

УДК 69.07

А. В. Игнатьев^а, Д. А. Саушкин^а, О. В. Душко^а, И. А. Галишников^б

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Московский государственный строительный университет*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПОСЛЕ ПОЖАРА

В статье описана возможность использования инструментов информационного моделирования объектов строительства на этапе проведения обследования строительных объектов. Предложен метод построения информационной модели строительного объекта, позволяющий быстро определить состояние бетонных конструкций, подвергшихся воздействию пожара.

Ключевые слова: обследование, железобетонные конструкции, информационное моделирование объектов строительства.

Введение

Информационное моделирование объектов строительства (BIM) — это новый подход к проектированию, возведению, реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений. Информационное моделирование позволяет управлять жизненным циклом объекта и осуществлять комплексную обработку в трехмерном представлении всей архитектурной, конструкторской, технологической, инженерной и экономической информации об объекте строительства [1—5]. При этом различные модели и части моделей могут быть плавно интегрированы в инфраструктуру пространственных данных и могут легко взаимодействовать с системами из областей CAD и компьютерной графики [6].

Перспективным направлением развития информационного моделирования является его использование в комплексе мероприятий по обследованию зданий, позволяющем с помощью различных методов определить текущее фактическое состояние строительных конструкций обследуемого строительного объекта [7].

С помощью информационной модели можно быстро определить состояние конструкций. Например, представление обследуемого здания в виде его полноценной информационной модели помогает получать значительно больше фактических сведений о нем, чем при использовании обычных 2D-чертежей, а значит, и повышает качество проводимых обмерных работ, что способствует составлению полноценного отчета с описанием всех дефектов без исключения. Технологии информационного моделирования позволяют нам более детально и более быстро реализовать требования нормативных документов [8]. Но все же ключевая задача BIM — упростить и ускорить рутинные процессы, тем самым повысив производительность и качество выполняемых работ.

На этапе визуального и инструментального обследования обычно выполняется следующая программа работы:

1. Выполнение обмерочных работ с целью определения объемно-планировочного и конструктивных решений здания, составление обмерных чертежей [9].

2. Определение необходимых физических и прочностных характеристик материалов конструкций [9].

3. Визуальное и инструментальное освидетельствование строительных конструкций здания с фотофиксацией выявленных дефектов, повреждений и несоответствий строительных конструкций нормам, оценка их влияния на техническое состояние здания [10, 11].

4. Определение причин возникновения дефектов и повреждений, а также характер их развития.

5. Анализ результатов обследования с выдачей заключения о техническом состоянии строительных конструкций здания, их ремонтпригодности и возможности дальнейшей нормальной эксплуатации.

6. Внесение полученных данных в информационную модель [12].

7. Разработка рекомендаций по устранению выявленных дефектов и повреждений, а также восстановлению строительных конструкций здания.

В соответствии с указанной программой выполняется сплошное поэлементное обследование строительных конструкций здания: фундаментов, стен, колонн, балок, перекрытий, покрытия, маршей и площадок лестничных клеток, кровли.

На этапе визуального и инструментального освидетельствования в большинстве случаев полезно применять сканирование лазером. Лазерное сканирование — 3D-сканирование объекта с целью получения пространственной модели. Позволяет в сжатые сроки провести обмеры даже сложных в плане конструктивных и архитектурных особенностей зданий и сооружений [13].

Также благодаря лазерному сканированию мы можем оценить степень деформации конструкций. Это значительно упрощает процесс обмера конструкций и позволяет снизить до минимума количество травм, которые специалист может получить во время обмера [14].

Все дефекты и повреждения внутренних и наружных строительных конструкций здания наносятся на планах, фасадах и разрезах здания [15]. Систематизация полученных сведений о дефектах и повреждениях, а также подробное описание состояния строительных конструкций здания, привязанное на чертежах к тем участкам, где были обнаружены повреждения, помогает получить точное представление о текущем состоянии конструкций и является простым для понимания заказчика.

Основная часть

В данной работе рассматривается адаптация наиболее распространенной на рынке проектирования версии программного комплекса Autodesk Revit 2020.2 для ее использования при обследовании здания после пожара.

В качестве примера рассмотрено условное каркасное здание, подвергшееся пожару, основные несущие элементы каркаса которого выполнены из колонн 500×500 , а также двускатных балок пролетом 9 м.

Согласно СП 13-102—2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» (далее по тексту СП), известно, что при обследовании конструкций, подвергшихся воздействию пожара, для

получения достоверных данных, среди ряда прочих факторов, рекомендуется установить максимальную температуру нагрева бетона, арматуры, закладных деталей и сварных соединений, а также распределение температуры по участкам конструкций во время пожара.

Из данного СП известно, что при нагревании свыше 300 °С бетон меняет цвет. Признаки, определяющие температуру нагрева бетона при пожаре, приведены в табл. Г.1 прил. Г данных СП (рис. 1).

Цвет бетона	Максимальная температура нагрева бетона, °С	Возможные дополнительные признаки
Нормальный	300	Нет
Розовый до красного	300-600	Начиная с 300 °С - поверхностные трещины, с 500 °С - глубокие трещины, с 572 °С - раскол или выкол заполнителей, содержащих кварц
Серовато-черный до темно-желтого	600-950	700-800 °С - отколы бетона, обнажающие в ряде случаев арматуру, 900 °С - диссоциированный известняковый заполнитель и цементный дегидратированный камень сыплются, крошатся
Темно-желтый	Более 950	Много трещин, отделение крупного заполнителя от растворной части

Рис. 1. Значение максимальных температур нагрева бетона

Там же в табл. Г. 2 приведено возможное снижение прочности бетона в зависимости от температуры нагрева (рис. 2).

Вид твердения бетона и условия твердения	Снижение прочности бетона после пожара, %, при максимальной температуре его нагрева, °С						
	60	120	150	200	300	400	500
Тяжелый с гранитным заполнителем, естественное	30	30	30	30	40	60	70
То же, тепловлажностная обработка	15	20	20	20	20	30	45
То же, с известняковым заполнителем	15	20	20	25	25	40	60
Легкий с керамзитовым заполнителем, тепловлажностная обработка	10	10	10	10	10	15	20

Рис. 2. Возможное снижение прочности бетона в зависимости от температуры

Эти зависимости были отображены с помощью параметров семейств.

На основе семейства колонны опишем предлагаемый в работе алгоритм реализации отображения дефектов и повреждений здания в его информационной модели.

1. Создаем объект выдавливания и задаем параметрами для возможности редактирования семейств внутри проекта (рис. 3).

2. После добавления параметров геометрических характеристик настраиваем параметры материалов. Согласно 1-му столбцу таблицы, представленной на рис. 1, нужно создать несколько материалов, отображающих цвет бетона, подвергшегося воздействию нагрева определенной температуры (рис. 4).

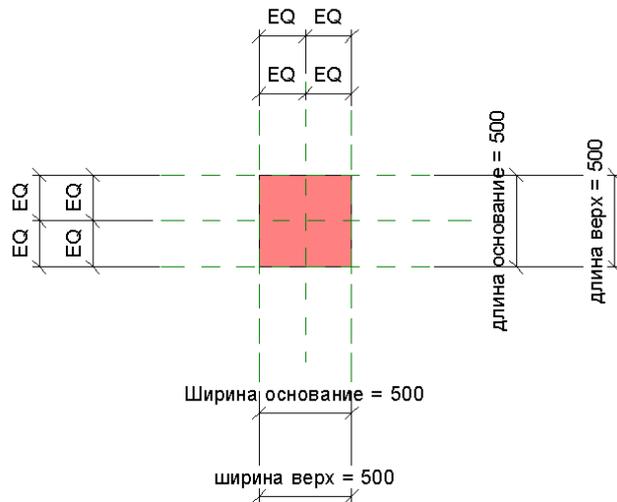


Рис. 3. Объект выдавливания

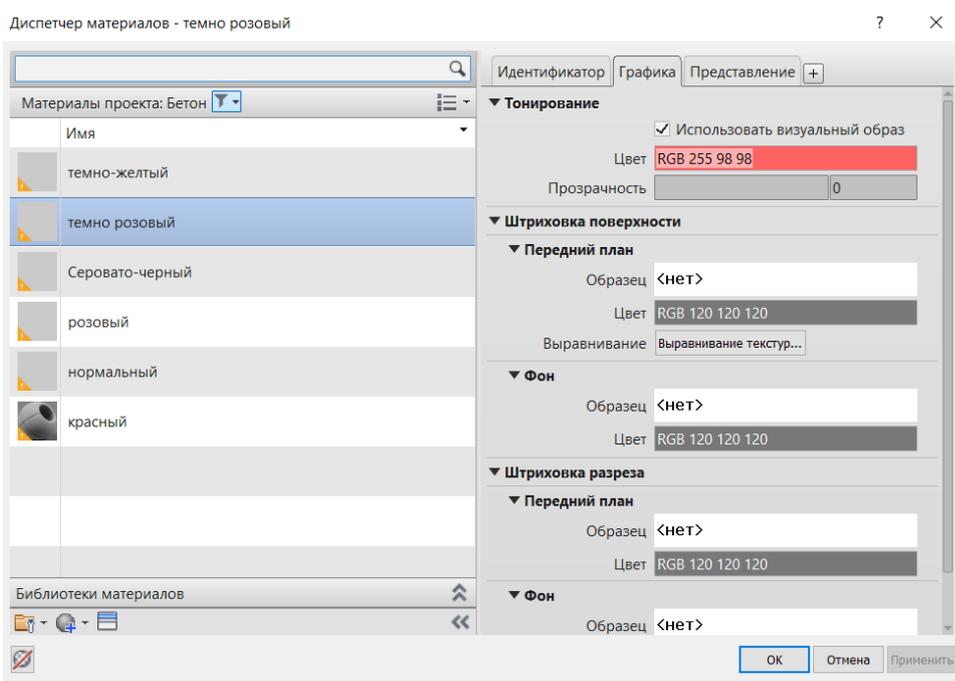


Рис. 4. Создание нескольких материалов, отображающих цвет бетона, подвергшегося воздействию нагрева определенной температуры

3. Копируем элементы выдавливания, вставляем «по тому же месту» и точно так же связываем параметрами. Для возможности более детального редактирования всех геометрических особенностей колонн все параметры делаем «параметрами экземпляра».

4. Накладываем на каждый созданный элемент параметр видимости, отражающий его цвет (рис. 5).

5. Для корректного отображения параметров и работы семейств создадим числовой параметр и присвоим числовое значение для каждого цвета через логические формулы внутри семейства и прописываем подсказку для параметра с конкретными инструкциями (рис. 6).

6. Числовой параметр необходим для управления видимостью объекта, а также для его использования в других формулах.

7. Теперь, опираясь на цвет, мы должны узнать максимальные температуры, которым могли подвергаться несущие элементы согласно 2-му столбцу таблицы из СП, показанной на рис. 1.

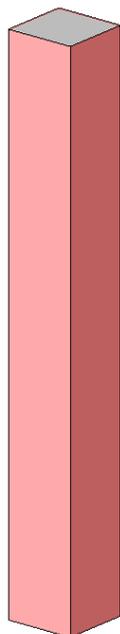


Рис. 5. Элемент с параметром видимости, отражающим его цвет

8. Создадим числовой параметр, с помощью которого можно будет определять температуру по цвету бетона, реализовав это через логические формулы. Для данного параметра формула принимает следующий вид:

if(цвет бетона = 1,250,if(цвет бетона = 2,300,if(цвет бетона = 3,400,if(цвет бетона = 4,500,if(цвет бетона = 5,600,if(цвет бетона = 6,950,0))))))

9. Следует узнать снижение несущей способности при нагревании элемента в соответствии с таблицей, изображенной на рис. 2. Для этого также создаем числовой параметр и действуем по такой же логике, но следует учесть всего четыре значения параметра, так как при нагреве свыше 500 °С несущая способность бетона равна нулю. Формула будет иметь следующий вид:

if(температура = 250, 0.7, if(температура = 300, 0.6, if(температура = 400, 0.4, if(температура = 500, 0.3, 0))))

10. Для того чтобы отобразить наши параметры в спецификации проекта, следует добавить их в файл общих параметров; важно понимать, что в рабочей ситуации изменять файл общих параметров можно только при согласовании изменений с BIM-менеджером. После изменений мы получим таблицу параметров семейства, имеющую вид, показанный на рис. 7.

цвет бетона (по умолчанию)	2	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Прочее			
цвет_нормальный (по умолчанию)	<input type="checkbox"/>	=цвет бетона = 1	
цвет_розовый (по умолчанию)	<input checked="" type="checkbox"/>	=цвет бетона = 2	
цвет_розовый 2 (по умолчанию)	<input type="checkbox"/>	=цвет бетона = 3	
цвет_красный (по умолчанию)	<input type="checkbox"/>	=цвет бетона = 4	
цвет_Серовато_черный (по умолчанию)	<input type="checkbox"/>	=цвет бетона = 5	
цвет_желтый (по умолчанию)	<input type="checkbox"/>	=цвет бетона = 6	

Рис. 6. Сопоставление цвета его числовому значению

Параметр	Значение	Формула	Блокировать
Материалы и отделка			
Материал несущих конструкций (по		=	
Размеры			
Ширина основание (по умолчанию)	500.0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
длина верх (по умолчанию)	500.0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
длина основание (по умолчанию)	500.0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
ширина верх (по умолчанию)	500.0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Общие			
коэффициент несущей способности (0.600000	=if(температура = 250, 0.7, if(te	
температура (по умолчанию)	300	=if(цвет бетона = 1, 250, if(це	<input checked="" type="checkbox"/>
цвет бетона (по умолчанию)	2	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Прочее			
цвет_нормальный (по умолчанию)	<input type="checkbox"/>	=цвет бетона = 1	
цвет_розовый (по умолчанию)	<input checked="" type="checkbox"/>	=цвет бетона = 2	
цвет_розовый 2 (по умолчанию)	<input type="checkbox"/>	=цвет бетона = 3	
цвет_красный (по умолчанию)	<input type="checkbox"/>	=цвет бетона = 4	
цвет_Серовато_черный (по умолчан	<input type="checkbox"/>	=цвет бетона = 5	
цвет_желтый (по умолчанию)	<input type="checkbox"/>	=цвет бетона = 6	

Рис. 7. Таблица параметров семейства

Загрузим получившееся семейство и создадим наш условный проект.
 Условно зададимся длиной здания 24 м в осях и пролетом 9 м (рис. 8).

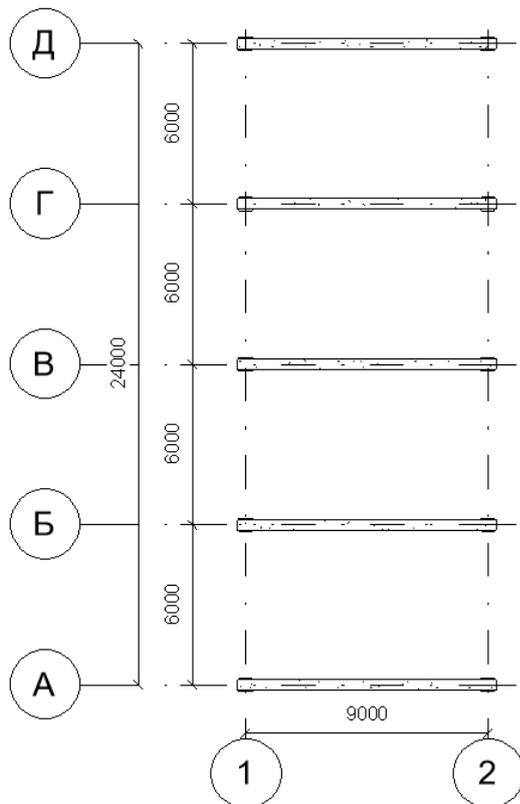


Рис. 8. Здание 24 м в осях и пролетом 9 м

Незначим характерный цвет конструкциям и тем самым проверим работу семейств.

После задания цветовых характеристик мы можем видеть, где конструкции больше всего были подвержены влиянию огня (рис. 9). Такой подход позволяет нам быстро визуализировать результаты обследований.

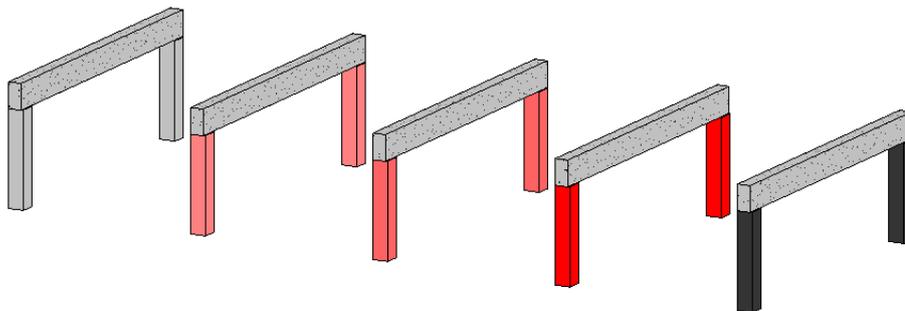


Рис. 9. Визуализация результатов обследования

При проверке семейств следует проверить и спецификацию проекта. В рассматриваемом примере таблица спецификации проекта отображается с ранее заданным параметрам (рис. 10).

<Спецификация ИЗМЕНЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОЛОНН>			
A	B	C	D
Марка	цвет бетона	температура	коэффициент несущ
D/1	1	250	0.7
D/2	1	250	0.7
G/2	2	300	0.6
G/1	2	300	0.6
B/1	3	400	0.4
B/2	3	400	0.4
B/1	4	500	0.3
B/2	4	500	0.3
A/1	5	600	0
A/2	5	600	0

Рис. 10. Спецификация изменения несущей способности колонн

Предложенный метод можно дополнять и расширять. Например, в семейство возможно добавить параметр для фотофиксации и вывода фотографий в дефектную ведомость. Кроме того, в модели можно использовать несколько уровней детализации.

Дополнительное использование результатов лазерного сканирования здания позволит точно определить геометрию, а также расположение дефектов конструкции.

Заключение

Подводя итог, можно отметить, что на сегодняшний день использование инструментов информационного моделирования при обследовании зданий и

сооружений позволяет значительно сократить финансовые и временные издержки благодаря высокой точности сканирования, результаты которого заносятся в информационную модель обследуемого объекта капитального строительства, позволяя визуализировать расположение всех обнаруженных дефектов.

Однако это не может полностью заменить собой выполнение инструментального освидетельствования строительных конструкций здания, с присущими ему методами исследований. В частности, в бетонных и железобетонных конструкциях прочность бетона определяют механическими методами неразрушающего контроля по ГОСТ 22690, ультразвуковым методом по ГОСТ 17624, а также методами определения прочности по образцам, отобранным из конструкций, по ГОСТ 28570 и прил. 10 ГОСТ 22690.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Abdirad H., Dossick C. S.* BIM curriculum design in architecture, engineering, and construction education: a systematic review // *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. Vol. 21. Pp. 250—271. URL: <http://www.itcon.org/2016/10>.
2. *Barison M., Santos E.* BIM Teaching: Current International Trends // *Gestão & Tecnologia de Projetos*. 2011. No. 6(2). Pp. 67—80.
3. *Bozoglu J.* Collaboration and coordination learning modules for BIM education // *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. Special iss. : 9th AiC BIM Academic Symposium & Job Task Analysis Review Conference. Vol. 21. Pp. 152—163. URL: <http://www.itcon.org/2016/10>.
4. *Бурлаченко О. В., Елфимов К. А., Бунин Д. В.* Информационное обеспечение управления жизненным циклом строительных объектов в концепции BIM // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2018. Вып. 54(73). С. 217—227.
5. *Бурлаченко О. В., Бурлаченко А. О., Оганесян О. В.* Выбор оптимальных технологических решений в условиях плотной городской застройки на основе BIM-технологий // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура*. 2020. Вып. 1(78). С. 329—335.
6. *Quoc Toan N., Van Tam N., Ngoc Diep T., Xuan Anh P.* Adoption of building information modeling in the construction project life cycle: benefits for stakeholders // *Architecture and Engineering*. 2022. No. 7(1). Pp. 56—71. DOI: <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2022-7-1-56-71>.
7. *Abbasnejad B., Moud H. I.* BIM and basic challenges associated with its definitions, interpretations and expectations // *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*. 2013. No. 3. Pp. 287—294.
8. *Smith D. K., Tardif M.* *Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers*. NJ : John Wiley & Sons Limited, 2009. 183 p.
9. *Чигинский Д. С., Валева Г. В.* Применение BIM-технологий при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений // *BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 21—23 апр. 2021 г. / Под общ. ред. А. А. Семенова*. СПб. : Санкт-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т, 2021. С. 248—254. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.032. EDN ZNJHNB.
10. *Стасева Е. В., Федина Е. В.* Системный подход к мониторингу технического состояния зданий и сооружений // *Инженер. вестн. Дона*. 2013. № 4(27). С. 172. EDN SBLLIF.
11. *Шейна С. Г., Виноградова Е. В., Денисенко Ю. С.* Пример применения BIM технологий при обследовании зданий и сооружений // *Инженер. вестн. Дона*. 2021. № 6(78). С. 340—346. EDN HSBYQC.
12. *Семенов С. В., Орехов М. М., Волков В. И.* *Методика проведения обследований и мониторинга технического состояния зданий и сооружений с использованием передовых технологий : учеб. пособие*. СПб. : Санкт-Петербург. гос. архитектур.-строит. ун-т : ЭБС АСВ, 2013. 76 с.
13. *Галиева А. Б., Лешуков В. Д., Алехин В. Н.* Реконструкция промышленных и гражданских зданий и сооружений на основе технологий лазерного сканирования и информационного моделирования (BIM) // *Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур (SAFETY-2017) : сб. материалов Междунар. конф., Екатеринбург, 16—17 мая 2017 г.*

Екатеринбург: Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, 2017. С. 230—238. EDN ZEBQRV.

14. Building Users' Appraisal of Effective Fire Safety Management for Building Facilities in Malaysian Higher Education Institutions: A Pilot Study / I. Y. Ebenehi, S. Mohamed, N. B. Sarpin, S. T. Wee, A. A. Adaji // *Traektoriâ Nauki = Path of Science*. 2018. No. 12.

15. *Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K.* BIM Handbook. 2nd ed. NJ: Wiley, 2011. 626 p.

© *Игнатъев А. В., Саушкин Д. А., Душко О. В., Галишников И. А., 2023*

*Поступила в редакцию
в декабре 2022 г.*

Ссылка для цитирования:

Игнатъев А. В., Саушкин Д. А., Душко О. В., Галишников И. А. Использование инструментов информационного моделирования при обследовании объектов капитального строительства после пожара // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 336—345.

Об авторах:

Игнатъев Александр Владимирович — д-р техн. наук, доц., проф. каф. цифровых технологий в урбанистике, архитектуре и строительстве, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0003-0733-8808; alignat70@yandex.ru

Саушкин Дмитрий Александрович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; saushkin_2014@mail.ru

Душко Олег Викторович — д-р техн. наук, доц., зав. каф. строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0002-3982-1899; ovd28@mail.ru

Галишников Илья Александрович — ведущий инженер службы эксплуатации зданий и сооружений, Московский государственный строительный университет (МГСУ). Российская Федерация, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26; galishnikov@mail.ru

Alexander V. Ignatyev^a, Dmitriy A. Saushkin^a, Oleg V. Dushko^a, Ilya A. Galishnikov^b

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Moscow State University of Civil Engineering*

THE USE OF INFORMATION MODELING TOOLS IN THE SURVEY OF CAPITAL CONSTRUCTION PROJECTS AFTER A FIRE

The article describes the possibility of using information modeling tools for construction objects at the stage of conducting a survey of construction objects. A method for constructing an information model of a construction object is proposed, which allows to quickly determine the condition of concrete structures exposed to fire.

Key words: survey, reinforced concrete structures, information modeling of construction objects.

For citation:

Ignatyev A. V., Saushkin D. A., Dushko O. V., Galishnikov I. A. [The use of information modeling tools in the survey of capital construction projects after a fire]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 1, pp. 336—345.

About authors:

Alexander V. Ignatyev — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-0733-8808; alignat70@yandex.ru

Dmitriy A. Saushkin — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; saushkin_2014@mail.ru

Oleg V. Dushko — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-3982-1899; ovd28@mail.ru

Ilya A. Galishnikov — Lead Engineer, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; galishnikov@mail.ru