



УДК 69.059.7

Зайцев Владислав Олегович

инженер

E-mail: vladislav.zaitsev.97@bk.ru

ООО «РВС-Систем»

Адрес организации: 420064, Россия, г. Казань, ул. Баки Урманче, д. 6

Богданов Андрей Николаевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: bogdanovan@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Мониторинг зданий в BIM-комплексах в период эксплуатации, капитального ремонта и реконструкции на примере стадиона «Заря»

Аннотация

Постановка задачи. Цель работы – анализ работы автоматизированного мониторинга зданий в период эксплуатации с применением BIM-технологий на примере стадиона «Заря» (г. Новосибирск). Разработка алгоритма действий при аварийных ситуациях, возникающих при эксплуатации, капитальном ремонте и реконструкции зданий.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в определении преимуществ использования системы непрерывного мониторинга зданий в BIM-технологиях. Разработан алгоритм принятия решений при возникновении критических деформаций конструкций, провоцирующих аварийные ситуации в период эксплуатации здания, капитального ремонта и реконструкции.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в снижении сроков и в упрощении процедуры проведения строительного контроля в период эксплуатации зданий; в ускорении принятия решений по конструктивным элементам объектов при выявлении критичных отклонений от проектных показателей; в возможности проведения непрерывного мониторинга в период эксплуатации объекта.

Ключевые слова: строительный контроль, BIM-технология, автоматизированный мониторинг, деформация, реконструкция.

Для цитирования: Зайцев В. О., Богданов А. Н. Мониторинг зданий в BIM-комплексах в период эксплуатации, капитального ремонта и реконструкции // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 88–95.

1. Введение

BIM-технологии – новый подход к созданию проекта, строительству объекта и его эксплуатации. По сути, BIM работает с этапом проектирования и периода строительства объекта и имеет цифровое описание объектов, используемых во время сноса, т.е. всю полную структурированную информацию [1]. Ключевым компонентом BIM является единое информационное пространство, имеющее всю информацию о строительных технологиях, законах, собственности, операциях, энергии, окружающей среде, торговле и других характеристиках [2]. С помощью подробного исследования модели, BIM может выполнять разные расчеты, анализировать и моделировать на этапе проектирования. Имеется возможность изменить рабочие данные для наблюдения за зданием [3].

Одними из основных контролируемых параметров являются механическая деформация, температура и влажность. Своевременное определение заданных пороговых параметров может предотвратить аварийные ситуации и катастрофы, а также уменьшить потери тепла в наружной ограждающей конструкции здания. То есть можно своевременно принять меры по капитальному ремонту и реконструкции, отслеживая текущее состояние здания [4]. В настоящее время не существует иного объективного способа быстрого, надежного и точного контроля информации о напряженно-деформированном состоянии (НДС) конструкций реконструируемого объекта [5].

Применяя автоматизированную систему мониторинга, появилась возможность выявлять отклонения НДС конструкций от заданных значений, оценить отклонения и в короткое время устранить возникшие дефекты, предупредить предаварийные и аварийные ситуации [6].

В строительной сфере существуют задачи, в которых применение автоматизированного мониторинга является по-настоящему необходимым. Это касается капитального ремонта и реконструкции зданий. Автоматизированный мониторинг в системе BIM позволяет контролировать надежность прочности несущих конструкций реконструируемых зданий [7].

В статье [8] приводится пример мониторинга стадиона «Заря». Основные несущие конструкции каркаса центрального блока здания манежа выполнены в виде стальных стержневых пространственных трехгранных рам пролетом 99 м. Распор рам воспринимается затяжкой, расположенной в уровне опор.

Прогоны покрытия – из прокатных стальных швеллеров с шагом 3м по неразрезной многопролётной схеме с перехлестом смежных прогонов на горизонтальной грани ригеля рамы. Затяжка рамы размещается в специальном железобетонном канале с размещением приборов контроля влаги. Несущие конструкции трибун предусмотрены из стальных профилей, перекрытия трибун – монолитные железобетонные. Фундаменты рам свайные из забивных железобетонных свай длиной 12 м; под конструкции трибун и продольный фахверк сваи длиной 8 м, ростверки монолитные железобетонные. Ограждающие конструкции стен здания манежа предусмотрены из металлических трехслойных кровельных панелей с минераловатным утеплителем толщиной 200 мм.

Автоматизированная система мониторинга, установленная на стадионе «Заря» в г. Новосибирске, позволяет следить за техническим состоянием объекта в режиме реального времени при минимальном участии человека. Система объединяет в себе 119 волоконно-оптических датчиков, 85 датчиков деформации и 32 датчика температуры, которые установлены на наиболее нагруженных элементах металлоконструкции при помощи точечной сварки.

Контролю подлежат все типы конструктивных элементов, входящие в состав каркаса центрального блока: большепролетные рамы с затяжками, продольные связи по покрытию, поперечные связи по покрытию, прогоны покрытия, фундаменты.

Основываясь на опыте расследования и анализа аварийных ситуаций в зданиях и сооружениях, авторы статьи [8] кратко описывают возможные неблагоприятные факторы:

1. Влияние повышенной нагрузки снега, скопившейся в определенной зоне покрытия.

В наиболее опасных случаях большое количество снега на большой площади покрытия из-за нестандартной конструкции может привести к перегрузке крупных элементов рамы, которые подвержены риску обрушения.

2. Разрушение антикоррозийного покрытия из-за влияния внутренней среды, общая локальная коррозия стальных элементов.

3. Замедленное разрушение высокопрочного болта.

4. Террористические акты и пожары. Слабыми элементами несущей конструкции стадиона являются подпорки, которые имеют важнейшие элементы каркасов больших пролетов, такие как колонны, внешние пояса, раскосы каркасной решетки и каркас.

5. Качество монтажных работ имеет большое влияние на уровень производительности несущей конструкции.

6. Неравномерная осадка фундаментов, которая может возникать из-за неравномерного деформирования грунта. Рама с большим пролетом не чувствительна к неровностям основания, поскольку рама шарнирно поддерживается фундаментом. Однако, если прилегающая основа рамы анкерного блока имеет неровности, вертикальные стяжные элементы могут создавать непредусмотренные силы.

2. Материалы и методы

В целом система мониторинга состоит из трех подсистем: подсистемы измерения, подсистемы передачи данных (подсистемы связи) и подсистемы сбора данных.

Назначение подсистемы измерения – преобразование физических показателей, характеризующих напряженно-деформированное состояние конструкции моста, в цифровую форму для передачи последующей информации в подсистеме сбора данных через подсистему передачи данных.

Подсистема сбора данных предназначена для автоматического сбора, обработки, хранения и визуализации данных из подсистемы измерения.

Подсистема передачи данных предназначена для передачи информации между другими подсистемами на различные расстояния. Подсистема сбора данных может использовать многоуровневую сетевую архитектуру диспетчерской службы, которая имеет собственную подсистему передачи данных [9].

В задачи мониторинга конструкций входят:

- изучение и сравнение соответствия проектных и реальных НДС конструкций;
- своевременный контроль технического состояния основных несущих элементов и проведение мероприятий по устранению новых негативных факторов, приводящих к ухудшению НДС здания;
- выявление конкретных конструкций и узлов, которые требуют проверки их НДС вследствие возможного увеличения нагрузки;
- исследование изменения НДС здания в целом и принятие срочных мер по предупреждению возникновения аварийной ситуации [10].

Система уведомления работает по принципу сигналов (красный, желтый, зеленый уровни). Зеленый: все измеренные деформации и смещения ниже порогового значения. Зеленое сообщение на мониторе, и уведомления не отправляются [11].

Желтый: значение одного или нескольких параметров превышает уровень опасности. На мониторе появляется желтое сообщение, SMS-уведомления будут отправлены главному инженеру, а уведомления по электронной почте будут отправлены старшим инженерам, генеральным директорам и генеральным проектировщикам.

Красный: значение одного или нескольких параметров превышает уровень опасности. На мониторе появится красное сообщение, будет слышен голосовой сигнал, а старшим инженерам, генеральным менеджерам и генеральным проектировщикам будут отправлены SMS и уведомления по электронной почте. Частота опроса датчика увеличивается на 1 опрос каждые 30 минут [12].

3. Результаты

В период работы системы мониторинга были получены результаты, на основании которых выявлены закономерности изменения НДС конструкций стадиона «Заря» в разное время года.

Результаты показаний с датчиков деформаций.

Затяжка представляет собой стальную пластину длиной около 9 см, соединяющую нижние точки арочной каркасной конструкции, она крепит деформационный датчик и термодатчик. Измерения датчиков, установленных на затяжках, показывают, что затяжки увеличиваются зимой (рис. 1).

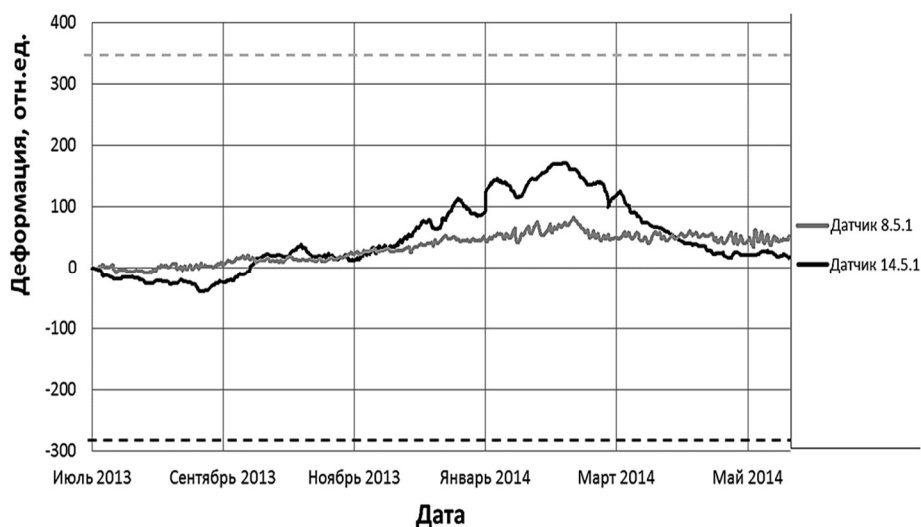


Рис. 1. Относительная деформация затяжки (источник: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25730963>)

Это связано с тем, что арочная структура прогнулась в нижней точке из-за влияния нагрузки снега, вследствие чего увеличилась затяжка. Максимальная деформация зафиксирована при затяжке по 14-й оси (самая восточная ось). Ее значение достигло 168 отн. ед. Перерасчет означает увеличение затяжки на $\approx 16,6$ мм.

Максимальная деформация зафиксирована на центральной балке (датчик П.5.1) (рис. 2). Нагрузка снега больше всего сказывается на коньковой балке. Поскольку деформация балки Р5 немного выше, чем у балки Р4, можно сделать вывод, что на северном скате крыши было больше снега.

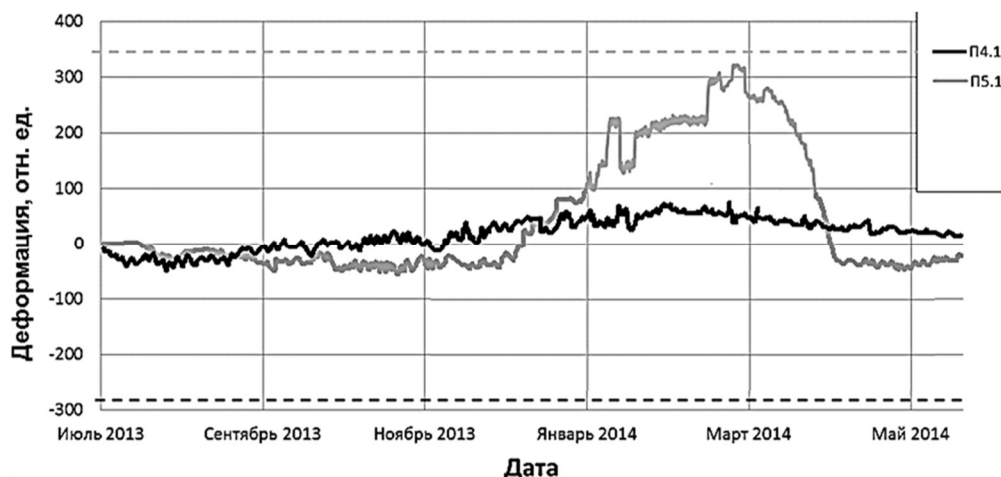


Рис. 2. Деформация фермы, расположенной в направлении север-юг
(источник: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25730963>)

В начале работы автоматизированного мониторинга произведено моделирование отклика показаний системы на снеговую нагрузку.

Этапы снеговой нагрузки на кровле центральной части стадиона «Заря» зимой 2013-2014 гг.:

- 1 ноября: скопление снега.
- 1 февраля: снегопад достиг максимума;
- 15 марта: снег тает на юге и остается на севере.
- 5 апреля: таяние снега.

Мониторинг стадиона «Заря» производился в течение пяти лет. За пять лет на несущие конструкции каркаса воздействовали различные нагрузки, наиболее значительной из которых является снеговая. На графиках (рис. 3) приведены значения перемещений и деформаций в контрольных точках рамы.

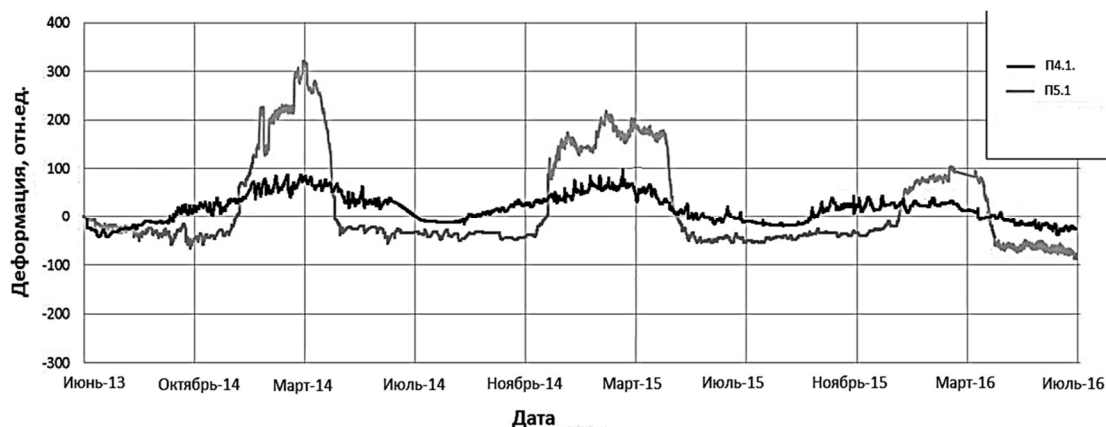


Рис. 3. Значения деформаций в контрольных точках рамы стадиона
(источник: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25730963>)

По полученным данным эксплуатационные службы стадиона имеют возможность принимать решение о чистке снега, что представляет высокую практическую ценность.

Негативные факторы могут постепенно снизить несущую способность конструкции или вызвать внезапное обрушение конструкции объекта.

В настоящей статье предлагается алгоритм принятия решений и действий в случае аномальных деформаций или аварийных ситуаций.

При обнаружении аномальной деформации следует предпринять следующие действия:

1. Сравнить математическое НДС и фактически критическое.
2. Уведомить владельцев объекта об обнаружении динамики изменения НДС конструкций.
3. Создать группу для дальнейшего создания плана действий по устранению динамики изменения НДС конструкций.
4. Собрать группу для соблюдения контроля качества выполнения плана мероприятий по устранению деформаций и дефектов.
5. После принятия мер по устранению динамики деформации продолжить мониторинг деформируемых объектов конструкций здания [13].

4. Обсуждение

На основании результатов были выведены алгоритмы принятия решений и действий в случае аномальных деформаций или аварийных ситуаций.

В процессе эксплуатации объекта или производства строительно-монтажных работ при реконструкции могут возникнуть дефекты конструкций, предаварийные, аварийные ситуации, связанные с критическими изменениями НДС здания.

При выявлении динамики изменения НДС конструкций следует:

- срочно передать авторскому и техническому надзору информацию, о выявленных отклонениях контролируемых параметров от прогнозных значений или о превышении критических значений НДС конструкций и о необходимости быстрого принятия решения об остановке строительных работ [14];
- участить снятие показаний мониторинга до момента установления причин наступления опасной ситуации, их устранения и восстановления прогнозной динамики изменения измеряемых значений [15];
- создать рекомендации по комплексу первоочередных мер для предотвращения возникновения предаварийных или аварийных ситуаций на территории, прилегающей к объекту;
- проанализировать причину обнаруженного опасного отклонения контролируемых параметров. Провести дополнительное инструментальное обследование. Для определения изменения отклонений рекомендуется применение метода наземного лазерного сканирования [16];
- разработать рекомендации по обеспечению дальнейшей безопасности капитального ремонта и эксплуатационной надежности реконструируемых объектов, эксплуатационной пригодности окружающей застройки;
- дать рекомендации по набору приоритетных мер для предотвращения аварийных ситуаций на территориях, прилегающих к объекту;
- изучить причину появления опасных изменений НДС конструкций;
- дать рекомендации по обеспечению дополнительной безопасности капитального ремонта и эксплуатационной безопасности окружающих зданий для реконструируемых объектов.

После устранения дефектов разрабатывается отчет. Далее отчет должен быть отправлен заказчику, генеральному проектировщику.

Отчет включает в себя:

- список дефектов, график изменения деформированного состояния отдельных узлов, конструкций и здания в целом. Результаты мониторинга отображаются в виде графиков и шкал;
- выводы о надежности готовой конструкции, о дальнейшем продолжении работ по реконструкции, капитальному ремонту здания, заключение о соответствии фактических параметров конструктивного состояния расчетным параметрам;

- прогнозирование общего состояния здания, разработка задания для создания мер по устранению динамики изменений НДС конструкций.

5. Заключение

1. Выполнен анализ работы автоматизированного мониторинга в BIM на примере стадиона «Заря». Установлены и проанализированы основные закономерности изменения НДС конструкций объекта в зимний период. Результаты мониторинга соответствуют расчётным результатам.

2. Предложен алгоритм действий при возникновении аномальных деформаций конструкций и аварийной ситуации при использовании автоматизированного мониторинга в системе BIM в период эксплуатации объекта.

3. Предложен алгоритм действий при использовании автоматизированного мониторинга в системе BIM в период капитального ремонта, реконструкции здания.

Список библиографических ссылок

1. Stephen O. On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning // *Automation in Construction*. 2020. № 110. P. 451–459. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.103012.
2. Косых Д. Н., Сурсанов Н. К. Необходимость использования современных методов мониторинга в строительстве // *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе*. 2017. Т. 5. С. 137–138.
3. Zhang X. Automatic underground space security monitoring based on BIM // *Computer Communications*. 2020. № 157. P. 85–91. DOI: 10.1016/j.comcom.2020.03.051.
4. Пономарев А. Б., Офрихтер В. Г. Необходимость системного мониторинга эксплуатируемых сооружений с целью обеспечения их конструктивной безопасности // *Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук*. 2016. № 5. С. 134–139.
5. Терелянский А. Д. Система принятия решений. Опыт разработки // *Известия ВолгГТУ*. 2014. № 74. С. 162–168.
6. Головина Е. Ю. Корпоративные информационные системы и методы их разработки // *Вестник МЭИ*. 2018. № 1. С. 94–101.
7. Богданец Е. С., Черемухина О. О. Изучение деформаций с использованием автоматизированной системы мониторинга // *Masters Journal*. 2014. № 1. С. 82–90.
8. Посохов Н. Н., Азаров С. Г., Прошляков М. Ю. Проблемы развития систем мониторинга потенциально опасных объектов и пути их решения // *Мониторинг. Наука и безопасность*. 2017. № 1. С. 8–11.
9. Шахрамьян А. М., Колотовичев Ю. А. Опыт использования автоматизированных систем мониторинга деформационного состояния несущих конструкций на Олимпийских объектах Сочи-2014 // *Вестник МГСУ*. 2015. № 12. С. 92–105.
10. Отечественный опыт производства и применения волоконно-оптических датчиков // *Elibrary.ru: научная электронная библиотека*. 2016. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25730963> (дата обращения: 28.09.2020).
11. Мухаев А. И., Попова И. В., Дедичкина Ю. В. Анализ современного состояния и перспектив развития жилищного строительства в российской федерации // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 3. С. 121–145.
12. Зильберова И. Ю., Петров К. С. Проблемы реконструкции жилых зданий различных периодов постройки // *Инженерный вестник Дона*. 2012. № 4. Т. 22. С. 214–229.
13. Cheng Y. BIM integrated smart monitoring technique for building fire prevention and disaster relief // *Automation in Construction*. 2017. № 84. P. 14–30. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.08.027.
14. Han K. Appearance-based material classification for monitoring of operation-level construction progress using 4D BIM and site photologs // *Automation in Construction*. № 53. 2015. P. 44–57. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.02.007.

15. Darko A. Building information modeling (BIM)-based modular integrated construction risk management – Critical survey and future needs // *Computers in Industry*. 2020. № 123. P. 21. DOI: 10.1016/j.compind.2020.103327.
16. Киямов И. К., Мингазов Р. Х., Музафаров А. Ф., Ибрагимов Р. А., Сибгатуллин И. А. Объемное проектирование путем применения технологии лазерного сканирования // *Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института*. 2017. № 3. С. 88–93.

Zaitsev Vladislav Olegovich

engineer

E-mail: vladislav.zaitsev.97@bk.ru

LTD «RVS-System»

The organization address: 420064, Russia, Kazan, Baki Urmanche st., 6

Bogdanov Andrey Nikolaevich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: bogdanovan@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Monitoring of buildings in BIM-complexes during operation, overhaul and reconstruction on the example of the «Zarya» stadium

Abstract

Problem statement. The aim of the article is to study the methodology of automated continuous monitoring of buildings during operation using BIM-technologies. Development of an action plan in emergencies arising during the operation, overhaul and reconstruction of buildings.

Results. The main results of the study are to determine the benefits of using a continuous building monitoring system in BIM technologies. An algorithm for making decisions in the event of critical deformations of structures provoking emergencies during the operation of the building, overhaul and reconstruction has been developed.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is in reducing the time frame and simplifying the procedure for conducting construction control during the operation of buildings; in accelerating decision-making on structural elements of facilities in identifying critical deviations from design indicators; in the possibility of continuous monitoring during the operation of the facility.

Keywords: construction control, BIM-technology, automated monitoring, deformation, reconstruction.

For citation: Zaitsev V. O., Bogdanov A. N. Monitoring of buildings in BIM-complexes during operation, overhaul and reconstruction on the example of the «Zarya» stadium // *Izvestija KGASU*. 2020. № 4 (54). P. 88–95.

References

1. Stephen O. On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning // *Automation in Construction*. 2020. № 110. P. 451–459. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.103012.
2. Kosykh D. N, Sursanov N. K The need to use modern monitoring methods in construction // *Modernizatsiya i nauchnyye issledovaniya v transportnom komplekse*. 2017. Vol. 5. P. 137–138.
3. Zhang X. Automatic underground space security monitoring based on BIM // *Computer Communications*. 2020. № 157. P. 85–91. DOI: 10.1016/j.comcom.2020.03.051.

4. Ponomarev A. B., Ofrikhter V. G. The need for system monitoring of operated structures in order to ensure their structural safety // *Vestnik tsentral'nogo regional'nogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk*. 2016. № 5. P. 134–139.
5. Terelyanskiy A. D. Decision making system. Development experience // *Izvestiya VolgGTU*. 2014. № 74. P. 162–168.
6. Golovina E. Y. Corporate information systems and methods of their development // *Vestnik MEI*. 2018. № 1. P. 94–101.
7. Bogdanets E. S., Cheremukhina O. O. Study of deformation processes using an automated monitoring system // *Masters Journal*. 2014. № 1. P. 82–90.
8. Posokhov N. N., Azarov S. G., Proshlyakov M. Y. Problems of development of monitoring systems for potentially dangerous objects and ways to solve them // *Monitoring. Nauka i bezopasnost'*. 2017. № 1. P. 8–11.
9. Shakhramanyan A. M., Kolotovichev Y. A. Experience in using automated systems for monitoring the deformation state of load-bearing structures at the Olympic facilities in Sochi-2014 // *Vestnik MGSU*. 2015. № 12. P. 92–105.
10. Domestic experience in the production and use of fiber-optic sensors // *Elibrary.ru: scientific electronic library*. 2016. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25730963> (reference date: 28.09.2020).
11. Mukhaev A. I., Popova I. V., Dedichkina Y. V. Analysis of the current state and prospects for the development of housing construction in the Russian Federation // *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. № 3. P. 121–145.
12. Zilberova I. Y., Petrov K. S. Problems of reconstruction of residential buildings of different construction periods // *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2012. № 4. Vol. 22. P. 214–229.
13. Cheng Y. BIM integrated smart monitoring technique for building fire prevention and disaster relief // *Automation in Construction*. 2017. № 84. P. 14–30. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.08.027.
14. Han K. Appearance-based material classification for monitoring of operation-level construction progress using 4D BIM and site photologs // *Automation in Construction*. 2015. № 53. P. 44–57. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.02.007.
15. Darko A. Building information modeling (BIM)-based modular integrated construction risk management – Critical survey and future needs // *Computers in Industry*. 2020. № 123. P. 21. DOI: 10.1016/j.compind.2020.103327.
16. Kiyamov I. K., Mingazov R. H., Muzafarov A. F., Ibragimov R. A., Sibgatullin I. A. Volume design by use of technology of laser scanning // *Uchenye zapiski Almetevskogo gosudarstvennogo neft'yanogo instituta*. 2017. № 3. P. 88–93.