

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 699.86



DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-1-219-226

Оригинальная статья /Original article

Тепловизионное обследование общеобразовательных учреждений в г. Москве

А.А. Фролова¹, Д.Ф. Карпов², Х.М. Вафаева³, З.А. Гаевская³

¹Московский государственный строительный университет,

¹129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 25, Россия,

²Вологодский государственный университет,

²160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15, Россия,

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

³195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29 литера Б, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является определение причин формирования некомфортного микроклимата в помещениях школы на 1 этаже (1 вариант), а также обследование фасада школы (2 вариант) при помощи инструментов тепловизионной съемки и приборов измерения температуры внутри здания. **Метод.** Для проведения исследования использовались следующие методы: оценка конструктивной схемы здания; внешний визуальный осмотр наружных ограждений зданий; тепловизионное обследование с помощью тепловизоров Testo 868 и Testo 870-1; дополнительные измерения температуры внутреннего воздуха и регистрация метеоусловий многофункциональным измерительным прибором Testo 435 с щупом температуры воздуха; обработка полученных термограмм. **Результат.** Получены термограммы внутри проблемных помещений в первой школе и по фасадам зданий во второй школе, а также значения температуры внутреннего и наружного воздуха. **Вывод.** При проведении исследования с помощью тепловизионной съемки были выявлены дефекты фасада школы по 2 варианту и основные причины некомфортного пребывания людей на 1 этаже школы по варианту 1. Выявлена недостаточная тепловая защита зданий в связи с несовершенством утепления ограждающих конструкций, некорректными применением входных дверей (не утепленные, без тамбура), что влечет за собой возможную конденсацию влаги на внутренней поверхности наружной стены и двери, а также некомфортные условия микроклимата в помещениях. Выявлено, что солнечная погода в холодное время года влияет на проведение тепловизионной съемки и не дает провести замеры корректно, даже с учетом, что количество тепловой энергии от солнечной радиации в это время года незначительно.

Ключевые слова: тепловизионное обследование, комфортность тепловой обстановки, термограмма, параметры внутреннего микроклимата, тепловая защита здания

Для цитирования: А.А. Фролова, Д.Ф. Карпов, Х.М. Вафаева, З.А. Гаевская. Тепловизионное обследование общеобразовательных учреждений в г. Москве. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025;52(1):219-226. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-1-219-226

Thermal imaging survey of general education institutions in Moscow

A.A. Frolova¹, D.F. Karpov², Kh.M. Vafaeva³, Z.A. Gaevskaya³

¹Moscow State University of Civil Engineering,

¹Yaroslavskoe highway, 26, Moscow, 129337, Russia,

²Vologda State University,

²15 Lenin St., Vologda, 160000, Russia,

³Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University,

³29 letter B Polytechnique St., Saint-Petersburg, 195251, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to determine the causes of the formation of an uncomfortable microclimate in the school premises on the 1st floor (option 1), as well as to examine the school facade (option 2) using thermal imaging and temperature measuring devices inside the building. **Method.** Assessment of the building's structural design; external visual inspection of the building's external enclosures; thermal imaging survey using Testo 868 and Testo 870-1 thermal imagers; additional measurements of indoor air temperature and recording of meteorological conditions using a Testo 435 multifunctional measuring device with an air temperature probe; processing of the obtained thermograms. **Result.** As a result of the measurements, thermograms were obtained inside the problematic rooms in the first school and on the facades of the buildings in the second school, as well as the values of the internal and external air temperature. **Conclusion.** Thermal imaging revealed defects in the school facade according to option 2 and reasons for the uncomfortable stay of people on the 1st floor of the school according to option 1. Insufficient thermal protection of buildings was revealed due to poor insulation of enclosing structures, uninsulated entrance doors without a vestibule, which leads to condensation of moisture on the inner surface of the outer wall and door, as well as uncomfortable microclimate conditions in the premises. It was revealed that sunny weather in the cold season affects thermal imaging and does not allow measurements to be taken correctly, even taking into account that the amount of thermal energy from solar radiation at this time of year is insignificant.

Keywords: thermal imaging survey, thermal comfort, thermogram, indoor microclimate parameters, building thermal protection

For citation: A.A. Frolova, D.F. Karpov, Kh.M. Vafaeva, Z.A. Gaevskaya. Thermal imaging survey of general education institutions in Moscow. *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences.* 2025;52(1):219-226. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-1-219-226

Введение. Весьма часто теплотехнические свойства наружных ограждающих конструкций ухудшаются [1] и приводят к перерасходу тепловой энергии для поддержания параметров микроклимата помещений [2, 3], а также происходит ухудшений комфорта пребывания людей в таких помещениях [4]. Для того, чтобы можно было выявить дефектные области таких конструкций и своевременно их устранить, требуется проведение тепловизионной съемки с помощью специального оборудования. Такие обследования проводятся часто для разных типов зданий и сооружений [5-18] с подготовкой отчета и выдачей рекомендаций по устранению выявленных дефектов и несоответствий нормативным документам.

Особенности такого обследования регламентируются нормативным документом ГОСТ Р 54852-2024 [19]. Основным требованием является наличие устоявшейся наружной температуры ниже -5 °С. Можно отметить, что развитие и применение натуральных исследований наружных ограждений зданий является актуальной задачей [20-26].

Постановка задачи. Целью исследования является определение причин формирования некомфортного микроклимата в помещениях школ на 1 этаже (1 вариант), а также обследование фасада школы (2 вариант) при помощи инструментов тепловизионной съемки и приборов измерения температуры внутри здания. Для достижения этой цели требуется провести обследование школ и оценить факторы, влияющие на некомфортные теплоощущения людей в зданиях.

Объектом исследования являются наружные ограждающие конструкции общеобразовательных учреждений в г. Москве. Предмет исследования – температура, формирующаяся на поверхности наружных стен, входных дверей, и параметры внутреннего микроклимата.

Методы исследования. Для проведения исследования использовались следующие методы: оценка конструктивной схемы здания; внешний визуальный осмотр наружных ограждений зданий; тепловизионное обследование с помощью тепловизоров Testo 868 и Testo 870-1; дополнительные измерения температуры внутреннего воздуха и регистра-

ция метеоусловий многофункциональным измерительным прибором Testo 435 с щупом температуры воздуха; обработка полученных термограмм.

В ходе исследования были проанализированы два типа школ: первая школа (1 вариант) с наружными ограждающими конструкциями блочного типа, вторая школа (2 вариант) - стены из минераловатных плит на клею с креплением дюбелями с лесов при толщине утеплителя 100 мм (по кирпичу и бетону); защитно-декоративная штукатурка фасадов по теплоизоляции систем типа «Ремтеко-Термомакс» и «Ремтеко-Термомакс Е» с подготовкой поверхности: окраска фасадов по защитно-декоративной штукатурке систем типа «Ремтеко-Термомакс» и «Ремтеко-Термомакс Е» акриловой краской «Maestro».

Измерения проводились в первом случае тепловизором Testo 868, во втором - Testo 870-1. Testo 868 подключается к мобильному устройству по беспроводной сети и с помощью специального программного комплекса позволяет составлять и пересылать отчеты с результатами измерений прямо на месте замера, сохранять их, а также использовать смартфон или планшет как второй дисплей или пульт управления тепловизором.

Применяется для локализации утечек, выявления перегреваемых соединений, точное обнаружение тепловых мостиков или дефектов ограждающих конструкций. Testo 870-1 может осуществлять обнаружение утечек в системах напольного отопления, локализовать мостики холода или визуализировать соединения с аномально высоким нагревом.

В исследовании использованы комплексные методы, включая оценку конструктивной схемы зданий, внешний визуальный осмотр ограждающих конструкций и тепловизионное обследование с использованием приборов Testo 868 и Testo 870-1. Это позволило получить подробную информацию о тепловой эффективности объектов. Основное внимание уделено выявлению тепловых мостиков, утечек тепла и дефектов ограждающих конструкций, а также измерению температуры внутреннего воздуха и метеоусловий с применением многофункциональных приборов. В ходе обследования проанализированы два типа школ с различными конструктивными особенностями наружных ограждений. Такой сравнительный подход обеспечил возможность сопоставления эффективности применяемых теплоизоляционных материалов и систем фасадной отделки.

Обсуждение результатов. В результате проведенных замеров были получены термограммы внутри проблемных помещений в первой школе и по фасадам зданий во второй школе, а также значения температуры внутреннего и наружного воздуха.

На рис. 1 -3 представлены термограммы первой школы, соответствующие измерениям на первом этаже в помещениях, где некомфортно пребывание для учителей и учеников. Рассмотрим только проблемные зоны, которые обнаружили в результате натурного исследования. На рис. 1 в помещении раздевалки в зоне стыка оконного блока и наружной стены выявлены наибольшие тепловые потери, что подтверждается температурой в точке С равной 8,4 °С при наружной температуре -10 °С и внутренней температуре воздуха 18 °С.

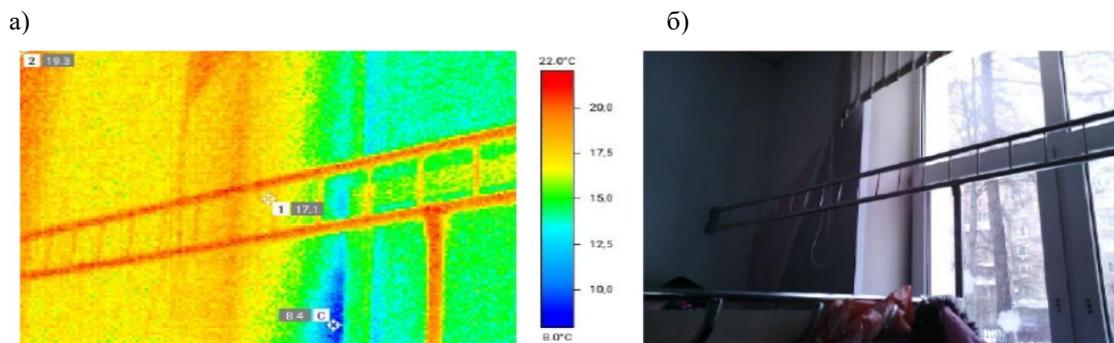


Рис. 1 - Термограмма в помещении раздевалки на 1 этаже школы по 1 варианту:

а – термограмма; б – реальное изображение

Fig. 1 - Thermogram in the changing room on the 1st floor of the school according to option 1:

а – thermogram; б – real image

На рис. 2 в помещении лестничной клетки также имеются проблемные зоны стыка наружной двери (без тамбура) и наружной стены. Здесь наименьшая температура поверхности соответствует 2,4 °С. Кроме этого нижняя часть двери имеет зазор, который выходит на пол первого этажа и создает ощущение постоянного сквозняка (рис. 3).

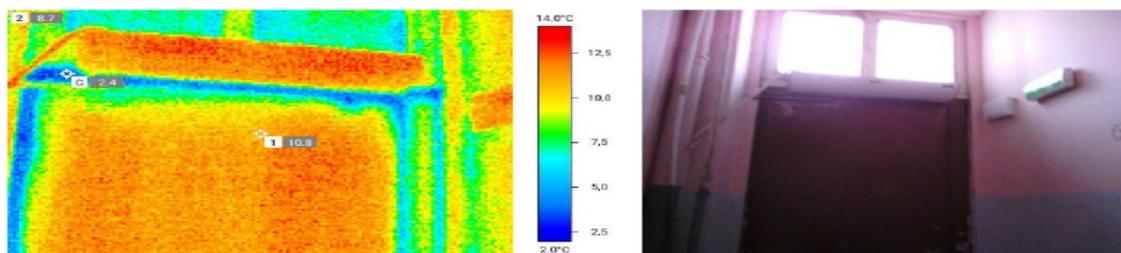


Рис. 2 - Термограмма верхней части наружной двери в лестничной клетке на 1 этаже школы по 1 варианту: а – термограмма; б – реальное изображение

Fig. 2 - Thermogram of the upper part of the external door in the stairwell on the 1st floor of the school according to option 1: a – thermogram; b – real image

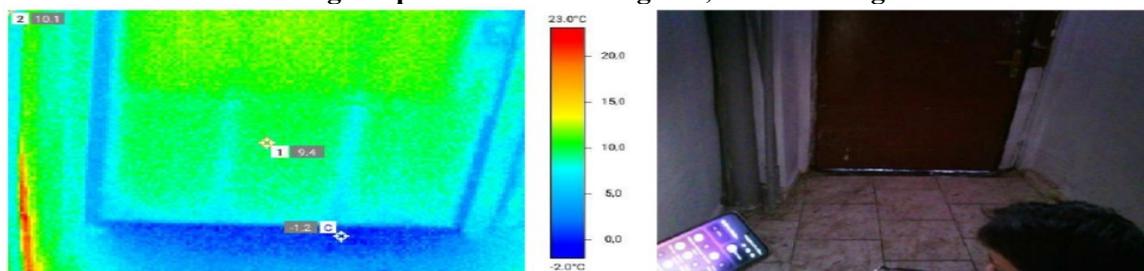


Рис. 3 - Термограмма нижней части наружной двери в лестничной клетке на 1 этаже школы по 1 варианту: а – термограмма; б – реальное изображение

Fig. 3 - Thermogram of the lower part of the outer door in the stairwell on the 1st floor of the school according to option 1: a – thermogram; b – real image

На рис. 4 - 6 представлены термограммы второй школы, соответствующие измерениям по фасадам здания. Рассмотрим только проблемные зоны, которые обнаружились в результате натурного исследования.

На рис. 4 представлены данные по фасаду пристройки к школе, где на 1 этаже находится столовая, а на втором спортивный зал. Анализ термограммы позволяет выявить неоднородности стеновой панели и как следствие излишние тепловые потери. Интересен и тот факт, что даже швы между панелями имеют большее сопротивление теплопередаче, чем сама панель.

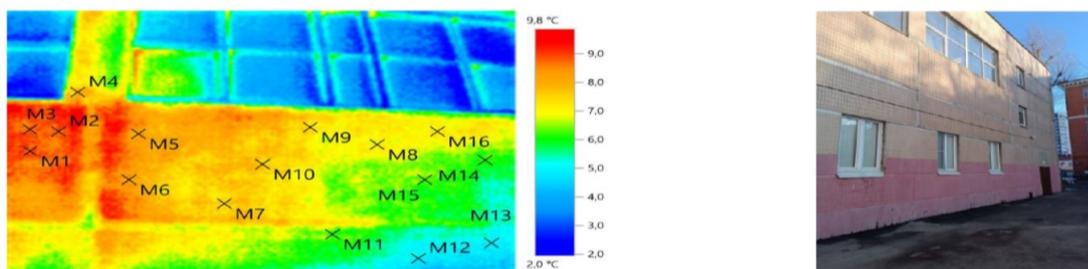


Рис. 4 - Термограмма фасада школы (пристройка) по 2 варианту: а – термограмма; б – реальное изображение

Fig. 4 - Thermogram of the school facade (extension) according to option 2: a – thermogram; b – real image

По данным термограммы северной части фасада школы так же обнаружены дефекты в кирпичной кладке, что приводит к повышению температуры наружной поверхности вплоть до +4,8 °С, что соответствует точке М1 на рис. 5а. При обследовании восточной части фасада (рис. 6) повышение температуры наружной поверхности под окнами свидетельствуют о том, что со стороны помещения там установлены отопительные приборы.

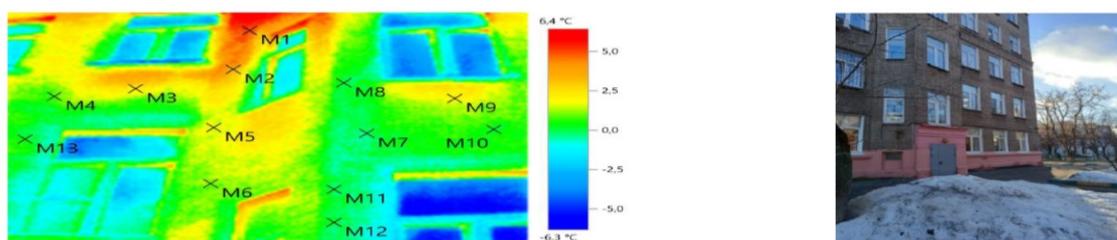


Рис. 5-Термограмма северной части фасада школы по 2 варианту: а – термограмма; б – реальное изображение

Fig. 5-Thermogram of the northern part of the school facade according to option 2: a – thermogram; b – real image

А вот повышение температуры до $+10,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ в точке М5 уже указывает на дефект конструкции примыкания окна и наружной стены.

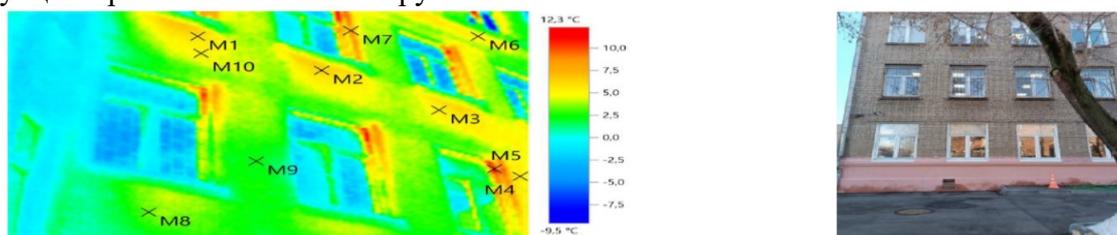


Рис. 6-Термограмма восточной части фасада школы по 2 варианту: а – термограмма; б – реальное изображение

Fig. 6- Thermogram of the eastern part of the school facade according to option 2: a – thermogram; b – real image

Тепловизионное обследование общеобразовательных учреждений в Москве выявило значительные теплопотери в отдельных помещениях и на фасадах зданий.

В первой школе наибольшие тепловые потери обнаружены в зоне стыка оконного блока и наружной стены раздевалки, а также в зоне стыка наружной двери и наружной стены лестничной клетки. Во второй школе выявлены неоднородности стеновой панели пристройки, дефекты в кирпичной кладке северной части фасада и дефекты конструкции примыкания окна и наружной стены восточной части фасада.

Результаты исследования указывают на необходимость проведения ремонтных работ для повышения качества тепловой изоляции и энергоэффективности обследуемых зданий.

Вывод. При проведении исследования с помощью тепловизионной съемки были выявлены дефекты фасада школы по 2 варианту и основные причины некомфортного пребывания людей на 1 этаже школы по варианту 1.

Выявлена недостаточная тепловая защита зданий в связи с несовершенством утепления ограждающих конструкций, некорректным применением входных дверей (не утепленные, без тамбура), что влечет за собой возможную конденсацию влаги на внутренней поверхности наружной стены и двери, а также некомфортные условия микроклимата в помещениях. Выявлено, что солнечная погода в холодное время года влияет на проведение тепловизионной съемки и не дает провести замеры корректно, даже с учетом, что количество тепловой энергии от солнечной радиации в это время года незначительно.

Отметим несколько ключевых положений по результатам исследования:

1. Проведенное тепловизионное обследование общеобразовательных учреждений в г.Москве выявило наличие существенных тепловых потерь в ограждающих конструкциях зданий, которые приводят к снижению энергоэффективности и комфорта пребывания людей.

2. В первой школе, с блочными наружными ограждающими конструкциями, наибольшие тепловые потери зафиксированы в зонах стыков оконных блоков и наружных стен, а также в местах примыкания наружных дверей к стенам.

3. Во второй школе, с фасадом из минераловатных плит, выявлены неоднородности теплоизоляционного слоя, дефекты кирпичной кладки и дефекты конструкции примыкания окон к наружным стенам.

4. Результаты научных изысканий подтверждают актуальность проблемы ухудшения теплотехнических характеристик наружных ограждающих конструкций с течением времени и необходимость своевременного выявления и устранения дефектов.

5. Полученные термограммы и данные о температурах позволяют локализовать проблемные зоны и служат основанием для разработки рекомендаций по ремонту и модернизации ограждающих конструкций с целью повышения их теплозащитных свойств.

6. Для обеспечения комфортного микроклимата в помещениях общеобразовательных учреждений рекомендуется проведение регулярных тепловизионных обследований и своевременное устранение выявленных дефектов.

7. Полученные результаты могут быть применены для разработки и реализации программ по повышению энергоэффективности образовательных учреждений в городе Москве и других населенных пунктах с похожими климатическими условиями.

Библиографический список:

1. Frolova A., Ledovskikh I., Panin K., Ramazanov E. Experimental determination of the thermal conductivity of building materials under operating conditions. E3S Web of Conferences. 2024. Т. 549. С. 05012.
2. Фролова А.А., Лухменёв П.И. Расчет уровня энергетически целесообразной теплозащиты. Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 1. С. 82-90.
3. Усиков С.М., Прилуцкий В. Совокупная тепловая инерция отапливаемого помещения и отопительного прибора. В сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования - 2022. Сборник докладов Третьей Национальной научной конференции. Москва, 2023. С. 869-875.
4. Малявина Е.Г., Ландырев С.С. Проверка выполнения требований норм к внутреннему микроклимату углового помещения. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 12. С. 39-45.
5. Курилюк И.С., Крышов С.И., Ермаков А.В. Результаты натурных исследований теплозащитных качеств навесных вентилируемых фасадов Москвы. Жилищное строительство. 2022. № 6. С. 39-43.
6. Д.А. Драпалюк, Н.А. Драпалюк, А.В. Исанова, М.С. Кононова. Особенности тепловлажностного режима чердачных помещений детских садов со скатными кровлями. Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2022. № 4(23). С. 44-51.
7. А.И. Калинина, А.Р. Макаров, Е.С. Аралов. Особенности формирования микроклимата в помещениях с повышенной влажностью, с учетом теплотехнических характеристик ограждающих конструкций. Инновации и инвестиции. 2021. № 3. С. 256-259.
8. Н.С. Новиков, С.О. Титков. Общие вопросы проведения технического обследования зданий и сооружений. Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2019. № 6(140)-С. 47-52.
9. Mayer, Zoe and Epperlein, Andres and Vollmer, Elena and Volk, Rebekka and Schultmann, Frank. Investigating the Quality of UAV-Based Images for the Thermographic Analysis of Buildings. Remote Sensing. 15. 301. (2023). <https://doi.org/10.3390/rs15020301>.
10. Austynas, Gintautas and Ignatavičienė, Laima and Nesovas, Deividas. Thermographic Examination of the Thermal Insulation Condition of the Heating Point during Exploitation. Applied Scientific Research. 3. 35-40. (2024). <https://doi.org/10.56131/tmt.2024.3.1.206>.
11. Tejedor, Blanca and Gaspar, Kátia and Casals, Miquel and Gangoellés, Marta. Analysis of the Applicability of Non-Destructive Techniques to Determine In Situ Thermal Transmittance in Passive House Façades. Applied Sciences. 10(23). 8337. (2020). <https://doi.org/10.3390/app10238337>.
12. Garrido, Iván and Lagüela, Susana and Otero, Roi and Arias, Pedro. Thermographic methodologies used in infrastructure inspection: A review-data acquisition procedures. Infrared Physics and Technology. 111. 103481. (2020). <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103481>.
13. Rodriguez, Jose and Frias, Jesus and Cespon, José and Vilariño, Lucia. Thermographic comparative study using smartphone and camera technology in buildings. DYNA. 99. 12-16. 2024. <https://doi.org/10.6036/11002>.
14. Fonseca, T., Ferreira, J.C. Detection of Cracks in Building Facades Using Infrared Thermography. In: Abraham, A., Bajaj, A., Gandhi, N., Madureira, A.M., Kahraman, C. (eds) Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications. IBICA 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 649. (2023). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-27499-2_25.
15. Chicherin, Stanislav and Zhuikov, Andrey and Junussova, Lyazzat. District Heating for Poorly Insulated Residential Buildings-Comparing Results of Visual Study, Thermography, and Modeling. Sustainability. 15. 14908. (2023). <https://doi.org/10.3390/su152014908>.

16. Xhexhi, K. Existing Site Conditions. Building Thermography and U-value Measurements. Case Study Tirana, Albania. In: Ecovillages and Ecocities. The Urban Book Series. Springer, Cham. (2023). https://doi.org/10.1007/978-3-031-20959-8_7.
17. Gertsvolf, David and Horvat, Miljana and Aslam, Danesh and Khademi, April and Berardi, Umberto. A U-net convolutional neural network deep learning model application for identification of energy loss in infrared thermographic images. *Applied Energy*. 360. 122696. (2024). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122696>.
18. Parracho, D.F.R., Poças Martins, J., Barreira, E. A Workflow for Photogrammetric and Thermographic Surveys of Buildings with Drones. In: González García, M.d.I.N., Rodrigues, F., Santos Baptista, J. (eds) *New Advances in Building Information Modeling and Engineering Management. Digital Innovations in Architecture, Engineering and Construction*. Springer, Cham. (2023). https://doi.org/10.1007/978-3-031-30247-3_5.
19. ГОСТ Р 54852-2024 Здания и Сооружения. Методы определения показателей теплозащитной оболочки на базе тепловизионного обследования и натуральных измерений. 2024. 40 с.
20. Чернухин С.П., Жерлыкина М.Н., Кретов М.А. Анализ теплозащитных характеристик стеновых ограждений с использованием тепловизионных исследований. *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура*. 2023. № 4 (27). С. 40-52.
21. Пешнин, А. Н. Оценка качества результатов тепловизионных обследований ограждающих конструкций зданий. *Инновационная наука*. 2019. № 7-8. С. 27-29.
22. М.М. Косухин, А.М. Косухин, А.С. Шаповалова. Энергоэффективные материалы и технологии для теплоизоляционных фасадных систем гражданских зданий. *Энергетические системы*. 2018. № 1. С. 164-171.
23. Analyzing Thermal Images to Evaluate Thermal Protection in Residential Structures: Lessons from Russian Practices / Kh. M. Vafaeva, D. F. Karpov, M. V. Pavlov [et al.] // *E3S Web of Conferences*. – 2024. – Vol. 511. – P. 01037. – DOI 10.1051/e3sconf/202451101037.
24. Карпов Д. Ф. Алгоритм комплексной диагностики технического состояния строительных конструкций по анализу термограмм / Д. Ф. Карпов // *Строительные материалы и изделия*. – 2019. – Т. 2, № 2. – С. 23-28.
25. Zhangabay N., Tursunkululy T., Ibraimova U., Bakhbergen S., Kolesnikov A. Field thermal imaging surveys of residential buildings – a prerequisite for the development of energy-efficient external enclosures. *Construction Materials and Products*. 2024. 7 (6). 1. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2024-7-6-1>.
26. Некоторые особенности и результаты теплового контроля навесных вентилируемых фасадных систем объектов капитального строительства / Д. Ф. Карпов, М. В. Павлов, А. А. Сеницын [и др.] // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. – 2020. – Т. 47, № 1. – С. 147-155. – DOI 10.21822/2073-6185-2020-47-1-147-155.

References:

1. Frolova A., Ledovskikh I., Panin K., Ramazanov E. Experimental determination of the thermal conductivity of building materials under operating conditions. *E3S Web of Conferences*. 2024;549: 05012.
2. Frolova A.A., Lukhmenov P.I. Calculation of the level of energetically feasible thermal protection. *Bulletin of MGSU*. 2023;18:1: 82-90. (In Russ)
3. Usikov S.M., Prilutsky V. Total thermal inertia of a heated room and a heating device. In the collection: Actual problems of the construction industry and education - 2022. Collection of reports of the Third National Scientific Conference. Moscow, 2023: 869-875. (In Russ)
4. Malyavina E.G., Landyrev S.S. Checking the compliance with the requirements of the standards for the internal microclimate of a corner room. *Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2022;12: 39-45. (In Russ)
5. Kurilyuk I.S., Kryshov S.I., Ermakov A.V. Results of in-kind studies of the thermal protection qualities of curtain wall ventilated facades in Moscow. *Housing construction*. 2022; 6: 39-43. (In Russ)
6. D.A. Drapalyuk, N.A. Drapalyuk, A.V. Isanova, M.S. Kononova. Features of the heat and humidity regime of attic spaces of kindergartens with pitched roofs. *Housing and communal infrastructure*. 2022;4(23) 44-51.(In Russ)
7. A.I. Kalinina, A.R. Makarov, E.S. Aralov. Features of microclimate formation in rooms with high humidity, taking into account the thermal characteristics of enclosing structures. *Innovations and Investments*. 2021;3:256-259. (In Russ)
8. N.S. Novikov, S.O. Titkov. General issues of technical inspection of buildings and structures. *Bulletin of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2019; 6(140):47-52. (In Russ)
9. Mayer, Zoe and Epperlein, Andres and Vollmer, Elena and Volk, Rebekka and Schultmann, Frank. Investigating the Quality of UAV-Based Images for the Thermographic Analysis of Buildings. *Remote Sensing*. 15. 301. (2023). <https://doi.org/10.3390/rs15020301>.
10. Austynas, Gintautas and Ignatavičienė, Laima and Nesovas, Deividas. Thermographic Examination of the Thermal Insulation Condition of the Heating Point during Exploitation. *Applied Scientific Research*. 2024; 3. 35-40. <https://doi.org/10.56131/tmt.2024.3.1.206>.
11. Tejedor, Blanca and Gaspar, Kàtia and Casals, Miquel and Gangolells, Marta. Analysis of the Applicability of Non-Destructive Techniques to Determine In Situ Thermal Transmittance in Passive House Façades. *Applied Sciences*. 2020; 10(23): 8337. <https://doi.org/10.3390/app10238337>.
12. Garrido, Iván and Lagüela, Susana and Otero, Roi and Arias, Pedro. Thermographic methodologies used in infrastructure inspection: A review-data acquisition procedures. *Infrared Physics and Technology*. 111. 2020; 111:103481. (<https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103481>).

13. Rodriguez, Jose and Frias, Jesus and Cespon, Jose and Vilariño, Lucia. Thermographic comparative study using smartphone and camera technology in buildings. *DYNA*. 2024;99:12-16.. <https://doi.org/10.6036/11002>.
14. Fonseca, T., Ferreira, J.C. Detection of Cracks in Building Facades Using Infrared Thermography. In: Abraham, A., Bajaj, A., Gandhi, N., Madureira, A.M., Kahraman, C. (eds) *Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications*. IBICA 2022. Lecture Notes in Networks and Systems. 2023; 649. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-27499-2_25.
15. Chicherin, Stanislav and Zhuikov, Andrey and Junusova, Lyazzat. District Heating for Poorly Insulated Residential Buildings-Comparing Results of Visual Study, Thermography, and Modeling. *Sustainability*. 15. 14908. (2023). <https://doi.org/10.3390/su152014908>.
16. Xhexhi, K. Existing Site Conditions. Building Thermography and U-value Measurements. Case Study Tirana, Albania. In: *Ecovillages and Ecocities*. The Urban Book Series. Springer, Cham. (2023). https://doi.org/10.1007/978-3-031-20959-8_7.
17. Gertsvolf, David and Horvat, Miljana and Aslam, Danesh and Khademi, April and Berardi, Umberto. A U-net convolutional neural network deep learning model application for identification of energy loss in infrared thermographic images. *Applied Energy*. 360. 122696. (2024). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122696>.
18. Parracho, D.F.R., Poças Martins, J., Barreira, E. A Workflow for Photogrammetric and Thermographic Surveys of Buildings with Drones. In: González García, M.d.l.N., Rodrigues, F., Santos Baptista, J. (eds) *New Advances in Building Information Modeling and Engineering Management*. Digital Innovations in Architecture, Engineering and Construction. Springer, Cham. (2023). https://doi.org/10.1007/978-3-031-30247-3_5.
19. GOST R 54852-2024 Buildings and Structures. Methods for Determining Thermal Protection Shell Parameters Based on Thermal Imaging Surveys and In-kind Measurements. 2024:40. (In Russ)
20. Chernukhin S.P., Zherlykina M.N., Kretov M.A. Analysis of thermal protection characteristics of wall enclosures using thermal imaging studies. *Housing and communal infrastructure*. 2023;4 (27): 40-52. (In Russ)
21. Peshnin, A.N. Assessment of the quality of the results of thermal imaging surveys of building envelopes. *Innovative science*. 2019;7-8: 27-29. (In Russ)
22. M. M. Kosukhin, A. M. Kosukhin, A. S. Shapovalova. Energy-efficient materials and technologies for thermal insulation façade systems of civil buildings. *Energy systems*. 2018;1:164-171. (In Russ)
23. Analyzing Thermal Images to Evaluate Thermal Protection in Residential Structures: Lessons from Russian Practices / Kh. M. Vafaeva, D. F. Karpov, M. V. Pavlov [et al.] *E3S Web of Conferences*. 2024; 511.: 01037. – DOI 10.1051/e3sconf/202451101037. (In Russ)
24. Karpov D. F. Algorithm for comprehensive diagnostics of the technical condition of building structures based on the analysis of thermograms. *Construction materials and products*. 2019;2(2):23-28. (In Russ)
25. Zhangabay N., Tursunkululy T., Ibraimova U., Bakhbergen S., Kolesnikov A. Field thermal imaging surveys of residential buildings – a prerequisite for the development of energy-efficient external enclosures. *Construction Materials and Products*. 2024. 7 (6). 1. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2024-7-6-1>.
26. Some features and results of thermal control of curtain wall ventilated facade systems of capital construction projects / D. F. Karpov, M. V. Pavlov, A. A. Sinitsyn [et al.] *Herald of Dagestan State Technical University. Technical sciences*. 2020; 47(1):147-155. DOI 10.21822/2073-6185-2020-47-1-147-155. (In Russ)

Сведения об авторах:

Фролова Анастасия Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, доцент, кафедра теплогазоснабжения и вентиляции; FrolovaAA@mgsu.ru; ORCID 0000-0002-7802-8981

Карпов Денис Федорович, старший преподаватель, кафедра теплогазоснабжения; karpovdf@vogu35.ru; ORCID 0000-0002-3522-9302

Вафаева Христина Максудовна, научный сотрудник, лаборатория самовосстанавливающихся конструкционных материалов; vafaeva.khm@gmail.com; ORCID 0000-0002-7422-5494

Гаевская Злата Анатольевна, кандидат архитектуры, доцент, доцент высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства; gaevskaya_z@spbstu.ru; ORCID 0000-0002-4819-7522

Information about authors:

Anastasiya A. Frolova, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Ventilation and Heat and Gas Supply; FrolovaAA@mgsu.ru; ORCID 0000-0002-7802-8981

Denis F. Karpov, Senior Lecturer, Department of Heat, Gas and Water Supply; karpovdf@vogu35.ru; ORCID 0000-0002-3522-9302

Khristina M. Vafaeva, Scientific Associate, Laboratory of Self-Healing Structural Materials; vafaeva.khm@gmail.com; ORCID 0000-0002-7422-5494

Zlata A. Gaevskaya, Cand. of Architecture, Ph.D. in Architecture, Assoc. Prof., Assoc. Prof., Higher School of Industrial, Civil and Road Construction; gaevskaya_z@spbstu.ru; ORCID 0000-0002-4819-7522

Конфликт интересов/Conflict of interests.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 15.11.2024.

Одобрена после рецензирования/Revised 28.12.2024.

Принята в печать/Accepted for publication 18.01.2025.