Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference. St. Petersburg, April 21–23, 2021. Sankt-Peterburg, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2021, pp. 394–400. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46383372&pf=1> (Accessed 10/14/2022). DOI 10.23968/BIMAC.2021.049. (In Russ., abstr.in Engl.)

7. Kashevarova G.G., Semina A.E., Maksimova S.V. Intelligent and Digital Technologies in the Construction Objects Technical Diagnostics. In: *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2021, Vol. 17, no 2 pp. 22–33. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48246033> (Accessed 10/16/2022). DOI 10.22337/2587-9618-2021-17-2-22-33. (In Engl., abstr.in Russ.)

18. Barrile V., Bernardo E., Bilotta G. An Experimental HBIM Processing: Innovative Tool for 3D Model Reconstruction of Morpho-Typological Phases for the Cultural Heritage. In: *Remote Sens*, 2022, no. 14, 1288. URL: https://www.researchgate.net/publication/359062083_An_Experimental_HBIM_Processing_Innovative_Tool_for_3D_Model_Reconstruction_of_Morpho-Typological_Phases_for_the_Cultural_Heritage (Accessed 10/16/2022). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14051288>. (In Engl.)

9. Pakhomov E.V. Bazovaya model' umnogo goroda [Basic Smart City Model]. In: *Inzhenernyi vestnik Dona [Engineering Journal of Don]*, 2018, no. 4 (51). URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_37845241_77072579.pdf (Accessed : 10/10/2022). (In Russ., abstr.in Engl.)

10. Talapov V. Informatsionnaya model' – osnova «umnogo goroda» [Information Model – the Basis of the "Smart City"]. In: *SAPR i grafika [CAD and graphics]* 6 2018, no. 11, pp. 4–7. URL: <https://sapr.ru/article/25744> (Accessed 10/16/2022) (In Russ.)