

**Исследование теплового режима в классе общеобразовательной школы
при различных вариантах тепловой защиты наружной стены**

А.А. Фролова¹, Д.Ф. Карпов², Х.М. Вафаева³, А.С. Воронов⁴

¹Московский государственный строительный университет,

¹129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, 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,

⁴Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы,

⁴117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является анализ влияния различных значений сопротивления теплопередаче наружной стены помещения на величину результирующей температуры в различных точках помещения и сравнение полученных значений с нормативными требованиями. **Метод.** Применялись программный расчетный метод определения результирующей температуры в различных точках помещения, а также натурные измерения температуры внутреннего воздуха в исследуемом помещении. **Результат.** Получены графики изменения температуры внутреннего воздуха в различных точках помещения, а также распределения результирующей температуры, рассчитанные с использованием программы Ashar на различных высотах помещения при разных вариантах тепловой защиты наружной стены. **Вывод.** Выявленные закономерности изменения результирующей температуры при различных уровнях тепловой защиты наружной стены носят устойчивый характер и подтверждаются результатами натурных измерений. Примененный расчетно-экспериментальный подход - корректный и обоснованный инструмент для анализа теплового режима учебных помещений и оценки влияния конструктивных решений ограждающих конструкций на формирование параметров внутреннего микроклимата.

Ключевые слова: комфортность тепловой обстановки, результирующая температура, параметры внутреннего микроклимата, тепловая защита здания

Для цитирования: А.А. Фролова, Д.Ф. Карпов, Х.М. Вафаева, А.С. Воронов. Исследование теплового режима в классе общеобразовательной школы при различных вариантах тепловой защиты наружной стены. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2026;53(1):252-259. DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-1-252-259.

**A Study of the thermal regime in a comprehensive school classroom with different options
for thermal protection of the external wall**

A.A. Frolova¹, D.F. Karpov², Kh.M. Vafaeva³, A.S. Voronov⁴

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,

⁴Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba,

⁴6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russia

Abstract. Objective. The purpose of this study is to analyze the influence of different values of the thermal resistance of an external wall on the resultant temperature at various points within a room and to compare the obtained values with regulatory requirements. **Method.** A software calculation method was used to determine the resulting temperature at various points in the room, as well as in-kind measurements of the indoor air temperature in the room under study. **Result.** The research produced graphs illustrating variations in indoor air temperature at different points in the room, as well as distributions of the resultant temperature calculated using the Ashar software at various heights under different external wall thermal protection scenarios. **Conclusion.** The identified patterns of change in the resulting temperature at different levels of thermal protection of the external wall are consistent and are confirmed by the results of in-kind measurements. This allows us to consider the applied computational and experimental approach as a valid and justified tool for analyzing the thermal conditions of classrooms and assessing the impact of building envelope design on the formation of indoor microclimate parameters.

Keywords: thermal comfort, resulting temperature, internal microclimate parameters, building thermal protection

For citation: A.A. Frolova, D.F. Karpov, Kh.M. Vafaeva, A.S. Voronov. A Study of the thermal regime in a comprehensive school classroom with different options for thermal protection of the external wall. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2026;53(1):252-259. DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-1-252-259.

Введение. На комфортное пребывание человека в помещении оказывает влияние ряд факторов и параметров внутреннего микроклимата [1-3]. К таким параметрам относятся температура, относительная влажность, подвижность воздуха, а также результирующая температура внутреннего воздуха, которые в Российской Федерации нормируются для различных типов помещений в межгосударственном стандарте «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [4]. Совокупность значений указанных параметров позволяет сформировать комплексную оценку комфортности внутренней среды [5-7]. Вместе с тем ряд ученых рассматривают параметры микроклимата изолированно, оценивая влияние отдельных факторов на тепловые ощущения человека в помещениях. Так, авторы [8-10] исследуют закономерности изменения тепловлажностных параметров воздуха в кухне-гостиной в условиях естественной и принудительной вытяжной вентиляции с использованием экспериментальных и расчетных методов.

Из нормативного документа [11] следует, что тепловая защита здания может быть рассчитана тремя способами: по санитарно-гигиеническим требованиям, по показателям энергосбережения и с учетом регионального коэффициента. Каждый из указанных подходов обладает определенными особенностями и не во всех случаях может быть применен для конкретных зданий. В рамках настоящего исследования данный аспект не рассматривается, поскольку основная задача заключается в анализе влияния различных уровней тепловой защиты наружной стены на формирование результирующей температуры внутреннего воздуха.

Согласно [4], результирующая температура помещения представляет собой комплексный показатель, учитывающий радиационную температуру ограждающих поверхностей и температуру воздуха, и нормируется для различных типов зданий и периодов года. При этом на практике данный показатель редко оценивается на соответствие нормативным требованиям, что обуславливает актуальность его дополнительного анализа.

Мировой опыт в области тепловой защиты зданий представлен в исследованиях [12-16], в которых рассматриваются современные подходы к повышению энергоэффективности, теплового комфорта и эксплуатационной устойчивости зданий в различных климатических и функциональных условиях. Представленные работы акцентируют внимание на комплексной реновации существующего фонда, включающей интеграцию мероприятий по конструктивному усилению и улучшению теплозащитных характеристик ограждающих конструкций. Существенное внимание уделяется влиянию тепловой защиты на здоровье

и комфорт пользователей, а также применению климатически адаптированных архитектурно-конструктивных решений. Показан высокий потенциал модернизации гражданских зданий, обеспечивающий снижение энергопотребления, тепловых нагрузок и углеродных выбросов при одновременном повышении качества внутренней среды.

Постановка задачи. Целью исследования является анализ влияния различных значений сопротивления теплопередаче наружной стены помещения на величину результирующей температуры в различных точках помещения и сравнение полученных значений с нормативными требованиями. Для достижения поставленной цели сформулированы задачи: провести натурные измерения температуры внутреннего воздуха в различных точках исследуемого помещения; расчетным методом с использованием программного обеспечения для персонального компьютера оценить распределение результирующей температуры по объему помещения, фиксируя полученные значения на различных высотах от уровня пола; проанализировать факторы, влияющие на формирование температуры внутреннего воздуха и результирующей температуры в исследуемом помещении.

Объектом исследования является учебный класс общеобразовательного учреждения в городе Москве. Предмет исследования - результирующая температура, формирующаяся в помещении при различных вариантах тепловой защиты здания.

Методы исследования. Для проведения исследования применялись расчетный метод с использованием программы Ashar [17] для определения результирующей температуры в различных точках помещения, а также натурные измерения температуры внутреннего воздуха в исследуемом помещении. Программа Ashar разработана для расчета радиационной температуры и локальной асимметрии радиационной температуры по площади и высоте помещения на уровнях 1,1 и 1,7 м от уровня пола.

Учебный класс имеет размеры в плане $6,1 \times 5,1$ м, высота помещения составляет 3,5 м, в помещении расположены два наружных окна. Сопротивления теплопередаче наружной стены приняты на следующих уровнях: вариант 1 – $R_{ст} = 2,93 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; вариант 2 – $R_{ст} = 1,84 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; вариант 3 – $R_{ст} = 1,26 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Сопротивление теплопередаче окон во всех вариантах $R_{ок} = 0,48 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Для определения температуры внутреннего воздуха в исследуемом помещении использовались логгеры температуры Testo 174 Н, модель которых внесена в Государственный реестр средств измерений (№ 47602-11) и допущена к применению на территории Российской Федерации. Для обработки результатов измерений использовалось бесплатное программное обеспечение ComSoft Basic. Встроенные сенсоры осуществляли непрерывные измерения с интервалом 5 мин при допустимой погрешности $\pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Расположение датчиков в помещении показано на рис. 1.

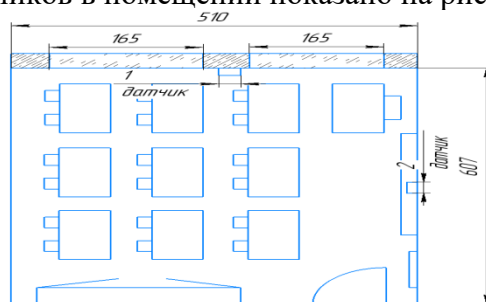


Рис. 1 – Расположение датчиков температуры Testo 174 Н в исследуемом учебном классе

Fig. 1 – Location of Testo 174 Н temperature sensors in the classroom under study

Обсуждение результатов. В результате проведенных натурных измерений получены графики изменения температуры внутреннего воздуха в различных точках помещения (рис. 2, 3), а также результаты расчета распределения результирующей температуры, выполненного расчетным методом с использованием программы Ashar, на различных высотах помещения при разных вариантах тепловой защиты наружной стены. На рис. 4-6 представлены результаты расчета для высоты 1,1 м от уровня пола для трех рассматриваемых вариантов тепловой защиты наружной стены. В программе Ashar расчет выполнялся

без учета внутренних теплопоступлений в помещении, при заданной наружной температуре $-1,7^{\circ}\text{C}$ и внутренней температуре воздуха 20°C . В ходе натурных измерений температура внутреннего воздуха фиксировалась с учетом присутствия людей в помещении, при этом наружная температура в течение периода измерений снижалась и в среднем составляла -5°C . На рис. 4-6 представлены поля изотерм результирующей температуры в помещении. С понижением температуры наблюдается увеличение кривизны изотерм в направлении оконных проемов, что свидетельствует о существенном влиянии светопрозрачных ограждающих конструкций на формирование температурного поля. Результаты натурных измерений температуры внутреннего воздуха подтверждают влияние оконных проемов на формирование пониженных температур в прилегающих зонах, что согласуется с данными, полученными расчетным методом, и отражается в виде локальных минимумов температуры на экспериментальных графиках. Установлено, что даже при нормируемых значениях сопротивления теплопередаче наружной стены в ряде точек помещения не обеспечивается соответствие требованиям по нормируемой температуре в рабочей зоне, что указывает на необходимость комплексной оценки тепловой защиты ограждающих конструкций с учетом светопрозрачных элементов и особенностей теплового режима помещения.



Рис. 2 – Значение температуры внутреннего воздуха в учебном классе по датчику № 1
Fig. 2 – The indoor air temperature reading in the classroom according to sensor No. 1

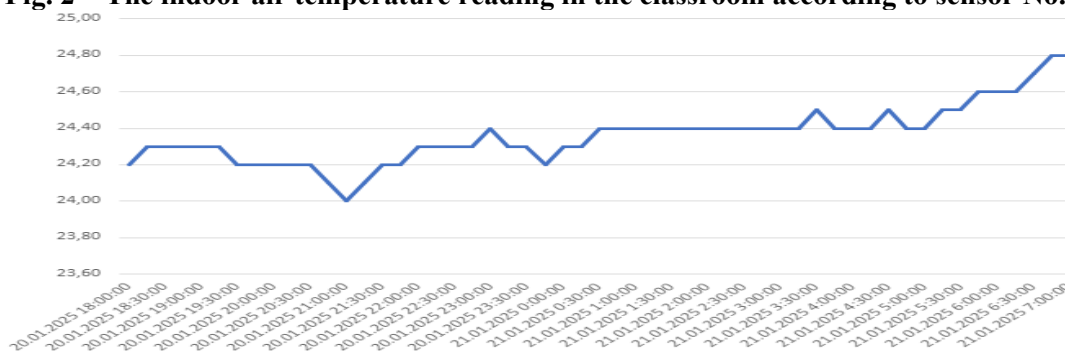


Рис. 3 – Значение температуры внутреннего воздуха в учебном классе по датчику № 2
Fig. 3 – The indoor air temperature reading in the classroom according to sensor No. 2

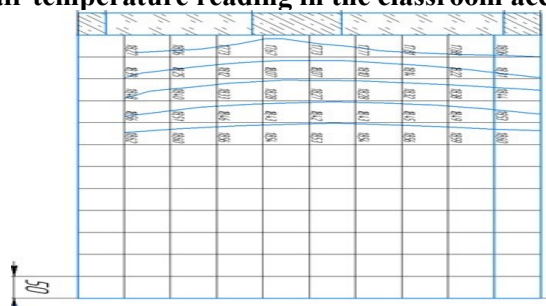


Рис. 4 – Значения результирующей температуры внутреннего воздуха в учебном классе на высоте 1,1 м. от пола при варианте 1 тепловой защиты здания

Fig. 4 – Values of the resulting indoor air temperature in a classroom at a height of 1.1 m from the floor for option 1 of the building's thermal protection

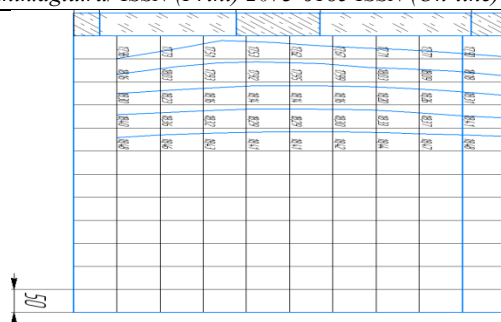


Рис. 5 – Значения результирующей температуры внутреннего воздуха в учебном классе на высоте 1,1 м. от пола при варианте 2 тепловой защиты здания

Fig. 5 – Values of the resulting indoor air temperature in a classroom at a height of 1.1 m from the floor for option 2 of the building's thermal protection

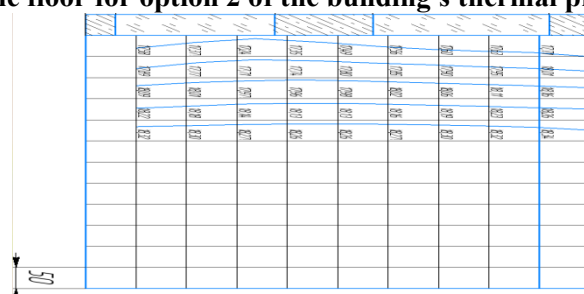


Рис. 6 – Значения результирующей температуры внутреннего воздуха в учебном классе на высоте 1,1 м. от пола при варианте 3 тепловой защиты здания

Fig. 6 – Values of the resulting indoor air temperature in a classroom at a height of 1.1 m from the floor for option 3 of the building's thermal protection

Вывод. Расхождения между расчетными и натурными значениями температуры обусловлены различиями в заданных граничных условиях, а также влиянием внутренних теплоступлений, не учитываемых в расчетной модели программы Ashar. Тем не менее, выявленные закономерности изменения результирующей температуры при различных уровнях тепловой защиты наружной стены носят устойчивый характер и подтверждаются результатами натурных измерений. Это позволяет рассматривать примененный расчетно-экспериментальный подход как корректный и обоснованный инструмент для анализа теплового режима учебных помещений и оценки влияния конструктивных решений ограждающих конструкций на формирование параметров внутреннего микроклимата.

Установлено, что на величину результирующей температуры существенное влияние оказывает светопрозрачная часть ограждающих конструкций – окна помещения. Вблизи оконных проемов формируются минимальные значения результирующей температуры. В исследуемом учебном классе в зоне воздействия окна располагаются рабочие места трех учащихся и преподавателя, что усиливает значимость выявленного температурного дискомфорта. Учебные столы размещены на расстоянии менее 500 мм от внутренней поверхности наружной стены, в результате чего рабочие места частично выходят за пределы нормативной рабочей зоны. Пребывание людей в зоне влияния окон, с точки зрения нормативных требований, является некомфортным и может оказывать неблагоприятное влияние на работоспособность и общее самочувствие.

Повышение сопротивления теплопередаче наружной стены приводит к более равномерному распределению результирующей температуры по объему помещения и снижению температурных градиентов в зонах примыкания ограждающих конструкций и светопрозрачных элементов [18].

Полученные результаты подтверждают целесообразность комплексного учета теплозащитных характеристик как наружных стен, так и оконных заполнений при проектировании и реконструкции учебных помещений с целью обеспечения нормативных параметров микроклимата в рабочей зоне [19-21]. Практическое применение результатов исследования возможно при обосновании проектных решений по тепловой защите ограждающих

конструкций общеобразовательных зданий, а также при корректировке планировочных решений, направленных на повышение теплового комфорта и улучшение санитарно-гигиенических условий пребывания обучающихся и преподавателей [22-25].

Библиографический список:

1. Bousiotis, Dimitrios and Sanghera, Dylan and Carrington, Jenny and Hodgkiss, Glyn and Jajarmi, Farzaneh and Rajab, Khalid and Pope, F. Parameterising the effect of human occupancy and kinetic energy on indoor air pollution // *Climate and Atmospheric Science*. 2026. Vol. 9. <https://doi.org/10.1038/s41612-025-01281-9>
2. Xu, Zhen. A Real-Time Precise Positioning Method for Indoor Robots Based on Multi-Sensor Fusion // *Journal of Social Science and Cultural Development*. 2026. Vol. 2. <https://doi.org/10.70767/jsscd.v2i9.829>
3. Zhang, Xueyan and Li, Rufe and Wang, Zhaoxuan and Li, Jing and Pan, Zichao and Wang, Jingkai and Zhang, Xingkuo. Relative risk and dalys assessment of indoor air pollutants in residential buildings - taking Dalian as an example // *BMC Public Health*. 2026. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-26133-2>
4. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Москва. Стандартинформ. 2019
5. Bayraktar, Arda and Ekici, Berk. Artificial intelligence for improving thermal comfort through envelope design in residential buildings: Recent developments and future directions // *Energy and Buildings*. 2026. P. 117007. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2026.117007>
6. Fedorczak-Cisak, Małgorzata and Radziszewska-Zielina, Elżbieta and Dechnik, Mirosław and Chowaniec, Aleksandra and Romanska-Zapala, Anna and Dudzińska, Anna. Comparative Study on Surface Heating Systems with and Without External Shading: Effects on Indoor Thermal Environment // *Energies*. 2025. Vol. 19. P. 223. <https://doi.org/10.3390/en19010223>
7. Vrusho, Borianana and Golgota, Alma and Dhoska, Klodian and Abotaleb, Mostafa. Improving energy efficiency strategy in residential buildings // *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi (JIITUJ)*. 2025. P. 380-392. <https://doi.org/10.22437/jiituj.v9i1.37924>
8. Маликова, О.Ю., Карпов, Д.Ф., Сазонова, Т.В. Исследование параметров внутреннего воздуха жилого здания при усовершенствовании системы вытяжной вентиляции // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2025. Т.52. №2. С.201-210. doi.org/10.21822/2073-6185-2025-52-2-201-210
9. Малявина Е.Г., Фролова, А.А., Ландырев, С.С. Распределение локальной асимметрии результирующей температуры по помещению // *Сантехника, Отопление, Кондиционирование*. 2021. № 10(238). С. 37-41
10. Корниенко, С.В. О возможности регулирования влажности воздуха в помещениях за счет правильного выбора строительных материалов и конструкций // *Энергосбережение*. 2025. № 1. С. 44-47
11. СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий. Актуализированная версия СНиП 23-02-2003. Москва. Стандартинформ. 2024
12. Jelena, Savic and Zorić, Andrija and Randelović, Dušan and Nedeljković, Miloš and Djuric Mijovic, Danijela. Retrofitting of Existing Residential Masonry Buildings Through Integrated Seismic and Energy Aspects: A Case Study of the City of Niš in Serbia // *Buildings*. 2025. Vol. 15. P. 3729. <https://doi.org/10.3390/buildings15203729>
13. Siewczynska, Monika and Rzeszut, Katarzyna and Kucz, Marlena. Factors Influencing the Health-Promoting Impact of Buildings // *Sustainability*. 2025. Vol. 17. P. 10304. <https://doi.org/10.3390/su172210304>
14. Kang, Yuan and Cang, Yingying and Zhang, Jingru and Zhou, Shiyuan. Assessment of Winter Indoor Humiture and Spatial Optimization of Rural Residential Buildings in Mengda National Nature Reserve, China // *Buildings*. 2025. Vol. 15. P. 1366. <https://doi.org/10.3390/buildings15081366>
15. Kareem, Humam and Kovács, Endre. Energy and cost savings in sustainable building walls: transient heat transfer simulation with PCM and TIM optimization // *Energy Conversion and Management X*. 2025. Vol. 28. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101227>
16. Liu, Sai and Chen, Gang and Li, Jian and Cao, Shi-Jie. Smart Skin for Zero Energy Buildings: A Review of Thermoresponsive Spectral-Adaptive Envelopes // *Advanced Materials*. 2025. Vol. 38. <https://doi.org/10.1002/adma.202511392>
17. Малявина, Е.Г., Фролова, А.А., Ландырев, С.С. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022615128. Программа для ЭВМ Ashar. № 2022613895, заявл. 17.03.2022. Оpubл. 29.03.2022
18. Rahmadyani, H and Felly, Rizka. Optimizing glass material and overhang performance in building envelopes through OTTV analysis to reduce building's thermal load // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2026. Vol. 1580. P. 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1580/1/012022>
19. Krzemien, Leszek and Strojecki, Marcin. Window Bevel Shape Optimization for Sustainable Daylighting and Thermal Performance in Buildings. *Sustainability*. 2025;17:1111. <https://doi.org/10.3390/su17031111>
20. Šadauskienė, Jolanta and Ramanauskas, Juozas and Krawczyk, Dorota and Klumbytė, Eglė and Fokaides, Paris. Investigation of Thermal Bridges of a New High-Performance Window Installation Using 2-D and 3-D Methodology // *Buildings*. 2022. Vol. 12. P. 572. <https://doi.org/10.3390/buildings12050572>

21. Liu, Xin and Zhang, Nan and Wang, Zhongshuai and Gao, Weijun. Seasonal Effects of Window-to-Wall Ratio and Glazing Combinations on Office Building Performance in Qingdao // *Buildings*. 2025. Vol. 15. P. 3156. <https://doi.org/10.3390/buildings15173156>
22. Bridgette, Erica and Vidyarini, Etika and Wibisono, Andriyanto. Thermal Comfort and Adaptive Behaviour in a Naturally Ventilated Heritage School: A Field Study in a Tropical Highland Climate // *Eduvest - Journal of Universal Studies*. 2026. Vol. 6. P. 264-274. <https://doi.org/10.59188/eduvest.v6i1.51900>
23. Handayani, Agil and Rosyidah, Dyah and Sari, Ninda and Muhammad, Dzul Fikri and Rifai, Ridwan and Wulandari, Fadila. School Building's Thermal Comfort Analysis: A Community Service Implementation to Develop Comfortable Learning Environment // *Wikrama Parahita: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 2025. Vol. 9. P. 162-170. <https://doi.org/10.30656/jpmwp.v9i2.10781>
24. Rodríguez-González, Violeta and Barbero-Barrera, María del Mar. Energy Performance and Thermal Comfort in Madrid School Buildings Under Climate Change Scenarios. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15. P. 9980. <https://doi.org/10.3390/app15189980>
25. Фролова, А.А., Карпов, Д.Ф., Вафаева, Х.М., Гаевская, З.А. Тепловизионное обследование общеобразовательных учреждений в г. Москве // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2025. Т.52. №1. С. 219-226. DOI.org/10.21822/2073-6185-2025-52-1-219-226

References:

1. Bousiotis, Dimitrios and Sanghera, Dylan and Carrington, Jenny and Hodgkiss, Glyn and Jajarmi, Farzaneh and Rajab, Khalid and Pope, F. Parameterising the effect of human occupancy and kinetic energy on indoor air pollution. *Climate and Atmospheric Science*. 2026; 9. <https://doi.org/10.1038/s41612-025-01281-9>
2. Xu, Zhen. A Real-Time Precise Positioning Method for Indoor Robots Based on Multi-Sensor Fusion. *Journal of Social Science and Cultural Development*. 2026; 2. <https://doi.org/10.70767/jsscd.v2i9.829>
3. Zhang, Xueyan and Li, Rufe and Wang, Zhaoxuan and Li, Jing and Pan, Zichao and Wang, Jingkai and Zhang, Xingkuo. Relative risk and dalys assessment of indoor air pollutants in residential buildings - taking Dalian as an example // *BMC Public Health*. 2026. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-26133-2>
4. State Standard 30494-2011. Residential and Public Buildings. Indoor Microclimate Parameters. Moscow. *Standartinform*. 2019. (In Russ.)
5. Bayraktar, Arda and Ekici, Berk. Artificial intelligence for improving thermal comfort through envelope design in residential buildings: Recent developments and future directions. *Energy and Buildings*. 2026;. 117007. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2026.117007>
6. Fedorcak-Cisak, Małgorzata and Radziszewska-Zielina, Elżbieta and Dechnik, Mirosław and Chowaniec, Aleksandra and Romanska-Zapala, Anna and Dudzińska, Anna. Comparative Study on Surface Heating Systems with and Without External Shading: Effects on Indoor Thermal Environment. *Energies*. 2025;19:223. <https://doi.org/10.3390/en19010223>
7. Vrusho, Boriana and Golgota, Alma and Dhoska, Klodian and Abotaleb, Mostafa. Improving energy efficiency strategy in residential buildings. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi (JIITUJ)*. 2025. P. 380-392. <https://doi.org/10.22437/jiituj.v9i1.37924>
8. Malikova, O.Y., Karpov, D.F., Sazonova, T.V. Investigation of internal air parameters in a residential building when improving the exhaust ventilation system. *Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2025;52(2):201-210. (In Russ.) <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2025-52-2-201-210>
9. Malyavina, E.G., Frolova, A.A., Landyrev, S.S. Distribution of Local Asymmetry of the Resultant Temperature within a Room // *Plumbing, Heating, Air Conditioning*. 2021;10 (238):37-41. (In Russ.)
10. Kornienko, S.V. On the Possibility of Regulating Indoor Air Humidity through the Proper Selection of Building Materials and Structures. *Energy Saving*. 2025;1:44-47. (In Russ.)
11. Code of Practice 50.13330.2024. Thermal Protection of Buildings. Updated Edition of Sanitary Rules and Regulations 23-02-2003. Moscow. *Standartinform*. 2024. (In Russ.)
12. Jelena, Savic and Zorić, Andrija and Randelović, Dušan and Nedeljković, Miloš and Djuric Mijovic, Danijela. Retrofitting of Existing Residential Masonry Buildings Through Integrated Seismic and Energy Aspects: A Case Study of the City of Niš in Serbia. *Buildings*. 2025;15:3729. <https://doi.org/10.3390/buildings15203729>
13. Siewczynska, Monika and Rzeszut, Katarzyna and Kucz, Marlena. Factors Influencing the Health-Promoting Impact of Buildings. *Sustainability*. 2025;17:10304. <https://doi.org/10.3390/su172210304>
14. Kang, Yuan and Cang, Yingying and Zhang, Jingru and Zhou, Shiyuan. Assessment of Winter Indoor Humiture and Spatial Optimization of Rural Residential Buildings in Mengda National Nature Reserve, China. *Buildings*. 2025;15:1366. <https://doi.org/10.3390/buildings15081366>
15. Kareem, Humam and Kovács, Endre. Energy and cost savings in sustainable building walls: transient heat transfer simulation with PCM and TIM optimization. *Energy Conversion and Management X*. 2025. Vol. 28. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101227>

16. Liu, Sai and Chen, Gang and Li, Jian and Cao, Shi-Jie. Smart Skin for Zero Energy Buildings: A Review of Thermoresponsive Spectral-Adaptive Envelopes. *Advanced Materials*. 2025;38. DOI.org/10.1002/adma.202511392
17. Malyavina, E.G., Frolova, A.A., Landyrev, S.S. Certificate of State Registration of Computer Program No. 2022615128. Computer Program Ashar. No. 2022613895, filed 17.03.2022. Publ. 29.03.2022. (In Russ)
18. Rahmadyani, H and Felly, Rizka. Optimizing glass material and overhang performance in building envelopes through OTTV analysis to reduce building's thermal load // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2026;1580:012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1580/1/012022>
19. Krzemien, Leszek and Strojecki, Marcin. Window Bevel Shape Optimization for Sustainable Daylighting and Thermal Performance in Buildings. *Sustainability*. 2025; 17:1111. DOI.org/10.3390/su17031111
20. Šadauskienė, Jolanta and Ramanauskas, Juozas and Krawczyk, Dorota and Klumbytė, Eglė and Fokaides, Paris. Investigation of Thermal Bridges of a New High-Performance Window Installation Using 2-D and 3-D Methodology. *Buildings*. 2022;12:572. <https://doi.org/10.3390/buildings12050572>
21. Liu, Xin and Zhang, Nan and Wang, Zhongshuai and Gao, Weijun. Seasonal Effects of Window-to-Wall Ratio and Glazing Combinations on Office Building Performance in Qingdao // *Buildings*. 2025. Vol. 15. P. 3156. <https://doi.org/10.3390/buildings15173156>
22. Bridgette, Erica and Vidyarini, Etika and Wibisono, Andriyanto. Thermal Comfort and Adaptive Behaviour in a Naturally Ventilated Heritage School: A Field Study in a Tropical Highland Climate // *Eduvest - Journal of Universal Studies*. 2026;6:264-274. <https://doi.org/10.59188/eduvest.v6i1.51900>
23. Handayani, Agil and Rosyidah, Dyah and Sari, Ninda and Muhammad, Dzul Fikri and Rifai, Ridwan and Wulandari, Fadila. School Building's Thermal Comfort Analysis: A Community Service Implementation to Develop Comfortable Learning Environment. *Wikrama Parahita: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 2025;9: 162-170. <https://doi.org/10.30656/jpmwp.v9i2.10781>
24. Rodríguez-González, Violeta and Barbero-Barrera, María del Mar. Energy Performance and Thermal Comfort in Madrid School Buildings Under Climate Change Scenarios. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15. P. 9980. <https://doi.org/10.3390/app15189980>
25. Frolova, A.A., Karpov, D.F., Vafaeva, Kh.M., Gaevskaya, Z.A. Thermal imaging survey of general education institutions in Moscow. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. 2025;52(1):219-226. DOI.org/10.21822/2073-6185-2025-52-1-219-226

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, кандидат технических наук, научный сотрудник; vafaeva.khm@gmail.com; ORCID 0000-0002-7422-5494

Воронов Александр Сергеевич, аспирант; 1142220725@rudn.ru; ORCID 0000-0001-6732-4155

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, Cand. Sci. (Eng.), Scientific Associate; vafaeva.khm@gmail.com; ORCID 0000-0002-7422-5494

Alexander S. Voronov, PhD student; 1142220725@rudn.ru; ORCID 0000-0001-6732-4155

Конфликт интересов/Conflict of interest.

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

Поступила в редакцию/Received 10.08.2025.

Одобрена после рецензирования/Reviced 20.09.2025.

Принята в печать/Accepted for publication 04.12. 2025.