DOI: 10.34031/article_5ca1f6304bd152.68288726

[1,*]Экба С.И.

[1]Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26
**E-mail: ekba.s.ig@gmail.com*

ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ, ПОПАДАЮЩИХ В ЗОНУ ВЛИЯНИЯ НОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Аннотация. *В данное работе рассмотрен вопрос комплексного обследования несущих конструкций зданий и сооружений с применением BIM-технологий (Building Information Model) и систем автоматизированного проектирования (САПР). Освещены ключевые задачи, решаемые в ходе оценки технического состояния зданий, сооружений и застройки, попадающей в зону влияния нового строительства. Предложен системный подход к оценке технического состояния зданий и сооружений. Данный подход и используемый инструментарий позволяет повысить эффективность производства работ по обследованию зданий и сооружений и снизить последующие эксплуатационные издержки. Произведен анализ и расчетное обоснование наиболее эффективных вариантов предотвращения сверхнормативных осадок зданий и сооружений в период нового строительства в городских условиях плотной застройки. Разработаны рекомендации по комплексному обследованию зданий и сооружений, в том числе попадающих в зону влияния нового строительства с применением BIM-модели и расчетной модели на основе метода конечных элементов.*

Ключевые слова: *комплексное обследование здания, BIM-модель, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, расчетная модель, САПР.*

Введение. Стремительный рост объемов вводимого в эксплуатацию жилья в России связан как со строительством новых объектов, так и с капитальным ремонтом и реконструкцией зданий, не отвечающих действующим требованиям нормативно-технической документации. Значительная часть зданий, подвергающихся реконструкции располагается в условиях плотной городской застройки, что накладывает определенные сложности на стадии проектирования и производства строительно-монтажных работ. К числу ключевых этапов, предшествующих проектированию, ОТНОСЯТСЯ комплексное обследование несущих конструкций и грунтов основания реконструируемых зданий и застройки, попадающей в зону влияния строительства.

Основной целью комплексного обследования зданий является оценка категории технического состояния несущих и ограждающих конструкций и зданий целом. В ходе работ устанавливают дефекты и повреждения, причины их появления, степени физического и морального износа. Результатом обследования становится комплекс рекомендаций, обеспечивающих дальнейшую безопасную эксплуатацию объекта. Полученная информация является исходными данными для уточнения и расчета зоны влияния нового строительства в случаях реконструкции зданий и сооружений [1–3].

На практике обследователи часто сталкиваться с проблемой полного отсутствия исходных данных (проектная и рабочая документация, исполнительная документация, паспорта БТИ, отчеты ранее выполненных обследований) и разрозненностью данных (отчеты о ранее выполненных обследования разработаны разными организациями), данные факторы существенно увеличивают трудоемкость и издержки на выполнение текущих обследовательских и обмерных работ. Несмотря на наличие нормативного документа, регламентирующего порядок обследования – ГОСТ 31937-2011, довольно часто приходится сталкиваться с субъективными трактовками разных специалистов о категории технического состояния строительных конструкций, классификации и причинах появления дефектов.

Таким образом, отсутствие единого подхода к проведению обследования зданий, единого формата обработки, представления и дальнейшего применения полученной в ходе обследования информации значительно осложняет пользование данными результатами, в том числе на этапах проектирования, реконструкции и последующей эксплуатации объекта. В процессе эксплуатации здания происходит масса событий: изменений в структуре здания, изменение эксплуатационных нагрузок, надстройки, пристройки, все данные разрознены и их сложно структурировать.

Методология. В настоящем исследовании продемонстрировано применение комбинации программных продуктов и методов обследования, позволяющих достичь повышения эффективности выполнения обследовательских и обмерных работ, снизить сроки на их реализацию. Предлагаемая методика успешно апробирована

более чем на 100 объектах различного назначения – жилые, общественные, объекты здравоохранения, спортивные сооружения.

Использование технологий информационного моделирования (BIM) в повседневной деятельности обследователя в совокупности с системами автоматизированного проектирования (САПР) дает значительные преимущества не только на этапе проектирования, но и на последующих этапах жизненного цикла зданий.

По сути BIM-модель – это база данных, которая в процессе жизненного цикла пополняется необходимой информацией. Создание такой модели происходит как раз на этапе обследования объекта, сюда же заносятся данные о дефектах и повреждениях строительных конструкций, элементов, узлов, в последствии появляется возможность отслеживания выявленных ранее дефектов, их динамики. В дальнейшей работе использовались методы визуального и инструментального контроля, получены данные также вносились в BIM-модель.

Получив информационную модель здания появляется возможность экспорта в расчетные программные комплексы. При проведении исследования для построения и анализа расчетной модели применялся метод конечных элементов. В приведенных примерах использованы ЛИРА-САПР PRO, ZSOIL, MIDAS GTS NX.

Основная часть. Применение и активное развитие BIM-технологий в повседневной деятельности строительных компаний уже не новинка, это тренд последних 3–5 лет. Уже сегодня действует несколько СП регламентирующих «правила игры» для пользователей BIM-модели, определены основные термины и определения, несомненно, будущее за BIM-технологиями [4–6].

Основные этапы исследования выражены в следующей последовательности действий, выполняемы в процессе обследования зданий и сооружений:

1. Изучение и анализ исходно-разрешительной, проектной, рабочей, исполнительной и иной документации.

Уже на данном этапе приходится сталкиваться с рядом сложностей – отсутствие технической документации, нечитаемостью или ветхостью документации. В большинстве случаев необходимо восстановление и разработка графической части документации, это и есть старт создания BIM-модели, которая дополняется необходимой информацией в процессе обследования объекта. Результатом данной работы в зависимости от целей обследования является обмерные чертежи, 3D-модель с уровнем проработки модели LOD 100 и LOD 200. В качестве ключевого программного продукта использовался Autodesk Revit. Примеры реализованных в ходе исследования объектов представлены на рис. 1.

а *б*

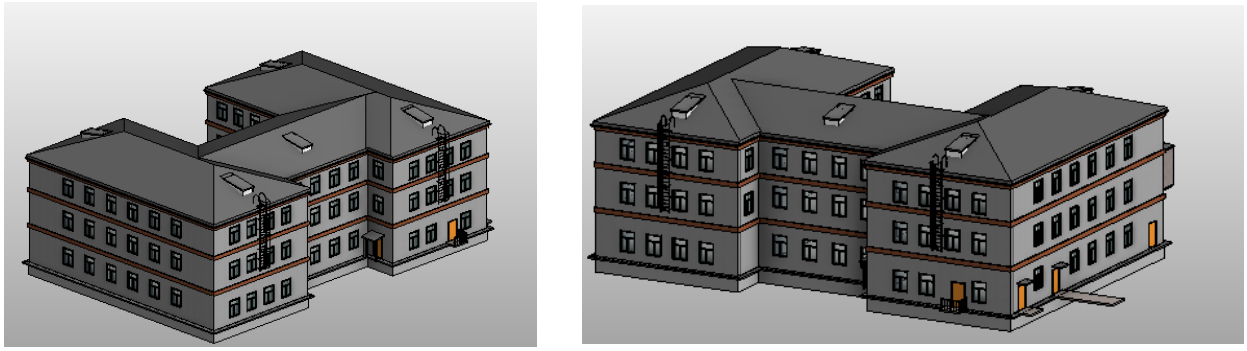


Рис. 1. BIM-модель объектов обследования:
а – вид 1; *б* – вид 2

2. Составление Программы работ обследования зданий, попадающих в зону влияния нового строительства/реконструкции.

Сутью данного этапа является анализ исходной геоподосновы, рекогносцировка местности, установление факта наличия на местности зданий и сооружений, попадающих в зону влияния нового строительства/реконструкции, выбор оптимальных методов проведения работ. Схемы зон влияния нового строительства представлены на рис. 2.

3. Инженерно-техническое обследование несущих конструкций, в том числе фундаментов и основания.

Один из ключевых этапов работ, именно здесь производится сбор и обработка основных параметров строительных конструкций, последующее наполнение и детализация BIM-модели. К числу получаемых параметров относятся: прочность бетона, каменной кладки и раствора, схемы армирования железобетонных элементов, химический состав стали, геометрические размеры,

физико-механические характеристик грунтов. Кроме этого, проводится сплошной обмер всех строительных конструкций, элементов, узлов и помещений. Здесь уровень проработки BIM-модели достигает LOD 300 и LOD 400, результатом становится комплект чертежей марки АР и/или КР.

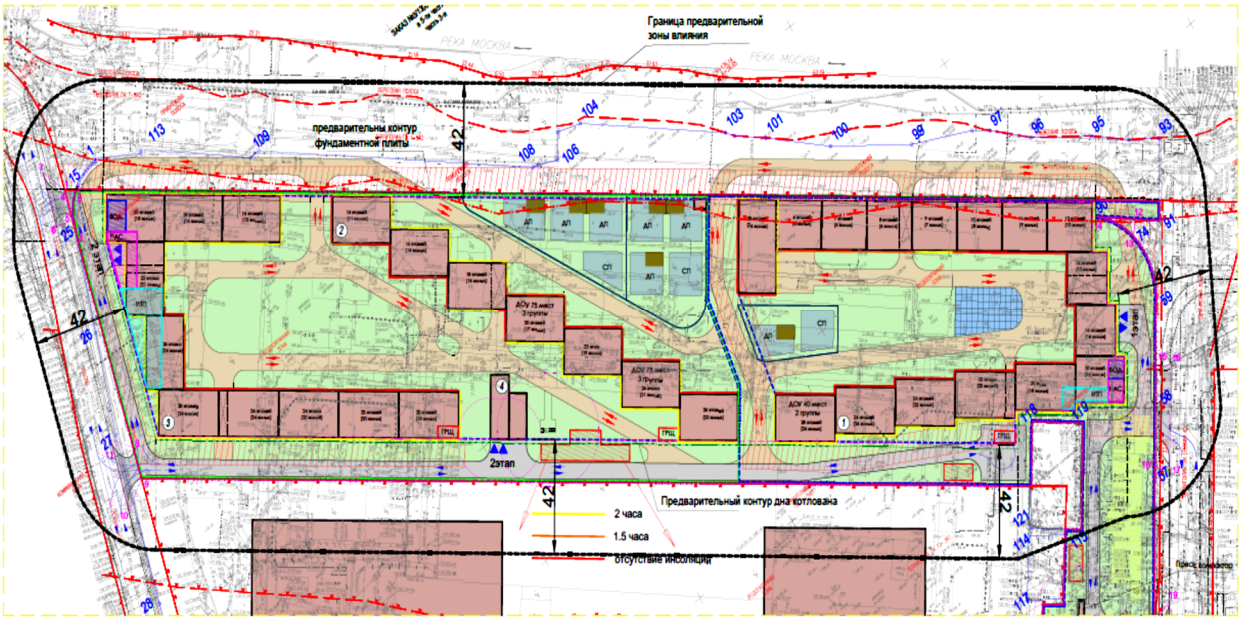


Рис. 2. План-схема с указанием предварительной зоны влияния строящегося объекта на окружающую застройку

Неотъемлемой частью данного этапа является фотофиксация факта выполнения работ, выявленных повреждений строительных конструкции и дефектов, их величины (прогиб, ширина раскрытия трещин, крен, осадка). В проводимых исследованиях на ряде объектов апробирован метод фотограмметрии с целью получения BIM-модели. Последовательность работ включала в себя фотосъемку камерой высокого разрешения, постобработку снимков и получение облака точек, сшивка облака точек и последующая разработка BIM-модели. Основными достоинствами данного метода является достаточная точность параметров обследуемых объектов в рамках конкретных задач, снижение трудоемкости работ [7–10].

Еще одним вариантом решения поставленной задачи, а именно, получение исходных данных для создания BIM-модели, является применение дрона для получения фотоснимков труднодоступных объектов или комплекса объектов. Последующие операции аналогичны, как и для наземной фотосъемки. Одним из недостатков данного подхода является жесткий регламент получения разрешения для полетов над г. Москвой, ограниченность разрешенных зон полета. Примеры облака точек полученного в результате съемки объекта дроном представлены на рис. 3.

а *б*

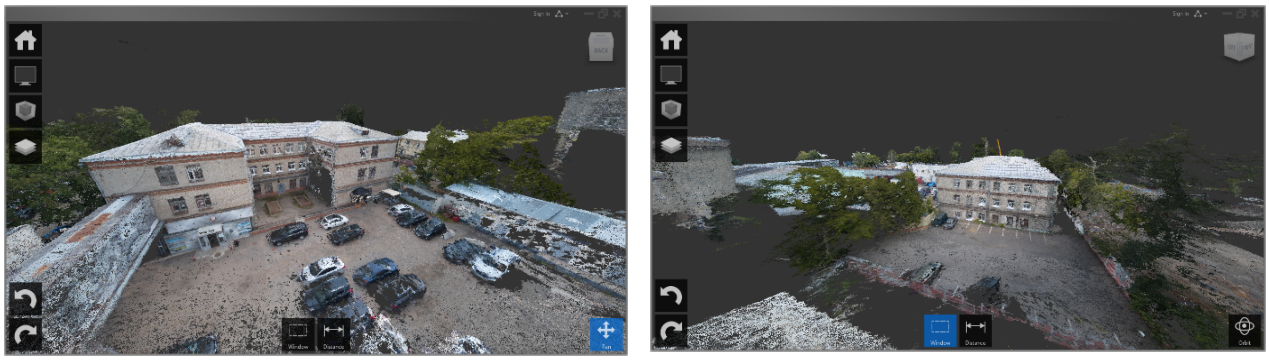


Рис. 3. Облако точек, полученное на основе съемки дроном:
а – вид 1; *б* – вид 2

4. Разработка расчетной модели объекта и анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) объекта.

Работы данного этапа базируются на полученных данных в ходе инженерно-технического обследования. В большинстве случаев на апробированных объектах выполнялось моделирование объекта обследования, анализ НДС и поверочные расчеты несущих конструкций. Расчет НДС выполнен с применением программного комплекса ЛИРА-САПР PRO. Фрагмент расчётной модели показан на рис. 4.

а *б*

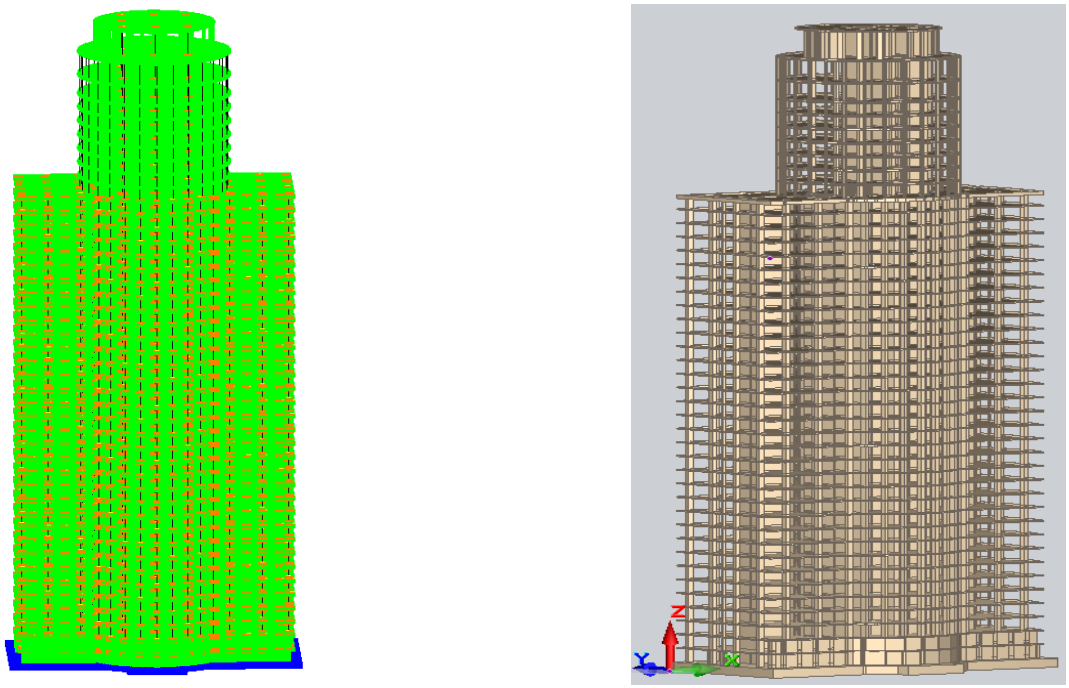


Рис. 4. Расчетная модель в программных комплексах:
а –ЛИРА-САПР PRO; *б* – САПФИР

5. Моделирование и исследование напряженно-деформированного состояния грунтового массива, в том числе анализ нескольких вариантов усиления грунтового массива с целью обеспечения сохранности и безопасной эксплуатации зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительно-монтажных работ.

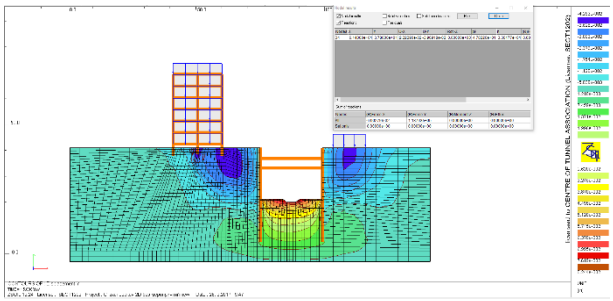
Дополнительно при оценке зоны влияния нового строительства/реконструкции производилось численное моделирование как в плоской постановке, так и в трехмерной. В качестве примера на рис. 5 представлены результаты расчета НДС методом конечных элементов (МКЭ) с помощью программного комплекса MIDAS GTS NX, апробированного при строительстве большого числа строительных объектов. Грунтовая среда моделировалась на основе нелинейной упруго-пластической модели Мора-Кулона (Mohr-Coulomb).

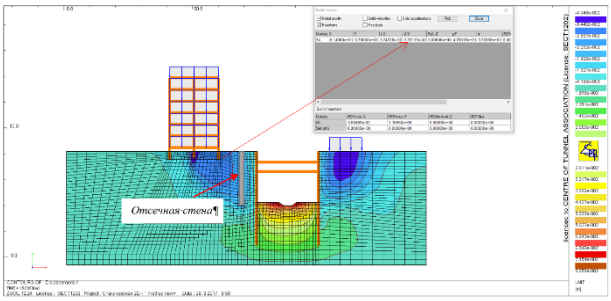
6. Формирование технического заключения, с выводами и рекомендациями по устранению выявленных дефектов и повреждений.

Финальной точкой становится техническое заключение, концентрирующее в себе результаты все проделанной работы. Важной частью заключения являются корректно и однозначно сформированные выводы о техническом состоянии всех несущих конструкций, в том числе фундаментов и основания, и здания в целом. Предложенная и апробированная методология проведения работ, используемый инструментарий и САПР (Autodesk Revit, ЛИРА-САПР PRO, ZSOIL, MIDAS GTS NX) дают возможность сделать это с высокой точностью.

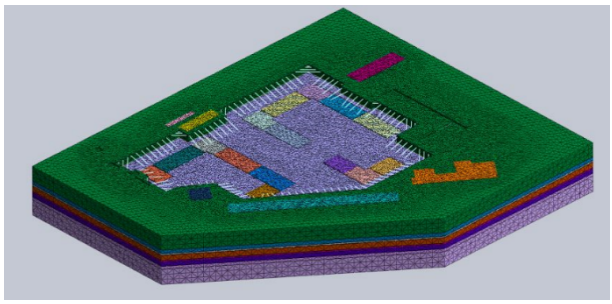
Выводы. В результате выполненных исследований предложена методология выполнения инженерно-технического обследования несущих конструкций зданий, сооружений и застройки, попадающей в зону влияния нового строительства/реконструкции, позволяющая сократить сроки работ, повысить их точность, снизить издержки, за счет применения технологичного оборудования. Главным преимуществом является получение BIM-модели объекта с высоким уровнем проработки и возможность ее дальнейшего применения на всех этапах жизненного цикла здания (эксплуатация, реконструкция, снос).

а *б*





в *г*



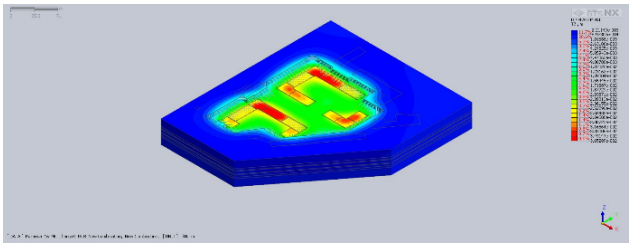


Рис. 5. Расчетная модель в программных комплексах: *а, б* – ZSOIL; *в, г* - MIDAS GTS NX

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Allen B. The Future of BIM is Not BIM and It's Coming Faster Than You Think. 2016. URL: evolvebim.com/single-post/2016/11/21/The-Future-of-BIM-is-Not-BIM-and-Its-Coming-Faster-Than-You-Think (дата обращения: 12.02.2019).
2. Бедов А.И., Знаменский В.В., Габитов А.И. Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. В 2-х частях. Ч.I. Обследование и оценка технического состояния оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. Под ред. А.И. Бедова: Учеб.пос. М: Изд-во АСВ, 2014. 704 с.
3. Малахова А.Н., Малахов Д.Ю. Оценка несущей способности строительных конструкций при обследовании технического состояния зданий: учебное пособие; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. Исследоват. Моск. гос. Строит. ун-т. 2-е изд. Москва: НИУ МГСУ, 2016. 96 с.
4. Дубинин Д.А., Набок А.А., Харин В.А., Лаврентьева Л.М. Преимущества использования и развития отечественного BIM: системы для трехмерного проектирования Renga // Инженерный вестник Дона. 2017. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4334.
5. Alderton M. 3 Keys That Will Unlock the Future of BIM in Buildings, 2017. URL: autodesk.com/redshift/future-of-bim (дата обращения: 12.02.2019).
6. Kuchinskas S. 3 Top Trends Show Green-Building Technology on the Rise. 2018. URL: autodesk.com/redshift/green-building-technology (дата обращения: 12.02.2019).
7. Усатая А. Информационные технологии строительного контроля. 2018. URL: blog.infars.ru/informacionnye-tehnologii-stroitelnogo-kontrolya (дата обращения: 12.02.2019).
8. Иванов М. О внедрении BIM технологий в регионах. 2018. URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20181 (дата обращения: 12.02.2019).
9. Mohd-Nor M.F.I., Grant M.P. Building information modelling (BIM) in the malaysian architecture industry. WSEAS Transactions on Environment and Development. 2014. 10. Pp. 264–273.
10. Papadonikolaki E., Vrijhoef R. and Wamelink H. The interdependences of BIM and supply chain partnering: empirical explorations // Architectural Engineering and Design Management. 2016. Vol. 12. №. 6. Pp. 476–494.

Информация об авторах
Экба Сергей Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства. E-mail: ekba.s.ig@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в феврале 2019 г.
© Экба С.И., 2019

[1,*]Ekba S.I.
[1]Moscow StateUniversity of Civil Engineering (National Research University)
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26
**E-mail: ekba.s.ig@gmail.com*

COMPREHENSIVE SURVEY FEATURES OF BEARING STRUCTURES WITHIN THE AREA OF NEW CONSTRUCTION

Abstract. *In this paper, the issue of comprehensive survey of bearing structures and buildings is considered using BIM-technologies (Building Information Modeling) and computer-aided design systems (CAD). The key tasks solved during the assessment of the technical condition of buildings within the area of new construction are highlighted. A systematic approach to assessing the technical condition of buildings and structures is proposed. This approach and tools used can improve the efficiency of buildings and structures survey and reduce subsequent operating costs. The analysis and design justification of the most effective options to prevent excessive precipitation of buildings and structures during the period of new construction in urban areas of dense development have been made. Recommendations on a comprehensive survey structures, including those falling into the area of new construction using the BIM model and the calculation model based on the finite element method, have been developed.*

Keywords: *comprehensive building survey, BIM model, finite element method, stress-strain state, calculation model, CAD.*

REFERENCES

1. Allen B. The Future of BIM is Not BIM and It's Coming Faster Than You Think. 2016. URL: evolvebim.com/single-post/2016/11/21/The-Future-of-BIM-is-Not-BIM-and-Its-Coming-Faster-Than-You-Think (дата обращения: 12.02.2019).
2. Bedov A.I., Znamensky V.V., Gabitov A.I. Evaluation of the technical condition, restoration and strengthening of the foundations and structures of buildings in use. In 2 parts. Part I. Inspection and technical condition assessment of foundations and structures of buildings in use. Ed. A.I. Bedova: Tut. M: Publishing house DIA, 2014. 704 p.
3. Malakhova A.N., Malakhov D.Yu. Assessment of the bearing capacity of building structures in the inspection of the technical condition of buildings: tutorial; M-Education and Science Rus. Federation, Nat. Research. Mos. State civ un-ty. 2nd ed. Moscow: NRU MSUCI, 2016. 96 p.
4. Dubinin D.A., Nabok A.A., Kharin V.A., Lavrentieva L.M. Advantages of the use and development of domestic BIM: systems for three-dimensional design of Renga. Engineering Bulletin of the Don, 2017, no. 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4334.
5. Alderton M. 3 Keys That Will Unlock the Future of BIM in Buildings. 2017. URL: autodesk.com/redshift/future-of-bim (дата обращения: 12.02.2019).
6. Kuchinskas S. 3 Top Trends Show Green-Building Technology on the Rise. 2018. URL: autodesk.com/redshift/green-building-technology (дата обращения: 12.02.2019).
7. Usata A. Information technology of building control. 2018. URL: blog.infars.ru/informacionnye-tehnologii-stroitelnogo-kontrolya (access date: 12.02.2019).
8. Ivanov M. On the introduction of BIM technology in the regions. 2018. URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20181 (access date: 12.02.2019).
9. Mohd-Nor M.F.I., Grant M.P. Building information modelling (BIM) in the malaysian architecture industry. WSEAS Transactions on Environment and Development, 2014, 10, pp. 264–273.
10. Papaonikolaki E., Vrijhoef R., Wamelink H. The interdependences of BIM and supply chain partnering: empirical explorations, Architectural Engineering and Design Management, 2016, vol. 12, no. 6, pp. 476–494.

Information about the authors
Ekba, Sergey I. PhD, Assistant professor. E-mail: ekba.s.ig@gmail.com. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

Received in February 2019

Для цитирования:
Экба С.И. Особенности комплексного обследования несущих конструкций зданий, попадающих в зону влияния нового строительства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 3. С. 28–34. DOI: 10.34031/article_5ca1f6304bd152.68288726

For citation:
Ekba S.I. Integrated inspection peculiarities of load-bearing structural elements of buildings in new construction influence zone. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 3, pp. 28–34. DOI: 10.34031/article_5ca1f6304bd152.68288726