

УДК 624.058.2:69:004

DOI 10.52928/2070-1683-2026-44-1-34-41

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ НАД АВТОМОБИЛЬНЫМ ПАРКИНГОМ СОВМЕСТНО С ВІМ-ТЕХНОЛОГИЯМИ

*Е.Н. САВИНА, д-р техн. наук, доц. Е.А. МОЙСЕЙЧИК,  
А.А. ЯКОВЛЕВ, А.В. КУЛАН*

*(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

*В условиях реконструкции и изменения функционального назначения зданий актуальной инженерной задачей является достоверная оценка фактической несущей способности железобетонных перекрытий. В статье представлен опыт интеграции лазерного и фотограмметрического сканирования с ВІМ-технологией при проведении натурных испытаний фрагмента монолитной железобетонной плиты перекрытия над подземным автомобильным паркингом. В рамках исследования выполнены натурные испытания перекрытия с поэтапным статическим нагружением. Для формирования геометрических исходных данных использованы беспилотный летательный аппарат, мобильные телефоны, наземный лазерный сканер. По результатам сканирования получены облака точек, на основе которых сформирована информационная модель объекта с учетом фактического положения несущих конструкций и выявленных геометрических отклонений от проектных значений. С использованием уточненной расчетной схемы выполнен расчет напряженно-деформированного состояния железобетонного перекрытия и определена его фактическая несущая способность с учетом проектных и эксплуатационных нагрузок. В ходе строительно-монтажных работ потребовалась корректировка проектных решений, связанная с изменением схемы и величины приложения нагрузок, что было оперативно учтено за счет применения цифровой информационной модели. Показано, что использование сканирования и ВІМ-технологий при натурных испытаниях позволяет повысить адекватность расчетных моделей, уменьшить сроки принятия решений и обеспечить сокращение времени ввода объекта в эксплуатацию. Полученные результаты подтверждают перспективность применения цифровых методов при обследовании, испытаниях и эксплуатации железобетонных конструкций.*

**Ключевые слова:** *ВІМ-технологии, цифровая модель объекта, виртуальная реальность, расчётная схема, железобетонная плита перекрытия, сканирование объекта, БПЛА, облако точек, напряженно-деформированное состояние.*

**Введение.** В условиях высокой плотности застройки крупных городов и ограниченности свободных территорий для нового строительства все более широкое распространение получает освоение подземного пространства, в том числе для размещения автомобильных паркингов [1; 2]. При эксплуатации таких объектов нередко возникает необходимость изменения функционального назначения помещений, расположенных над подземными уровнями. Так, офисные помещения первых этажей могут перепрофилироваться под торговые, складские или общественные зоны, что приводит к увеличению эксплуатационных нагрузок и изменению схем их приложения к конструкциям перекрытий [3; 4]. Изменение функционального назначения помещений требует подтверждения фактической несущей способности конструкций, так как проектные решения, принятые на стадии разработки, могут не соответствовать новым условиям эксплуатации. В подобных ситуациях возникает необходимость выполнения технического обследования, расчетного обоснования, а в ряде случаев – натурных испытаний железобетонных конструкций для оценки их напряженно-деформированного состояния и эксплуатационной надежности [5].

Традиционные методы обследования и расчетного анализа, основанные на проектной документации и выборочных измерениях, не всегда позволяют с достаточной точностью учитывать фактическое геометрическое положение конструктивных элементов, наличие отклонений от проектных отметок и взаимное расположение несущих элементов. Указанные факторы могут оказывать существенное влияние на расчетную схему и результаты определения напряжений и деформаций в железобетонных конструкциях [6; 7].

В последние годы активно развиваются технологии лазерного и фотограмметрического сканирования, позволяющие получать пространственные данные об объектах строительства в виде облаков точек. Интеграция результатов сканирования с ВІМ-технологиями создает предпосылки для формирования цифровых информационных моделей, адекватно отражающих фактическое состояние сооружений и позволяющих уточнять расчетные схемы при выполнении расчетов [8–10].

Несмотря на наличие отдельных исследований в данной области [11–18], вопросы практического применения облаков точек при проведении натурных испытаний несущих железобетонных конструкций остаются формальными, особенно в части их использования для корректировки расчетной схемы.

**Основная часть.** Целью настоящего исследования является обоснование возможности применения лазерного и фотограмметрического сканирования в составе ВІМ-технологий для повышения достоверности результатов натурных испытаний железобетонного перекрытия и уточнения его фактической несущей способности на примере подземного автомобильного паркинга.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

– выполнен сбор пространственных геометрических данных фрагмента перекрытия с применением различных средств сканирования;

- сформирована цифровая информационная модель объекта на основе облака точек;
- уточнена расчетная схема железобетонного перекрытия с учетом фактического положения несущих элементов;
- проведены натурные испытания с поэтапным статическим нагружением;
- выполнена оценка напряженно-деформированного состояния конструкций при изменении схемы и величины эксплуатационных нагрузок.

Исследования выполнены на фрагменте железобетонного перекрытия здания многофункционального комплекса с подземным паркингом, расположенного в г. Минске. Здание шестиэтажное, в плане имеет прямоугольную форму. Конструктивная схема здания – пространственная, многоярусная, с монолитным железобетонным каркасом и безбалочными плитами перекрытий.

Подземный уровень используется в качестве автомобильного паркинга. Перекрытие над паркингом одновременно выполняет функции несущей конструкции и основания для размещения помещений общественного и торгового назначения, расположенных на отметке 0.000. Рельеф местности по периметру характеризуется значительными перепадами высот, вблизи сооружения организовано движение автотранспортных средств, что обуславливает дополнительные эксплуатационные воздействия.

Объектом натурных испытаний являлся фрагмент монолитной железобетонной плиты перекрытия, расположенный в осях 4–5, Б–В. Геометрические размеры фрагмента, схема опирания и армирование соответствуют проектной документации, принятой на стадии строительства. Перекрытие относится к категории безбалочных плит, работающих в условиях плоского напряженно-деформированного состояния с передачей нагрузки на колонны и вертикальные несущие элементы.

В процессе эксплуатации здания возникла необходимость изменения функционального назначения помещений, расположенных над исследуемым перекрытием, связанная с размещением торгового оборудования, складированием материалов и зон массового пребывания людей. Указанные изменения привели к увеличению эксплуатационных нагрузок и изменению схемы их приложения, что потребовало подтверждения фактической несущей способности перекрытия и оценки его напряженно-деформированного состояния.

На основании данных о предполагаемом размещении оборудования, поддонов для хранения продукции и возможных зонах концентрации нагрузок была разработана программа натурных испытаний, предусматривающая поэтапное статическое нагружение исследуемого фрагмента перекрытия и контроль его деформационных характеристик.

Методика исследования включала комплекс последовательных этапов, направленных на получение достоверных геометрических и расчетных характеристик железобетонного перекрытия и оценку его фактического напряженно-деформированного состояния (рисунок 1).

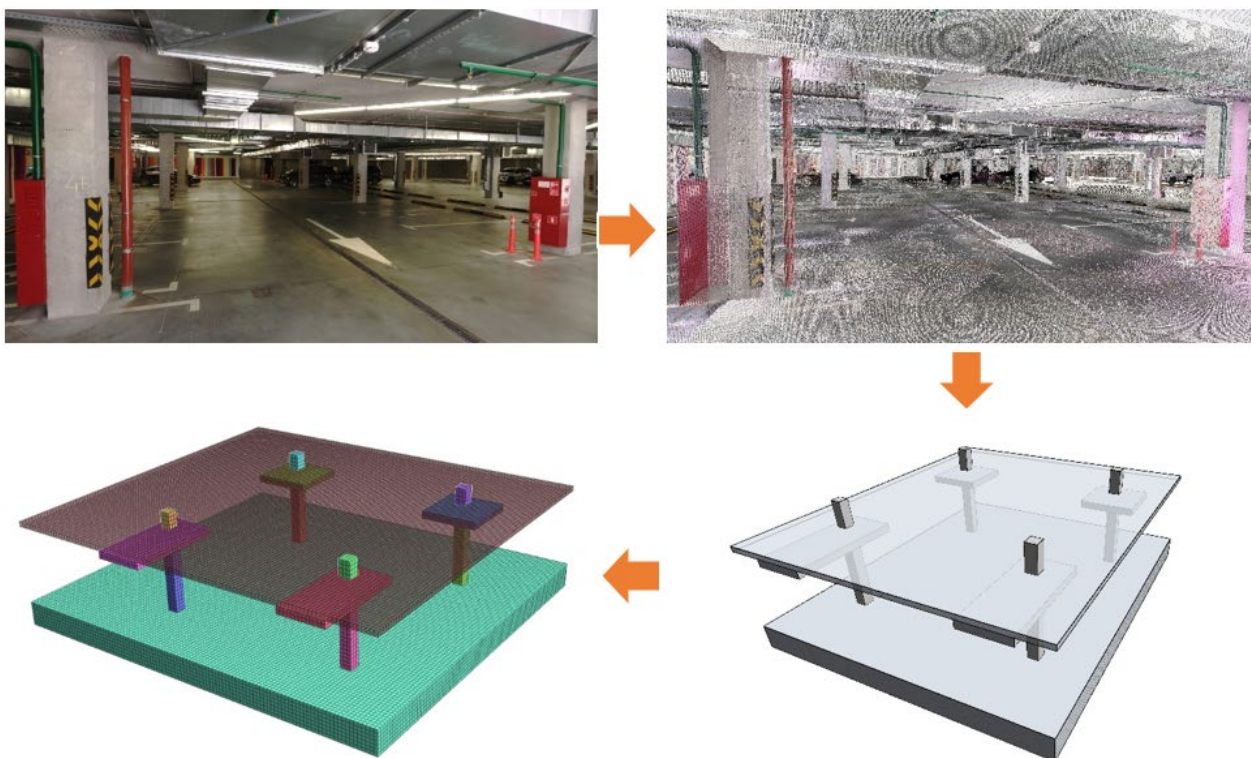


Рисунок 1. – Схема последовательности выполнения работ

На первом этапе выполнен визуальный осмотр несущих конструкций перекрытия с целью выявления дефектов, повреждений и видимых отклонений от проектного положения.

На втором этапе выполнен сбор пространственных геометрических данных объекта с применением лазерного и фотограмметрического сканирования. Сканирование конструкций осуществлялось с использованием беспилотного летательного аппарата (DJI Mavic Pro), мобильных телефонов (Samsung Galaxy S10, Apple iPhone 15 Pro Max) и наземного лазерного сканера (FARO FOCUS). В результате измерений получены облака точек, отражающие фактическое положение конструктивных элементов исследуемого фрагмента перекрытия и смежных конструкций (рисунок 2).



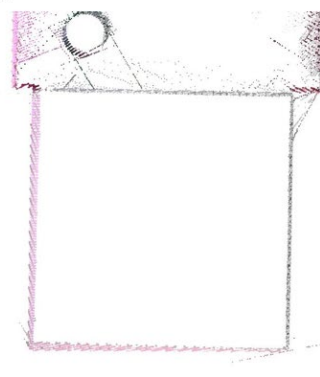
Шумы



Недостаточная плотность облака точек



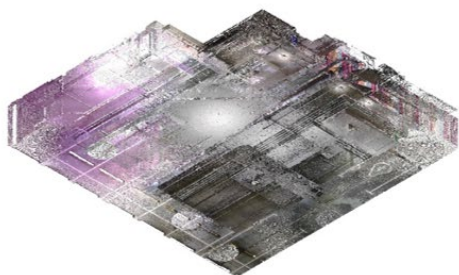
Неоднородность облака точек



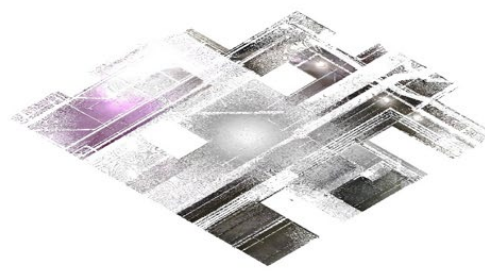
Краевой эффект

Рисунок 2. – Дефекты облака точек

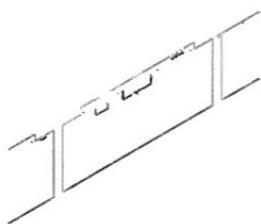
На третьем этапе выполнена обработка полученных облаков точек, включая фильтрацию шумов, удаление объектов, не относящихся к конструкциям здания, и устранение дефектов, связанных с наложением данных и неоднородностью плотности точек. Очистка и предварительная обработка выполнялись с помощью специализированного программного обеспечения. Подготовленные данные использованы для формирования цифровой информационной модели объекта (рисунок 3).



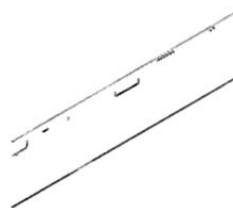
Необработанное облако точек



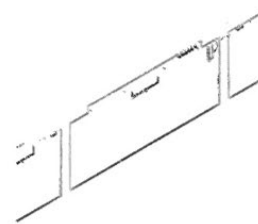
Обработанное облако точек



По оси 4



В середине пролета



По оси 5

Рисунок 3. – Обработка исходных данных плиты перекрытия над паркингом

На четвертом этапе на основе цифровой информационной модели выполнено уточнение расчетной схемы железобетонного перекрытия. При этом учитывались выявленные геометрические отклонения фактического положения несущих элементов от проектных значений, что позволило повысить адекватность расчетной модели и достоверность результатов определения напряженно-деформированного состояния.

Натурные испытания перекрытия проводились методом статического поэтапного нагружения. Нагрузка прикладывалась ступенчато с шагом 10 кН с использованием поддонов с керамической плиткой, масса которых определялась по транспортным накладным. Контроль вертикальных перемещений осуществлялся с применением прогибомеров Максимова типа ПМ, установленных в характерных точках исследуемого фрагмента перекрытия в соответствии с программой испытаний. Всего было установлено пять измерительных приборов.

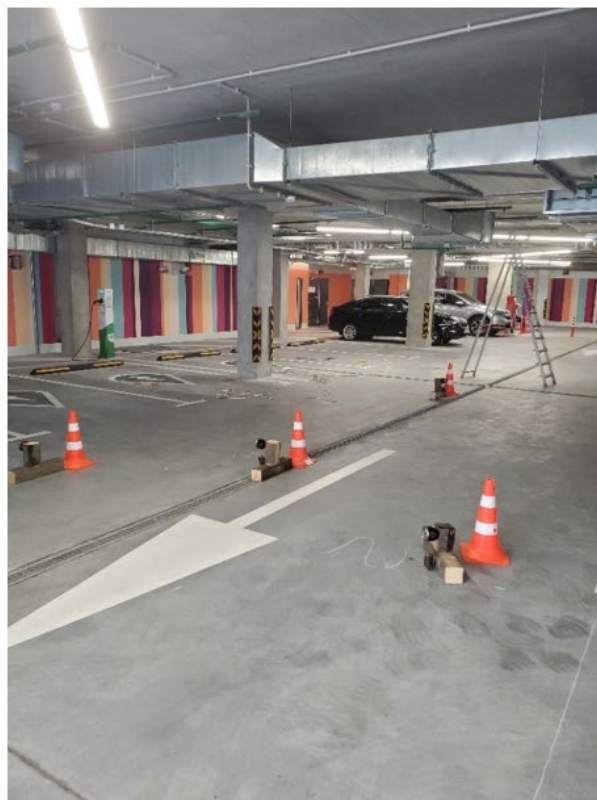
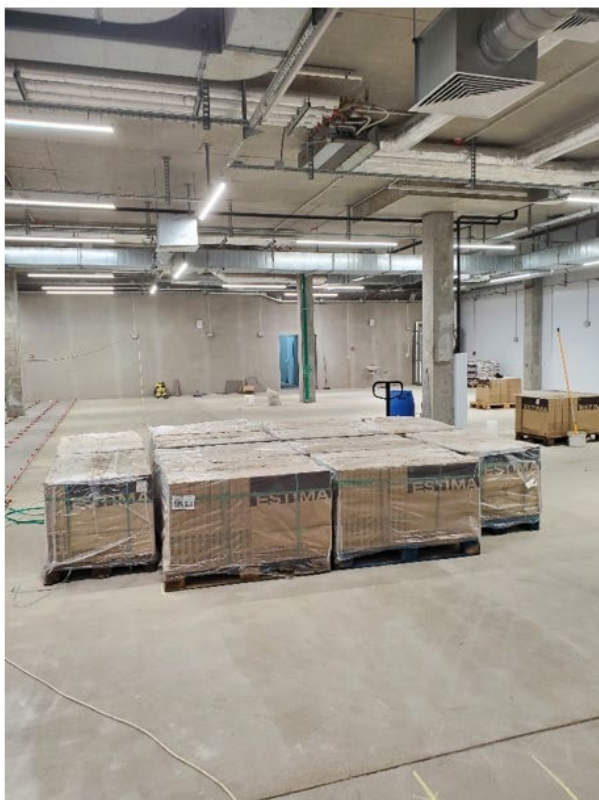


Рисунок 4. – Вид нагруженной железобетонной плиты перекрытия подземного паркинга



Рисунок 5. – Общий вид облака точек и цифровой модели объекта с использованием BIM-технологии

После каждого этапа нагружения фиксировались значения перемещений, которые заносились в рабочие таблицы и использовались для анализа напряженно-деформированного состояния конструкций. Полученные экспериментальные данные сопоставлялись с результатами расчетов, выполненных на основе уточненной расчетной схемы, что позволило произвести верификацию цифровой информационной модели.

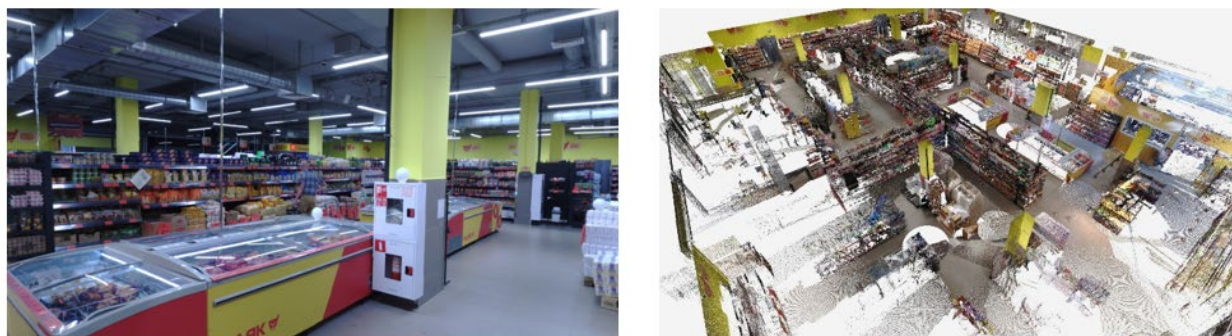


Рисунок 6. – Общий вид объекта после ввода в эксплуатацию

В ходе строительно-монтажных работ, связанных с размещением технологического оборудования, возникла необходимость корректировки проектных решений, что привело к изменению величины и схемы приложения нагрузок. С использованием цифровой информационной модели и уточненной расчетной схемы был оперативно выполнен перерасчет напряженно-деформированного состояния перекрытия и проведена оценка его эксплуатационной надежности (таблица 1).

После завершения работ выполнено контрольное сканирование объекта, что позволило оценить соответствие фактического состояния конструкций принятым расчетным решениям и использовать полученные данные для контроля эксплуатации перекрытия.

Таблица 1. – Результаты исследования технического состояния плиты перекрытия

| Описание                  | Результаты исследования |                    |  |
|---------------------------|-------------------------|--------------------|--|
|                           | техническое задание     | натурные испытания | фактически смонтированное оборудование |
| 1                         | 2                       | 3                  | 4                                      |
| Общий вид расчетной схемы |                         |                    |  |
| Напряжения, МПа           |                         |                    |  |
| Перемещения, мм           |                         |                    |  |

В процессе экспериментальных исследований выполнены натурные испытания фрагмента монолитной железобетонной плиты перекрытия над подземным автомобильным паркингом в соответствии с программой испытаний. Опыты проводились с поэтапным статическим нагружением, что позволило проследить изменение напряженно-деформированного состояния конструкций при последовательном увеличении нагрузки.

На основе данных лазерного и фотограмметрического сканирования сформирована цифровая информационная модель объекта, отражающая фактическое геометрическое положение несущих элементов перекрытия. Анализ полученных облаков точек позволил выявить локальные геометрические отклонения от проектного положения,

обусловленные технологическими особенностями выполнения строительно-монтажных работ. Указанные отклонения не носили системного характера, однако их учет при формировании расчетной схемы оказал влияние на распределение усилий и величины расчетных деформаций.

В ходе испытаний контроль вертикальных перемещений осуществлялся в пяти характерных точках перекрытия. Максимальная экспериментально зафиксированная величина прогиба составила 2,6 мм, что не превышает предельно допустимых значений. Полученные значения прогибов имели плавный характер изменения по мере увеличения нагрузки и не сопровождались резкими скачками, что свидетельствует об отсутствии признаков потери несущей способности или развития предельных состояний.

Расчет напряженно-деформированного состояния, выполненный на основе уточненной расчетной схемы, показал, что возникающие в железобетонной плите напряжения не превышают предельно допустимых значений при действии расчетных и эксплуатационных нагрузок. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных подтвердило адекватность принятой расчетной схемы и целесообразность использования цифровой информационной модели, сформированной на основе облаков точек, для уточнения расчетных параметров конструкций.

Особое значение в рамках исследования имела возможность оперативной корректировки расчетной схемы в связи с изменением фактических условий эксплуатации. В процессе строительно-монтажных работ была выполнена корректировка расположения технологического оборудования, что привело к изменению величины и схемы приложения нагрузок на перекрытие. Использование цифровой информационной модели позволило в кратчайшие сроки выполнить перерасчет напряженно-деформированного состояния и оценить влияние внесенных изменений на эксплуатационную надежность конструкции.

Контрольное сканирование после завершения строительно-монтажных работ и ввода объекта в эксплуатацию позволило уточнить фактическое положение элементов и сопоставить его с расчетными данными. Анализ полученных данных показал, что коэффициент использования железобетонной плиты перекрытия не превышает предельно допустимых значений, а конструкция обеспечивает восприятие эксплуатационных нагрузок без превышения ограничений по деформациям и напряжениям.

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют о том, что интеграция сканирования и BIM-технологий при проведении натурных испытаний позволяет повысить достоверность оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций. Формирование цифровой информационной модели на основе облака точек обеспечивает учет фактических геометрических параметров сооружения, что особенно важно при корректировке проектных решений.

Дополнительно установлено, что применение цифровых методов сбора и обработки данных способствует сокращению сроков принятия решений. В рассматриваемом случае использование цифровой информационной модели и уточненной расчетной схемы позволило сократить срок ввода объекта в эксплуатацию на период до двух месяцев и снизить текущие затраты.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Удостоверение оператора:** гражданских БПЛА – СО №0503083 от 12 апреля 2024 года.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Редевелопмент промышленных территорий / А.А. Лапидус, Д.В. Топчий, В.Е. Ефремова и др. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2019. – Т. 17, № 4. – С. 56–61.
2. Малков И.Г., Руденкова И.В. Предпосылки, целесообразность и особенности перепрофилирования зданий // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2021. – № 16. – С. 86–93.
3. Дрозд Я.И., Пастушков Г.П. Предварительно напряженные железобетонные конструкции. – Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 208 с.
4. Ботяновский А.А., Пастушков В.Г. Применение BIM-технологий и новейшего оборудования при исследовании фактического технического состояния мостового сооружения // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2015. – № 1. – С. 342–345.
5. Гинзбург А.В. BIM-технологии на протяжении жизненного цикла строительного объекта // Информационные ресурсы России. – 2016. – № 5(153). – С. 28–31.
6. Деменев А.В., Артамонов А.С. Информационное моделирование при эксплуатации зданий и сооружений // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Т. 7, № 3. – С. 21–29.
7. Красковский Д. Преимущества BIM-технологии в единстве источника информации об объекте // САПР и графика. – 2015. – № 12(230). – С. 62–63.
8. Савина Е.Н., Мойсейчик Е.А., Яковлев А.А. Социальные и технические аспекты применения БПЛА и облака точек на примере транспортного сооружения при создании BIM-модели // Автомобильные дороги и мосты. – 2025. – № 1(35). – С. 48–57.
9. Экспериментальное исследование применения BIM-технологий, технологий дополненной и виртуальной реальности для транспортных сооружений / Е.Н. Савина, Е.А. Мойсейчик, А.А. Яковлев и др. // Автомобильные дороги и мосты. – 2025. – № 2(36). – С. 32–41.

10. Морина Е.А., Макаров А.И. BIM-технологии в мостовом проектировании // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2017. – № 6(57). – С. 30–46.
11. Мустафин Н.Ш., Барышников А.А., Спрыжков А.М. Анализ возможности внедрения в строительство технологии информационного моделирования зданий программами вида BIM // Региональное развитие. – 2015. – № 8. – С. 9–10.
12. Зобов П.Г., Дектярев А.В., Морозов В.Н. Современные методы 3D-сканирования при размерном анализе судовых моделей с учетом их аддитивного изготовления // Известия КГТУ. – 2019. – № 53. – С. 151–161.
13. Миненко М.В. Способы восстановления 3D сцены по двумерным изображениям // Молодежная школа-семинар по проблемам управления в технических системах имени А.А. Вавилова. – 2019. – Т. 1. – С. 47–50.
14. Полуэктов В.В. Российский опыт применения BIM в архитектуре и градостроительстве // Современные технологии и методики в архитектурно-художественном образовании. – 2016. – С. 179–181.
15. A review of the use of terrestrial laser scanning application for change detection and deformation monitoring of structures / W. Mukupa, G.W. Roberts, C.M. Hancock et al. // Survey Review. – 2017. – Vol. 49, Iss. 353. – P. 99–116. DOI: 10.1080/00396265.2015.1133039.
16. 3DCapture: 3D Reconstruction for a Smartphone / O. Muratov, D. Sidorov, A. Zaitsev et al. // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. – 2016. – P. 75–82.
17. Songa S., Yanga J., Kimb N. Development of a BIM-based structural framework optimization and simulation system for building construction // Computers in Industry. – 2012. – Vol. 63. – С. 895–912.
18. Poliarnyi N. Out-of-core surface reconstruction via global TGV minimization // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. – 2021. – P. 5641–5650.

## REFERENCES

1. Lapidus, A.A, Topchii, D.V., Efremova, V.E., & Kuzin, E.A. (2019). Redevelopment of industrial areas. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova [Bulletin of the Moscow State Technical University named after G. I. Nosov]*, 17(4), 56–61. (In Russ.).
2. Malkov, I.G., & Rudenkova, I.V. (2021). Prerequisites, expediency and features of redesigning buildings. *Vestnik PGU [Bulletin of Polotsk State University]*, F, (16), 86–93. (In Russ., abstr. in Engl.).
3. Drozd, Ya.I., & Pastushkov, G.P. (1984). *Prestressed reinforced concrete structures*. Minsk, Higher School. (In Russ.).
4. Botyanovsky, A.A., & Pastushkov, V.G. (2015). Application of BIM technologies and the latest equipment in the study of the actual technical condition of a bridge structure. *Modernizacia i nauchnye issledovania v transportnom komplekse [Modernization and scientific research in the transport complex]*, 1, 342–345. (In Russ.).
5. Ginzburg, A.V. (2016). BIM technologies throughout the life cycle of a construction project. *Informacionnye resursy Rossii [Information resources of Russia]*, 5(153), 28–31. (In Russ.).
6. Demenev, A.V., & Artamonov, A.S. (2015). Information modeling in the operation of buildings and structures. *Internet-zhurnal Naukovedenie [Internet journal "Science Studies"]*, 7(3), 21–29. (In Russ.).
7. Kraskovsky, D. (2015). Advantages of BIM technology in the unity of the source of information about the object. *SAPR i grafika [CAD and graphics]*, 12(230), 62–63. (In Russ.).
8. Savina, E.N., Moiseichik, E.A., & Yakovlev, A.A. (2025). Social and technical aspects of using UAVs and point clouds on the example of a transport facility when creating a BIM model. *Avtomobilnye dorogi i mosty [Highways and bridges]*, 1(35), 48–57 (In Russ.).
9. Savina, E.N., Moiseichik, E.A., Yakovlev, A.A., & Kulan, A.V. (2025). Experimental study of the application of BIM technologies, augmented and virtual reality technologies for transport facilities. *Avtomobilnye dorogi i mosty [Highways and bridges]*, 2(36), 32–41. (In Russ.).
10. Morina, E.A., & Makarov, A.I. (2017). BIM technologies in bridge design. *Journal Stroitel'stvo unikalnyh zdaniy i sooruzhenii [Construction of unique buildings and structures]*, 6(57), 30–46. (In Russ.).
11. Mustafin, N.Sh., Baryshnikov, A.A., & Spryzhkov, A.M. (2015). Analysis of the possibility of introducing building information modeling technology into construction using BIM programs *Regional'noe razvitiye [Regional development]*, 8, 9–10. (In Russ.).
12. Zobov, P.G., Dektyarev, A.V., & Morozov, V.N. (2019). Modern methods of 3D scanning in dimensional analysis of ship models taking into account their additive manufacturing. *Izvestiya KGTU [Bulletin of KSTU]*, 53, 151–161. (In Russ.).
13. Minenko, M.V. (2019). Methods for restoring a 3D scene from two-dimensional images. *Molodezhnaya shkola-seminar po problemam upravleniya v technicheskikh sistemach imeni A.A. Vavilova [Youth School-Seminar on Control Problems in Technical Systems named after A.A. Vavilov]*, 1, 47–50. (In Russ.).
14. Poluektov, V.V. (2016). Russian experience of using BIM in architecture and urban planning *Sovremennye tehnologii i metodiki v arhitekturno-hudozhestvennom obrazovanii [Modern technologies and methods in architectural and artistic education]*, 179–181. (In Russ.).
15. Mukupa, W., Roberts, G.W., Hancock, C.M., & Al-Manasir, K. (2017). A review of the use of terrestrial laser scanning application for change detection and deformation monitoring of structures. *Survey Review*, 49(353), 99–116. DOI: 10.1080/00396265.2015.1133039.
16. Muratov, O., Sidorov, D., Zaitsev, A., & Smirnov, V. (2016). 3DCapture: 3D reconstruction for a smartphone. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* (75–82).
17. Songa, S., Yanga, J., & Kimb, N. (2012). Development of a BIM-based structural framework optimization and simulation system for building construction. *Computers in Industry*, 63, 895–912.
18. Poliarnyi, N. (2021). Out-of-core surface reconstruction via global TGV minimization. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision* (5641–5650).

Поступила 24.02.2026

**THE EXPERIENCE OF USING LASER SCANNING IN CONDUCTING FIELD TESTS OF REINFORCED CONCRETE FLOOR SLABS ABOVE A PARKING LOT IN CONJUNCTION WITH BIM TECHNOLOGIES**

**E. SAVINA, E. MOISEITCHIK, A. YAKOVLEV, A. KULAN**  
(Belarusian National Technical University, Minsk)

*In the context of reconstruction and changes in the functional purpose of buildings, an urgent engineering task is to reliably assess the actual bearing capacity of reinforced concrete floors. The article presents the experience of integrating laser and photogrammetric scanning with BIM technologies during field testing of a fragment of a monolithic reinforced concrete floor slab above an underground parking lot. As part of the study, full-scale tests of the overlap with phased static loading were performed. An unmanned aerial vehicle, mobile phones, and a ground-based laser scanner were used to generate geometric source data. Based on the scan results, clouds of points were obtained, on the basis of which an information model of the object was formed, taking into account the actual position of the supporting structures and the identified geometric deviations from the design values. Using an updated calculation scheme, the stress-strain state of the reinforced concrete floor was calculated and its actual bearing capacity was determined, taking into account design and operational loads. During the construction and installation work, it was necessary to adjust design solutions related to changes in the scheme and magnitude of the application of loads, which was promptly taken into account through the use of a digital information model. It is shown that the use of scanning and BIM technologies in field tests makes it possible to increase the adequacy of computational models, shorten decision-making time and ensure a reduction in the time of commissioning the facility. The results obtained confirm the prospects of using digital methods in the inspection, testing and operation of reinforced concrete structures.*

**Keywords:** BIM technologies, digital object model, virtual reality, calculation scheme, reinforced concrete floor slab, object scanning, UAV, point cloud, stress-strain state.