



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 69.059.22

Мониторинг аварийности фасадов зданий Санкт-Петербурга с применением технологий 3D-сканирования

П.Г. Гасанов¹, Ю.В. Смирнов¹, А.Н. Чусов², Н.А. Политаева²

Первиз Гасан оглы Гасанов, Юрий Владимирович Смирнов

¹Общество с ограниченной ответственностью "УМТранс", Санкт-Петербург, Российская Федерация
m.gasanov2008@mail.ru, umtrans2008@mail.ru

Александр Николаевич Чусов, Наталья Анатольевна Политаева

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация
chusov17@mail.ru, politaevana1971@gmail.com



В историческом центре Санкт-Петербурга остро стоит проблема разрушения фасадов. Их сохранение и реставрация, в связи с уникальностью и культурной ценностью зданий, являются приоритетными задачами для городских властей и специалистов по строительству. Предлагается использовать 3D-сканирование для получения точных данных о состоянии фасадов. Этот метод с высокой степенью детализации позволяет создать трехмерную модель здания, сокращая время и затраты на мониторинг. Для оценки эффективности предлагаемого подхода проведено экспериментальное исследование на примере одного из исторических и культурных зданий Санкт-Петербурга – Доходного дома А.Л. Лишневского. Результаты исследования показали, что использование технологий 3D-сканирования обеспечивает оперативный контроль степени повреждения и аварийности фасадов и может способствовать сохранению и реставрации зданий, расположенных в историческом центре северной столицы.

Ключевые слова: исторические здания, фасады зданий, мониторинг в Санкт-Петербурге, 3D-сканирование

Для цитирования:

Гасанов П.Г., Смирнов Ю.В., Чусов А.Н., Политаева Н.А. Мониторинг аварийности фасадов зданий с применением технологий 3D-сканирования (на примере Санкт-Петербурга) // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 3. С. 84-94.
URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n3_2023



SCIENTIFIC ARTICLE

Monitoring of the facades of buildings accident rate in St. Petersburg using 3D scanning technologies

P.G. Gasanov¹, Yu.V. Smirnov¹, A.N. Chusov², N.A. Politaeva²

Perviz G. Gasanov, Yuriy V. Smirnov

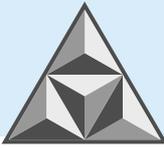
¹Limited Liability Company «UMTrans», St. Petersburg, Russia

m.gasanov2008@mail.ru, umtrans2008@mail.ru

Aleksandr N. Chusov, Natalia A. Politaeva

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

chusov17@mail.ru, politaevana1971@gmail.com



The problem of facade destruction is particularly acute in the historical center of St. Petersburg. Due to the uniqueness and cultural value of buildings in this area, the preservation and restoration of facades are priorities for city authorities and experts. In their work the authors suggest using 3D scanning to obtain more accurate data on the condition of facades. This method provides performing a detailed three-dimensional model of a building. It significantly reduces the time and cost of monitoring, and allows one's to assess the facades state. To evaluate the effectiveness of the proposed approach, we conducted the experimental research on the case study of one of the historical and cultural buildings of St. Petersburg – the Apartment House of A.L. Lishnevsky. The results of the study demonstrated that 3D-scanning technologies provide operational control of the damage and accident rate of facades. Also they can facilitate the conservation and restoration of buildings located in the historical centre of St. Petersburg.

Key words: historical buildings, building facades, monitoring in St. Petersburg, 3D-scanning

For citation:

Gasanov, P.G., Smirnov, Yu.V., Chusov, A.N. & Politaeva, N.A. (2023) Monitoring of the facades of buildings accident rate in St. Peterburg using 3D scanning technologies, *Smart Composite in Construction*, 4(3), pp. 84-94 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n3_2023



ВВЕДЕНИЕ

В Санкт-Петербурге острой проблемой остается разрушение зданий исторической застройки, многие из которых являются памятниками архитектуры [1]. Культурная и историческая ценность таких зданий является предметом особого внимания при поиске решений по реконструкции и реставрации, отвечающих как архитектурным, так и структурным требованиям [2]. Сохранение культурного наследия является приоритетом для развитых стран во всем мире [3]. Это связано, в том числе, с травмированием и гибелью людей вследствие обрушения штукатурного слоя.

На сегодняшний день существует целый спектр методов выявления разрушающихся слоев с целью оперативного устранения возникающих угроз [4-6]. Одним из таких методов является 3D-лазерный мониторинг технического состояния фасадов. 3D-моделирование используется как визуальный метод представления архитектурно-дизайнерских проектов. Исторические реконструкции с привлечением новейших информационных технологий способствуют решению задач изучения, сохранения и реставрации объектов культурного наследия [7].

Данный метод получил одобрение на заседании Научно-технического совета в сфере жилищно-коммунального хозяйства Санкт-Петербурга (Протокол № 54 от 18.08.2016 г.) [8] и Комитета по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры (КГИОП) Санкт-Петербурга (письмо от 21.02.2017 № 2-22387-1). Однако в городе он до сих пор не внедрен, тогда как негативные тенденции, связанные с разрушением объектов застройки, нарастают.

Как указывают авторы коллективной монографии «Современные методы архитектурного обследования городской среды» [9], «в настоящее время основными причинами, препятствующими широкому внедрению современных информационных технологий в практику обследования исторической архитектуры, является отсутствие у государственных и частных заказчиков понимания возможностей, а у большинства исполнителей-проектировщиков – соответствующей квалификации в работе с оборудованием и навыков обработки полученных данных».

Это является одной из серьезных проблем не только в масштабе Петербурга, но и всей страны. Состояние фасадов зданий и сооружений, построенных и несколько десятилетий назад, и относительно недавно, оставляет желать лучшего. Площадь аварийного жилья продолжает расти [10, 11], что усугубляется появлением человеческих жертв. При этом существующая система мониторинга не отвечает современным требованиям. Регламентирующие документы, обязывающие осуществлять постоянный мониторинг аварийности, устарели и не отвечают современным методам контроля безопасности городской среды. Существующие организации, отвечающие за контроль и проведение контролируемых функций, в большинстве случаев только констатируют свершившийся факт аварии. Отсутствуют единый центр и регламент на инженерно-физические исследования, способные, соответственно, выдавать прогноз и фиксировать динамику разрушений и аварийности фасадов зданий и сооружений.

Необходимо отметить, что техническое состояние зданий, в целом, определяется работоспособностью отдельных конструктивных элементов каждого здания и связей между ними. Описание процесса изменения технического состояния зданий, ввиду большого числа конструктивных элементов, представляет значительные трудности [12].

Указанная общегородская проблема не может быть сведена к деятельности отдельных управляющих компаний на уровне Санкт-Петербурга. Необходимо построить четкую систему



взаимоотношений между управляющими компаниями, Жилищным комитетом, Жилищной инспекцией, Комитетом по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры и Фондом капитального ремонта. С этой целью может быть создан Центр инженерно-физических исследований. Регулярные исследования такого Центра легли бы в основу указаний к эксплуатационной деятельности управляющих компаний, выдаче объективного технического задания на проектирование фасадных ремонтных работ. Фонду капитального ремонта и КГиОП требуется основа «применения современных информационно-телекоммуникационных технологий, гибкого сочетания традиционных и новых методов сбора, обработки, анализа и обобщения информации для осуществления управления» [13] и обеспечения долгосрочного прогноза.

Это даст возможность урегулировать взаимоотношения управляющих компаний и Фонда капитального ремонта по передаче жилищного фонда в ответственность компаний на начальном этапе реформ ЖКХ.

Целью данной работы является оценка возможности создания единой базы таких объектов в Санкт-Петербурге, хранение ее и анализ для обеспечения комплексного и системного восстановления фасадов архитектурных объектов культурного и исторического значения.

Основные задачи исследования:

- проведение анализа литературных источников для установления причин, затрудняющих внедрение 3D-моделирования на территории Санкт-Петербурга;
- внесение предложений по созданию Центра инженерно-физических изысканий;
- апробация предложенного метода на одном из исторических и культурных зданий Санкт-Петербурга – Доходном доме А.Л. Лишневого.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D-СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ФАСАДА ЗДАНИЙ

По результатам краткого обзора литературы, представители ООО «УМТранс» предлагает создать Центр инженерно-физических изысканий, основными задачами которого будут являться мониторинг аварийности зданий и определение финансовых затрат на проведение работ с помощью 3D-сканирования. Основой для предложения по внедрению Центра являются Рекомендации по проектированию и монтажу фасадных систем нового строительства и реконструкции жилых и общественных зданий в Санкт-Петербурге (РМД 51-25-2015 Санкт-Петербург). В данных Рекомендациях 3D-лазерного сканирования фасадов был включен в перечень рекомендованных методов мониторинга технического состояния фасадов зданий.

Так, при участии специалистов ООО «УМТранс» организованы и проведены опытные работы по 3D-лазерному мониторингу и геофизическим изысканиям для Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения «Центр мониторинга и экспертизы цен». Результатом стало внесение этих работ в Сборник «Территориальные сметные нормы и территориальные единичные расценки на содержание объектов городского хозяйства Санкт-Петербурга».

Актуальность предложения обусловлена следующим:

- компания располагает необходимой технической базой и коллективом специалистов для внедрения новых методик мониторинга аварийности зданий, способна организовать как плановые работы, так и круглосуточный выезд дежурных бригад инженеров-геофизиков для исследований на аварийных объектах;
- возможность принять участие в разработке общегородской программы и мероприятий по проведению обследования фасадов зданий и сооружений Санкт-Петербурга.



Основная задача, решаемая при плановом внедрении предложенного Центра, связывается с предупреждением аварийных ситуаций путем мониторинга деформаций фасадов, а также осуществления изысканий и наблюдений.

Анализ изысканий и наблюдений проводится регулярно. В случае выявления деформаций и изменения геометрических параметров объекта, можно принять решение о необходимости использования дополнительных методов исследования для получения расширенной картины процессов и, как следствие, принятия своевременных мер по предотвращению происшествий или ремонта. Специалисты смогут приступить к непрерывным наблюдениям и, при необходимости, своевременно сообщить о чрезвычайной ситуации (обвал балконов, сильная деформация фасада и т.д.).

На основе имеющихся данных составляется рациональная смета ремонтных работ, позволяющая провести их качественно и в срок. Внедрение предлагаемого метода позволит получить полную и достоверную информацию о текущем состоянии объектов до и после выполнения капитального ремонта, что позволит принять своевременные меры в гарантийный период в случае возникновения каких-либо нарушений.

Для выполнения необходимых изысканий и наблюдений необходимо провести анализ объемов работ и составить график с учетом регламентированных периодов и сроков выезда специалистов. Необходим первичный выезд на каждый объект для создания обоснования (эталона) проведения последующих работ.

Отметим, что геометрический контроль, построенный на применении современных инструментов 3D-лазерного сканирования, есть наиболее информативный и быстрый способ получения данных с наименьшими затратами и сроками выполнения работ непосредственно на объекте. В свою очередь, это позволит уделить больше времени анализу полученных результатов и, как следствие, получить адекватную картину по объекту, а также оптимизировать количество выездов на данный объект. Если в результате анализа будут очевидны изменения и их степень опасности, потребуется увеличить и сконцентрировать внимание на объекте.

Как уже отмечалось, необходимо создание единой информационной базы данных, которая позволит сохранять архивы наблюдений по каждому объекту и иметь оперативный доступ к необходимой информации. Такая база данных включает результаты изысканий лазерного сканирования, на основе которых формируются 3D-модели архитектурных элементов фасадов. При выезде специалистов на исторические значимые объекты со сложными и уникальными фасадными элементами необходимо провести детализированную съемку таких элементов (однократно). В дальнейшем, в случае утери таких элементов, возможно осуществить полное их восстановление. При качественной съемке и обработке с высокой детализацией точность в размерах модели здания составляет 1-2 см, что достаточно для решения большинства задач при обследовании фасадов [14]. При комплексном подходе необходимо использовать сочетание разнообразных методов [15].

Современная методология не исключает архитектурного обследования зданий. Для этого необходимы исторические знания и практический опыт, что позволяет сопоставить целесообразность применения различных материалов для конкретных строительных конструкций, избежать некорректной идентификации исторических признаков объекта.

Итак, сохранение и восстановление исторического объекта возможно только при грамотном подходе на основании данных, полученных при обследовании. Если целью реставрации является преобразование объекта в музей, доступный для посетителей, правильная оценка его состояния позволит оптимально определить состав и методы работы



по техническому восстановлению, выработать рекомендации по обслуживанию объекта с учетом его исторической ценности.

Комплекс работ по обследованию объекта позволяет документировать полученные данные, составить каталог элементов и на основании анализа представить прогноз вариантов дальнейшего развития объекта. Графические документы (в печатном или цифровом формате), полученные при обследовании исторических территорий, представляют особую ценность и могут быть использованы лицами, изучающими вопросы сохранения архитектурного наследия [9].

Методом 3D-лазерного мониторинга аварийности фасадов могут быть решены следующие задачи:

- предупреждение аварийных ситуаций;
- мониторинг деформаций фасадов;
- производство изысканий и наблюдений;
- создание единой базы объектов, ее хранение и анализ;
- восстановление фасадов архитектурных объектов культурного и исторического значения.

Как уже отмечалось, для рационального выполнения необходимых изысканий и наблюдений необходимо провести анализ объемов работ и составить график с регламентированными периодами и сроками выездов специалистов.

Для этого на каждый из объектов организуется первичный выезд. Компанией ООО «УМТранс» предлагаемый метод апробирован на историческом и культурном здании Санкт-Петербурга – Доходном доме А.Л. Лишневежского (рис. 1) (он же – «Дом с Мефистофелем»), фасад которого (рис. 2) расположен по адресу: ул. Лахтинская, 24, Петровский, Петроградский район, Санкт-Петербург.



a(a)

б(b)

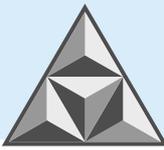
Рис. 1. Апробация новой методики на объекте «Дом с Мефистофелем»:

a – работы на объекте; *б* – результат 3D-сканирования фасада

Fig. 1. Testing of the new methodology on the "House with Mephistopheles" site:

a - works on the site; *b* - result of the facade 3D scanning

В результате в базе данных будут храниться результаты изысканий 3D-лазерного сканирования, на основе которых созданы трехмерные модели архитектурных элементов указанного объекта.



a(a)



б(b)

Рис. 2. Работа с выбранным объектом: а – часть фасада «Дома с Мефистофелем»; б – результат 3D-сканирования выбранной части фасада с расстояния 80 метров
Fig. 2. Working with the selected site: a - part of the "House with Mephistopheles" facade; b - the result of 3D-scanning of the facade selected fragment from a distance of 80 metres

При выезде специалистов на значимые объекты со сложными и уникальными фасадными элементами большое внимание уделяется детализированной съемке. Это позволяет избежать появления после ремонта испорченных скульптур, мешающих общему восприятию культурно-исторических зданий Санкт-Петербурга. Так, на фасаде главного здания Адмиралтейства (Невский проспект, 66) расположены устрашающие фигуры, требующие реставрации (рис. 3). Новостное издание «Фонтанка.ру» сообщает: «На башне главного здания Адмиралтейства живут четырехпалые мутанты и круглоголовые безухие собаки...» [16].



Рис. 3. Фигуры на фасаде главного здания Адмиралтейства [16]
Fig. 3. Statuary arts on the facade of the main building of the Admiralty [16]

В общем и целом, для Петербурга и других исторических городов мониторинг и 3D-сканирование фасадов позволяют предотвратить угрозу здоровью и жизни горожан.

Для этого представляется возможным создание дата-центра, который бы сохранял и обрабатывал большие объемы получаемой визуальной и цифровой информации, что станет основой для создания 3D-модели ежемесячного прогнозирования аварийности фасадов исторической части северной столицы. Проект прошел проверку городских властей и поддержан ими. Отмечается, что он имеет потенциал монетизации за счет организации оплаты подписки за услуги дата-центра со стороны Управляющих компаний, Фонда



капитального ремонта, КГиОП, оценочных компаний и залоговых служб, Товариществ собственников жилья.

ВЫВОДЫ

Выявлены сложности внедрения компьютерных технологий при исторической реконструкции в г. Санкт-Петербурге. Мониторинг аварийности фасадов зданий архитектурных объектов должен проводиться с использованием сочетания передовых методов строительной экспертизы – термографии, 3D-лазерного сканирования, ультразвуковых и иных физико-химических исследований, которые дополняются высокой технической интуицией привлекаемых специалистов

Проведена апробация метода 3D-сканирования фасадов на одном из исторических и культурных зданий Санкт-Петербурга – Доходном доме А.Л. Лишневого.

Представлена инициатива ООО «УМТранс» о создании единого городского оператора с целью реализации описанного проекта. Его деятельность могла бы строиться на основе частно-государственного партнерства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Почему разрушается исторический центр Петербурга. URL: <https://fedpress.ru/article/2936460>
2. **Pescari S., Budău L., Vilceanu, C.B.** Rehabilitation and restoration of the main façade of historical masonry building – Romanian National Opera Timisoara // *Case Studies in Construction Materials*. 2023. Vol. 18(9). e01838. DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e01838.
3. **Vilceanu C.B., Pescari S., Herban S., Budău, L.** Comparative study of 3D modeling by short-range photogrammetry // *Scientific Bulletin of Politechnica University Timisoara. Transactions on Hydrotehnics*. 2022. Vol. 67, no. 1. P. 45-49.
4. **Jo Y.H., Hong, S.** Three-dimensional digital documentation of cultural heritage site based on the convergence of terrestrial laser scanning and unmanned aerial vehicle photogrammetry // *ISPRS - International Journal of Geo-Information*. 2019. Vol. 8(2). P. 53.
5. **Pepe M., Costantino D., Restuccia Garofalo A.** An efficient pipeline to obtain 3D model for HBIM and structural analysis purposes from 3D point clouds // *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10(4). P. 1235.
6. **Fiorucci M., Khoroshiltseva M., Pontil M., Traviglia M., Del Bue A., James S.** Machine learning for cultural heritage: A survey // *Pattern Recognition Letters*. 2020. Vol. 133. P. 102-108.
7. **Бызова О.М.** Использование цифровых технологий в исторических исследованиях // *Общество: философия, история, культура*. 2022. № 2. С. 76-81.
8. 3D лазерное сканирование технического состояния фасадов зданий. URL: <http://um-trans.com/3d-lazernoe-skanirovanie-tehnicheskogo-sostoyaniya-fasadov-zdaniy/>
9. **Парринелло С., Максимова С.В., Сосновских Л.В. Шамарина А.А., Мезенина К.О., Кузнецова А.Е.** Современные методы архитектурного обследования городской среды. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. 126 с.
10. Количество ветхих и аварийных домов в Петербурге растет, а доля реконструкции во вводе жилья падает. URL: <https://ktostroit.ru/news/305179/>
11. Непослушная «аварийка». URL: <https://nsp.ru/29511-neposlusnaya-avariika>
12. **Леденев В.В., Ярцев В.П.** Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений: учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 2017. 252 с.
13. **Зыков В.И., Кокшин В.В., Кривошонок В.В.** История создания и совершенствования беспроводных систем мониторинга: монография. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2016. 160 с.
14. **Коренев В.В., Орлова Н.С., Улыбин А.В., Федотов С.Д.** Строительный контроль зданий и сооружений с применением мультикоптеров и фотограмметрии // *Строительство уникальных зданий и сооружений*, 2018, № 2. С. 40-58.



15. **Баснукаев Ш., Исмаилова З.Х., Мовсулов М.М.** Основы мониторинга зданий и сооружений // *Вестник ГГНТУ. Технические науки*, 2020. Т. 16, № 2 (20). С. 46-51.
16. Паноптикум на Адмиралтействе. URL: <https://giper.livejournal.com/3452.html>

Поступила в редакцию 12.07.2023

Одобрена после рецензирования 19.09.2023

Принята к опубликованию 22.09.2023

REFERENCES

1. *Why is the historical center of St. Petersburg being destroyed* (2022) [online]. Available at: <https://fedpress.ru/article/2936460> (in Russian).
2. **Pescari, S., Budău, L. & Vilceanu, C.B.** (2023) Rehabilitation and restauration of the main façade of historical masonry building – Romanian National Opera Timisoara, *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01838. DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e01838.
3. **Vilceanu, C.B., Pescari, S., Herban, S. & Budău, L.** (2022) Comparative study of 3D modeling by short-range photogrammetry, *Scientific Bulletin of Politechnica University Timisoara. Transactions on Hydrotehnics*, 67(1), pp. 45-49.
4. **Jo, Y.H. & Hong, S.** (2019) Three-dimensional digital documentation of cultural heritage site based on the convergence of terrestrial laser scanning and unmanned aerial vehicle photogrammetry, *ISPRS - International Journal of Geo-Information*, 8(2), p. 53.
5. **Pepe, M., Costantino, D. & Restuccia Garofalo, A.** (2020) An efficient pipeline to obtain 3D model for HBIM and structural analysis purposes from 3D point clouds, *Applied Sciences*, 10(4), p. 1235.
6. **Fiorucci, M., Khoroshiltseva, M., Pontil, M., Traviglia, M., Del Bue, A. & James, S.** (2020) Machine learning for cultural heritage: A survey, *Pattern Recognition Letters*, 133, pp. 102-108.
7. **Byzova, O.M.** (2022) The use of digital technologies in historical research, *Obshchestvo: filosofiya, istoriya, kul'tura*, (2), pp. 76-81 (in Russian).
8. *3D laser scanning of the technical condition of building facades* [online]. Available at: <http://um-trans.com/3d-lazernoe-skanirovanie-tehnicheskogo-sostoyaniya-fasadov-zdaniy/> (in Russian).
9. **Parinello, S., Maksimova, S.V., Sosnovskikh, L.V., Shamarina, A.A., Mezenina, K.O. & Kuznetzova, A.E.** (2015) *Modern methods of architectural survey of the urban environment*. Perm: Izd-vo Perm. nats. issled. politekhn. un-ta. (in Russian).
10. *The number of dilapidated and dilapidated houses in St. Petersburg is growing, and the share of reconstruction in housing commissioning is falling* [online]. Available at: <https://ktostroit.ru/news/305179/> (in Russian).
11. *Naughty "emergency"* [online]. Available at: <https://nsp.ru/29511-neposlusnaya-avariika> (in Russian).
12. **Ledenev, V.V. & Yartsev, V.P.** (2017) *Inspection and monitoring of building structures of buildings and structures*. Tambov: Izd-vo Tambov. gos. tekhn. un-ta (in Russian).
13. **Zykov V.I., Kokshin, V.V. & Krivoshonok, V.V.** (2016) *History of creation and improvement of wireless monitoring systems*. Moscow: Akademiya GPS MChS Rossii (in Russian).
14. **Korenev, V.V., Orlova, N.S., Ulybin, A.V. & Fedotov, S.D.** (2018) Construction control of buildings and structures using multicopters and photogrammetry, *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzheniy*, (2), pp.40-58 (in Russian).
15. **Basnukaev, Sh., Ismailova, Z.Kh. & Movsulov, M.M.** (2020) Fundamentals of monitoring of buildings and structures *GGNTU. Tekhnicheskie nauki*, 16(2), pp. 46-51 (in Russian).
16. *Panopticon at the Admiralty* [online]. Available at: <https://giper.livejournal.com/3452.html> (in Russian).

Received 12.07.2023

Approved after reviewing 19.09.2023

Accepted 22.09.2023