

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2026. Т. 28. № 3. С. 191–202.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2026; 28 (3): 191–202.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 697.137.2

<https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-3-191-202>



EDN: HRWYEE

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

Кирилл Павлович Зубарев^{1,2,3}, Виктор Львович Добшиц³,
Вячеслав Владимирович Казунин³, Левон Гарегинович Гаранян³,
Дарья Сергеевна Синельникова³

¹Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, г. Москва, Россия

²Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук,
г. Москва, Россия

³Российский университет дружбы народов,
г. Москва, Россия

Аннотация. В статье представлен обзор современных методов математического моделирования температурных полей ограждающих конструкций зданий.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения энергетической эффективности строительных объектов, поскольку традиционные аналитические методы не позволяют в полной мере учитывать сложную геометрию узлов, неоднородность материалов, влияние влажности и конвекцию.

Цель работы: провести обзор литературы по исследованиям в области изучения температурных полей ограждающих конструкций зданий.

Были проанализированы российские и зарубежные источники, посвященные применению специализированных программных комплексов, таких как COSMOS DesignStar и COMSOL Multiphysics. Рассмотрены подходы к моделированию сложных узлов примыканий, учету совместного теплообмена в пористых материалах (на примере газобетона), а также методы оценки конвективного теплообмена в вентилируемых прослойках и нестационарных процессов в грунтовых массивах.

Результаты обзора показывают, что использование численных методов (конечных элементов, конечных разностей) и комбинированных моделей позволяет с высокой достоверностью прогнозировать зоны риска образования конденсата и промерзания, оптимизировать толщину теплоизоляции и снижать эксплуатационные затраты. Сделан вывод о высокой эффективности математического моделирования.

Ключевые слова: температурные поля, ограждающие конструкции, математическое моделирование, теплоперенос, нестационарная теплопроводность, энергоэффективность зданий, численные методы

Для цитирования: Зубарев, К.П., Добшиц, В.Л., Казунин, В.В., Гаранян, Л.Г., Синельникова, Д.С. Расчетные исследования температурных полей ограждающих конструкций зданий // Вестник Томского государственного архитектурно-

строительного университета. 2026. Т. 28. № 3. С. 191–202. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-3-191-202>. EDN: HRWYEE

ORIGINAL ARTICLE

TEMPERATURE FIELD ANALYSIS
OF ENCLOSING STRUCTURES

Kirill P. Zubarev^{1,2,3}, Victor L. Dobshits³, Vyacheslav V. Kazunin³,
Levon G. Garanyan³, Darya S. Sinelnikova³

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia

²Research Institute of Building Physics RAACS, Moscow, Russia

³RUDN University, Moscow, Russia

Abstract. The article provides an overview of advanced mathematical modeling methods of temperature fields of enclosing structures. The relevance of the study is due to the need to increase the energy efficiency of construction sites, since traditional analytical methods do not fully consider the geometry of nodes, heterogeneity of materials, humidity and convection.

Purpose: The purpose is the literature review in the field of temperature fields of enclosing structures.

Methodology: Russian and foreign research into specialized software, such as COSMOS DesignStar and COMSOL Multiphysics, are analyzed. Considered are approaches to modeling complex junctions, accounting for joint heat and moisture transfer in porous materials (aerated concrete) and evaluation of convective heat transfer in ventilated layers and non-stationary processes in groundwater.

Research findings: It is shown that numerical methods (finite elements, finite differences) and combined models allow predicting condensation and freezing with high reliability, optimizing the thickness of thermal insulation and reducing operating costs. The high efficiency of mathematical modeling is shown as a tool to design energy-efficient buildings, taking into account complex physical processes.

Keywords: temperature field, building envelope, mathematical modeling, heat transfer, non-stationary heat conduction, energy efficiency, numerical methods

For citation: Zubarev, K.P., Dobshits, V.L., Kazunin, V.V., Garanyan, L.G., Sinelnikova, D.S. Temperature Field Analysis of Enclosing Structures. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2026; 28(3): 191–202. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-3-191-202>. EDN: HRWYEE

Введение

Обеспечение энергетической эффективности зданий является одной из приоритетных задач современной строительной науки. Снижение теплотерь через наружные ограждающие конструкции – стены, светопрозрачные элементы и узлы примыкания – способствует уменьшению эксплуатационных затрат и снижению антропогенного воздействия на окружающую среду [1–3].

Традиционные аналитические методы теплотехнического расчета, основанные на стационарной теплопередаче, не позволяют в полной мере учесть сложную геометрию узлов, неоднородность материалов, влияние влажности и конвекции на теплоперенос в ограждающей конструкции [4–7].

Современные исследования активно используют методы математического моделирования в специализированных программных комплексах [8–11]. Учеными показана эффективность применения COSMOS DesignStar и COMSOL Multiphysics для этих целей [8, 9]. Важным направлением является моделирование сложных узлов, таких как примыкания стен к фундаментам, стыки оконных блоков, узлы внутреннего утепления и т. д. [11]. Также математические модели можно использовать для оптимизации параметров вертикальной периметральной теплоизоляции и исследования факторов, влияющих на теплопотери подземной части здания [12].

Существенный вклад в развитие методов вносят работы, учитывающие взаимное влияние различных теплотехнических характеристик строительных материалов. Теплопроводность строительного материала зависит от влагосодержания [13]. Учет влажности повышает точность расчета теплопереноса [14]. Учет конвективного теплообмена в воздушных прослойках вентилируемых фасадов может существенно повысить точность определения теплового потока через стену [15].

Цель настоящей работы – провести обзор литературы по исследованиям в области изучения температурных полей ограждающих конструкций зданий, который заключался в изучении и описании как российских, так и зарубежных источников. Использовались российские статьи из списка ВАК. Описывались зарубежные источники, проиндексированные в международных базах данных (Scopus и Web of Science).

Обсуждение и результаты

Математическое моделирование температурных полей сложных узлов стен зданий с применением специализированных программных комплексов

П.В. Семякин и соавторы провели сопоставительный анализ фактических температурных показателей, снятых с ограждающих конструкций, с данными теоретической модели. Инструментом для проведения теплотехнической симуляции послужил программный комплекс COSMOS DesignStar, ориентированный на 3D-моделирование. Возможности этой среды позволяют воссоздать наглядную объемную тепловую картину и произвести расчет средних значений температуры на внутренних гранях конструкции (рис. 1). Основой расчетной модели выступает система дифференциальных уравнений теплового переноса в элементах здания, которая аппроксимируется с помощью метода конечных элементов для лучшего совпадения с критикой [8]. Условия на границах модели авторы принимали, опираясь на СП 50.13330.2012¹ [8].

В результате были достоверно определены зоны риска (образование конденсата и промерзание в узлах) при экстремально низких температурах [8].

С.В. Саргсян и В.В. Агафонова выполнили исследование теплопереноса через двуслойную ограждающую конструкцию с помощью численного моделирования в программном комплексе COMSOL Multiphysics. Они оценили возможность уменьшения толщины слоя утеплителя в составе фасадного пирога.

¹ СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий: Свод правил: издание официальное: актуализированная редакция СНиП 23-02-2003: дата введения 2013-07-01. Москва: Минрегион России, 2012. 100 с.

Задача решалась в стационарной трехмерной постановке с граничными условиями III рода, а теплотехнические характеристики материалов были приняты по нормативной литературе [9].

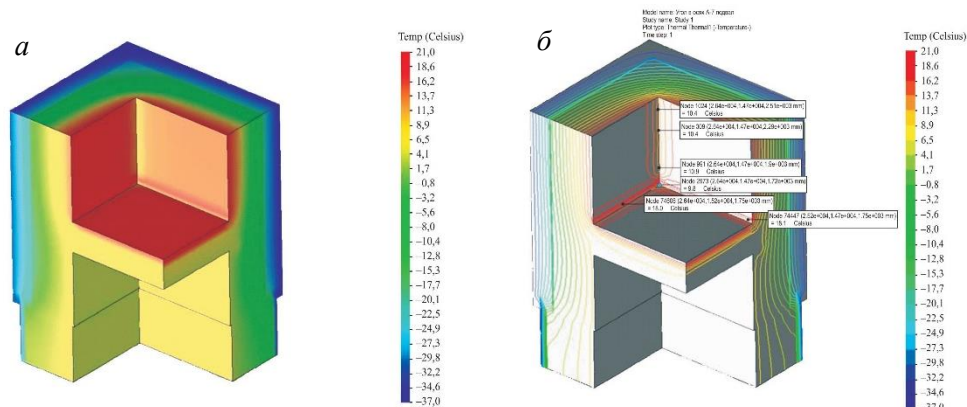


Рис. 1. Математическое моделирование трехмерного узла здания по данным П.В. Семкина с соавторами [8]:

a – угол, образованный плитой над подвалом и наружными стенами; b – изотермы

Fig. 1. FEM of a three-dimensional building node based on data from Semkin et al. [8]:

a – angle between the slab above the basement and outer walls; b – isotherms

Во всех регионах наблюдается разный климат, поэтому универсальные решения для утепления часто неэффективны или экономически неоправданны. Предложенная расчетная методика учитывает это, благодаря чему можно достаточно точно определить наименьшую толщину слоя, необходимого для утепления стены. Эффективность такого подхода подтверждается хорошей схожимостью результатов математического моделирования с результатами инженерно-аналитического расчета. В итоге индивидуальный подход при выборе теплоизоляционных материалов и определении их толщины значительно уменьшает стоимость стеновых панелей при устройстве фасадов жилого здания [9].

Учет влажности в математическом моделировании температурного поля

Н.А. Цветков с соавторами выполнили численное моделирование нестационарных процессов совместного тепло- и массопереноса в плоской однородной стене из газобетона марки D400. В расчете учитывались климатические условия г. Томска [14].

Модель базируется на одномерных уравнениях нестационарного тепло-массопереноса в пористых средах [11, 14]. Теплопроводность газобетона задавалась как функция от удельного влагосодержания и текущей температуры [14].

Влияние штукатурных слоев учитывалось через коэффициенты сопротивления паропрооницанию [Там же].

Для большей наглядности полученные данные были представлены в виде графиков. На них можно увидеть, как влага распределяется по толщине различных вариантов штукатурки. С помощью этих данных можно предполагать накопление влаги в стене из газобетона. Пример результатов представлен на рис. 2.

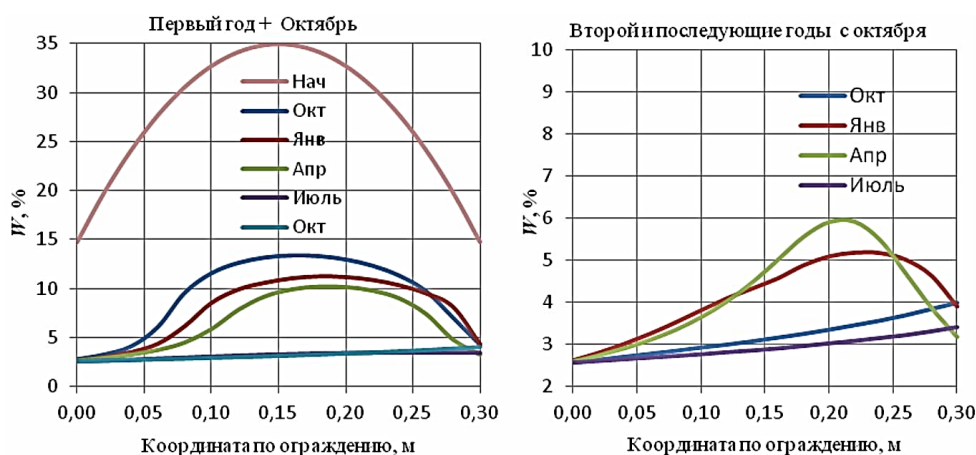


Рис. 2. Распределение влажности по толщине стены из газобетона [14]
Fig. 2. Moisture distribution across the wall thickness made of aerated concrete [14]

Учет конвекции при математическом моделировании теплопередачи

В исследовании А.Ю. Окунева и Е.В. Левина предложена гибридная физико-математическая модель нестационарного теплопереноса (рис. 3). Особенность модели заключается в совместном решении двух связанных подобластей, между которыми обмен тепловыми потоками описывается посредством сопряженных граничных условий [15].

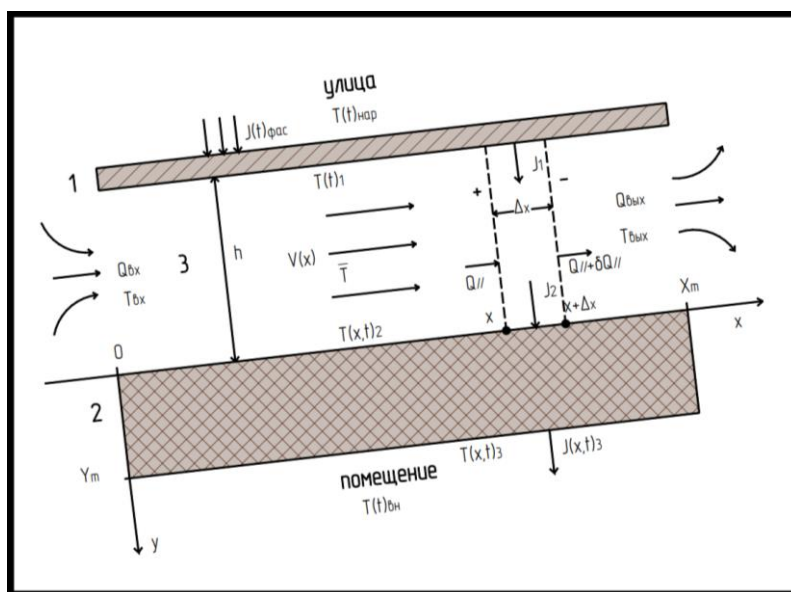


Рис. 3. Схематическое устройство фасадной системы с плоским вентилируемым зазором [15]:
1 – внешняя граница вентиляционного канала; 2 – основание, теплоизоляционный слой; 3 – воздушная полость зазора
Fig. 3. Schematic of facade system with air-ventilated gap [15]:
1 – outer boundary of the ventilation duct; 2 – foundation, heat-insulating layer; 3 – air gap

Конвективная подобласть включает в себя элемент 1 (внешний слой) и элемент 3 (воздушную полость). Вычисления в этой зоне выполняются итерационным способом [15].

Для элемента прослойки длиной Δx , шириной B и толщиной h уравнение теплового баланса записывается в виде

$$\begin{cases} \delta Q_{//} = B \Delta x (J_1 - J_2); \\ J_1 = L_1 (T_1 - \bar{T}) + \sigma \varepsilon_{\text{прив}} (T_1^4 - T_2^4); \\ J_2 = L_2 (\bar{T} - T_2) + \sigma \varepsilon_{\text{прив}} (T_1^4 - T_2^4), \end{cases} \quad (1)$$

где L_1, L_2 – локальные коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м²·К); $\delta Q_{//}$ – изменение среднего по сечению продольного теплового потока, который переносится воздухом, Вт; J_1, J_2 – плотности тепловых потоков, проходящих соответственно через внешнюю и внутреннюю границы вентилируемой прослойки, Вт/м²; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – постоянная Стефана – Больцмана; T_1, T_2 – температуры ограничивающих прослойку поверхностей: внешнего покрытия и наружной поверхности основной стены, К; $\bar{T}$ – осредненная по поперечному сечению температура воздушной среды внутри прослойки, К; $\varepsilon_{\text{прив}}$ – приведенный коэффициент излучения.

Изменение продольного конвективного потока вычисляется по следующей формуле:

$$\delta Q_{//} = B h \rho V C_B (\bar{T}_- - \bar{T}_+), \quad (2)$$

где ρ – плотность воздуха, заполняющего прослойку, кг/м³; V – осредненная по сечению скорость движения воздуха внутри прослойки, м/с; C_B – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К).

Из (1) и (2) получается выражение для температуры воздуха на выходе из элемента

$$\bar{T}_- = \frac{\Delta x (J_1 - J_2)}{h \langle \rho \rangle \langle V \rangle C_B} + \bar{T}_+. \quad (3)$$

Для определения коэффициентов теплоотдачи L используются числа Рейнольдса (Re), Грасгофа (Gr), Прандтля (Pr) и Нуссельта (Nu). В зависимости от режима течения (ламинарный/турбулентный) и типа конвекции применяются различные критериальные уравнения для нахождения Nu, а затем и L [15].

Транмиссионная подобласть включает конструкцию 2 и внутренний объем помещения. В рамках предложенной физико-математической модели оценивается теплообмен, происходящий между гранью $[0-X_m; 0]$ и помещением через границу $[0-X_m; Y_m]$ (рис. 3). Для этого численно решается двумерное нестационарное уравнение теплопроводности методом конечных разностей с использованием схемы Дюфорта – Франкеля, что обеспечивает устойчивость счета при крупных временных шагах [Там же]:

$$C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right], \quad (4)$$

где C_p – объемная теплоемкость материала, Дж/(м³·К); λ – теплопроводность, Вт/(м·К); x – координата вдоль прослойки, y – по толщине стены.

На каждом шаге по времени результаты из «конвективной области» (тепловой поток J_2) передаются как граничное условие для расчета в «трансмиссионной области», и наоборот. Это позволяет эффективно связывать быстрые и медленные процессы [15].

Разработанная модель позволяет учитывать конвективный теплообмен (как вынужденный, так и естественный) в вентилируемой прослойке через критерии подобия, рассчитывать нестационарные тепlopоступления с высокой эффективностью за счет комбинирования аналитических и численных методов, применять полученные результаты для оптимизации теплoзащиты зданий с вентилируемыми фасадами и кровлями [Там же].

Расчеты процессов нестационарного теплопереноса в грунте

В исследовании Д.В. Крайнова и И.А. Масленникова анализируется нестационарный режим теплопередачи через заглубленную часть стены. Авторам удалось выявить ключевые параметры, оказывающие значительное влияние на величину тепlopотерь подземной части сооружения [12].

Для достижения поставленной цели были применены численные методы, позволяющие решать двумерное нестационарное уравнение теплопроводности. В качестве расчетной геометрической модели был выбран отдельный фрагмент заглубленной конструкции здания. Важно отметить, что данный фрагмент со всех сторон контактирует с грунтом, т. е. полностью окружен им (соответствующая схема приведена на рис. 4).

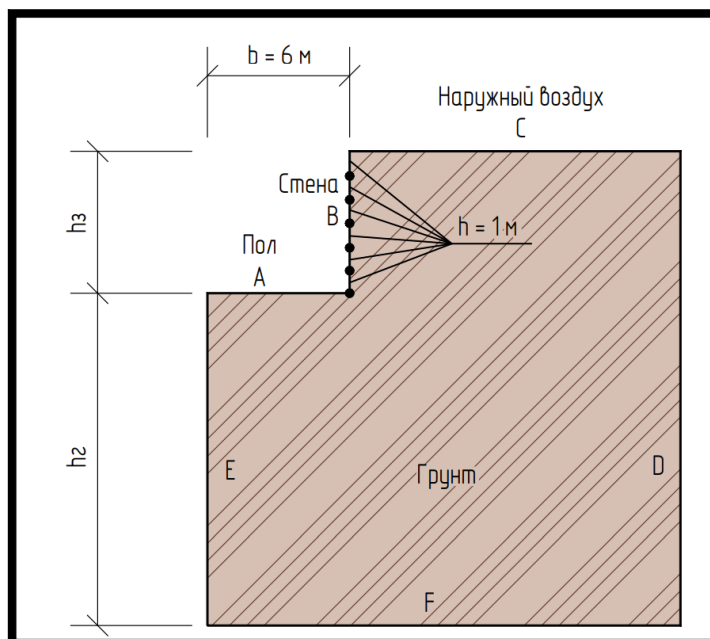


Рис. 4. Расчетная модель [12]
Fig. 4. Calculation model [12]

Во избежание искажений, вносимых отдельными слоями ограждения, ряд материалов стен и перекрытий был намеренно исключен из расчетной схемы. Грунтовое основание моделировалось как изотропная среда, теплофизические характеристики которой (коэффициент теплопроводности, объемная масса и удельная теплоемкость) принимались неизменными по всей толще. Величины этих параметров задавались в диапазоне, характерном для массовых разновидностей почв. Указанный прием позволил количественно установить, насколько вариация грунтовых условий сказывается на утечке тепла через стеновую конструкцию. В роли обобщенного критерия выступал коэффициент температуропроводности почвы. Совокупность полученных данных была визуализирована в форме графических зависимостей [12].

Заключение

В рамках проведенного обзора были подробно проанализированы работы, посвященные различным аспектам математического моделирования температурных полей ограждающих конструкций.

П.В. Семикин с соавторами выполнил сопоставление результатов натуральных измерений с теплотехническими расчетами в программе трехмерного твердотельного моделирования COSMOS DesignStar. Использование метода конечных элементов позволило авторам с высокой достоверностью определить зоны риска образования конденсата и промерзания в узлах ограждающих конструкций при экстремально низких температурах.

С.В. Саргсян и В.В. Агафонова провели численный анализ теплопроводности двухслойной стеновой панели, используя программный комплекс COMSOL Multiphysics. Сопоставление результатов численного моделирования с инженерно-аналитическим расчетом показало их хорошую корреляцию. Это послужило подтверждением того, что предложенная методика способна точно определять минимальную толщину наружного утеплителя для зданий, возводимых в конкретных климатических условиях.

Н.А. Цветков с соавторами выполнил численное моделирование нестационарных процессов совместного тепловлагопереноса в плоской однородной стене из газобетона. Учет зависимости теплопроводности материала от влагосодержания и температуры, а также сопротивления паропрооницанию штукатурных слоев позволил авторам получить распределение влажности по толщине стены и спрогнозировать возможное накопление влаги в конструкции.

А.Ю. Окунев и Е.В. Левин разработали комбинированную модель, описывающую нестационарный перенос тепла в двух связанных областях: конвективной (вентилируемая прослойка) и трансмиссионной (твердые элементы конструкции). Применение критериальных уравнений для определения коэффициентов теплоотдачи и схемы Дюфорта – Франкеля для решения уравнения теплопроводности позволило эффективно связывать быстрые и медленные процессы, учитывая как вынужденную, так и естественную конвекцию.

Д.В. Крайнов и И.А. Масленников исследовали нестационарную теплопередачу стены, контактирующей с грунтом. Для этого они применили численные методы решения двумерного уравнения теплопроводности. Из расчетной модели были исключены материалы, из которых выполнены стена и пол,

что позволило авторам выявить, в какой степени свойства грунта (прежде всего его коэффициент теплопроводности) влияют на теплопотери через заглубленную часть здания. Все полученные результаты были оформлены в виде графиков.

Проведенный обзор литературы позволяет сделать вывод о том, что современные методы математического моделирования являются высокоэффективным инструментом для исследования температурных полей ограждающих конструкций зданий. Применение специализированных программных комплексов дает возможность с высокой точностью решать задачи стационарной и нестационарной теплопроводности для узлов со сложной геометрией и физической неоднородностью.

Перспективы дальнейших исследований лежат в плоскости интеграции различных физико-математических моделей в единые мультифизические расчетные комплексы, а также в совершенствовании методов экспериментальной верификации – создании масштабированных физических моделей и проведении длительных натурных испытаний. Это позволит повысить достоверность результатов численного моделирования и обеспечить принятие обоснованных проектных решений при создании энергоэффективных зданий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Jezierski, W., Sadowska, B., Pawłowski, K. Impact of Changes in the Required Thermal Insulation of Building Envelope on Energy Demand, Heating Costs, Emissions, and Temperature in Buildings // *Energies*. 2021. V. 14. I. 1. Art. 56. <https://doi.org/10.3390/en14010056>
2. Черноиван, В.Н., Торхова, А.В., Черноиван, Н.В., Новосельцев, В.Г. Предложения по нормированию сопротивления теплопередаче утепленных стен жилых зданий в Республике Беларусь // *Вестник МГСУ*. 2021. Т. 16. № 7. С. 828–837. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.7.828-837. EDN: CPYESX
3. Вытчиков, Ю.С., Вытчиков, А.Ю., Сапарёв, М.Е., Чулков, А.А. Особенности расчета расхода тепла на отопление энергоэффективных зданий // *Градостроительство и архитектура*. 2021. Т. 11. № 4 (45). С. 66–71. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.8. EDN: SUJPEX
4. Ponechal, R., Barňák, P., Ďurica, P. Comparison of Simulation and Measurement in a Short-Term Evaluation of the Thermal Comfort Parameters of an Office in a Low-Carbon Building // *Buildings*. 2022. V. 12. I. 3. Art. 349. <https://doi.org/10.3390/buildings12030349>
5. Kočí, J., Maděra, J., Khmurovská, Y., Štemberk, P., Černý, R. A Fuzzy Logic Concept for Predicting the Seasonal Thermal Performance of Building Envelopes Based on Structural and Geographical Parameters // *Energies*. 2023. V. 16. I. 23. Art. 7719. <https://doi.org/10.3390/en16237719>
6. Козлов, В.В., Тимирханов, Л.П. Проблемы назначения нормативных требований к приведенному сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций // *Известия вузов. Строительство*. 2022. № 4 (760). С. 67–74. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-760-4-67-74. EDN: GLXEUR
7. Rendu, M., Le Dréau, J., Salagnac, P., Doya, M. Influence of Boundary Conditions on the Estimation of Thermal Properties in Insulated Building Walls // *Buildings*. 2024. V. 14. I. 12. Art. 3706. <https://doi.org/10.3390/buildings14123706>
8. Семикин, П.В., Должиков, В.Н., Бацунова, Т.П. Натурное обследование и теплотехнический расчет термически неоднородных ограждающих конструкций зданий // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2021. № 5 (749). С. 97–106. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-749-5-97-106. EDN: NXIDWK
9. Саргсян, С.В., Агафонова, В.В. Учет влияния неоднородностей в стеновой панели на величину сопротивления теплопередаче // *Вестник МГСУ*. 2024. Т. 19. № 4. С. 631–644. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.4.631-644. EDN: BIPYSM

10. Выхчиков, Ю.С., Беляков, И.Г., Сапарёв, М.Е. Оценка теплозащитных характеристик строительных ограждающих конструкций здания гостиницы мужского монастыря // Градостроительство и архитектура. 2021. Т. 11. № 4 (45). С. 72–80. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.9. EDN: NVTJXW
11. Mukin, D., Valdaytseva, E., Turichin, G., Vildanov, A. An Extended Analytical Solution of the Non-Stationary Heat Conduction Problem in Multi-Track Thick-Walled Products during the Additive Manufacturing Process // Materials. 2021. V. 14. I. 23. Art. 7291. <https://doi.org/10.3390/ma14237291>
12. Крайнов, Д.В., Масленников, И.А. К вопросу определения теплопотерь через стену в грунте // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. № 4 (62). С. 96–107. DOI: 10.52409/20731523_2022_4_96. EDN: JSPCJU
13. Chen, Y., Mao, C., Chen, G., He, Y. Impact of Moisture Migration on Heat Transfer Performance at Vertical Joints of ‘One-Line’ Sandwich Insulation Composite Exterior Walls // Buildings. 2025. V. 15. I. 7. Art. 1084. <https://doi.org/10.3390/buildings15071084>
14. Цветков, Н.А., Толстых, А.В., Дорошенко, Ю.Н., Абдулин, А.А. Взаимосвязанный тепло- и массоперенос в наружной стене из газобетона со слоями штукатурного раствора на ее поверхностях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 3. С. 208–219. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-3-208-219. EDN: XFZSRD
15. Окунев, А.Ю., Левин, Е.В. Моделирование нестационарного теплообмена через ограждающие конструкции с легкими вентилируемыми фасадами и кровлями // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 1. С. 142–156. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-142-156. EDN: OQCXZQ

REFERENCES

1. Jezierski, W., Sadowska, B., Pawłowski, K. Impact of Changes in the Required Thermal Insulation of Building Envelope on Energy Demand, Heating Costs, Emissions, and Temperature in Buildings. *Energies*. 2021; 14(1): 56. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14010056>
2. Chernoiivan, V.N., Torkhova, A.V., Chernoiivan, N.V., Novoseltsev, V.G. Standardization Proposals for Heat Transfer Resistance of Insulated Walls of Residential Buildings in Belarus. *Vestnik MGSU*. 2021; 16(7): 828–837. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.7.828-837. EDN: CPYESX (In Russian)
3. Vytchikov, Yu.S., Vytchikov, A.Yu., Saparev, M.E., Chulkov, A.A. Heat Consumption Analysis for Heating of Energy-Efficient Building. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura*. 2021; 11(4 (45)): 66–71. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.8. EDN: SUJPEX (In Russian)
4. Ponechal, R., Barňák, P., Ďurica, P. Comparison of Simulation and Measurement in a Short-Term Evaluation of the Thermal Comfort Parameters of an Office in a Low-Carbon Building. *Buildings*. 2022; 12(3): 349. <https://doi.org/10.3390/buildings12030349>
5. Kočí, J., Maděra, J., Khmurovská, Y., Štemberk, P., Černý, R. A Fuzzy Logic Concept for Predicting the Seasonal Thermal Performance of Building Envelopes Based on Structural and Geographical Parameters. *Energies*. 2023; 16(23): 7719. <https://doi.org/10.3390/en16237719>
6. Kozlov, V.V., Timirkhanov, L.R. Problems of Establishing Regulatory Requirements for the Reduced Heat Transfer Resistance of Enclosing Structures. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2022; 4(760): 67–74. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-760-4-67-74. EDN: GLXEUR (In Russian)
7. Rendu, M., Le Dréau, J., Salagnac, P., Doya, M. Influence of Boundary Conditions on the Estimation of Thermal Properties in Insulated Building Walls. *Buildings*. 2024; 14(12): 3706. <https://doi.org/10.3390/buildings14123706>
8. Semikin, P.V., Dolzhikov, V.N., Batsunova, T.P. Field Survey and Engineering Calculation of Thermally Inhomogeneous Enclosing Structures. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2021; 5(749): 97–106. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-749-5-97-106. EDN: NXIDWK (In Russian)
9. Sargsyan, S.V., Agafonova, V.V. Influence of Wall Panel Inhomogeneities on Heat Transfer Resistance. *Vestnik MGSU*. 2024; 19(4): 631–644. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.4.631-644. EDN: BIPYSM (In Russian)

10. Vytchikov, Yu.S., Belyakov, I.G., Saparev, M.E. Thermal Protection of Enclosing Structures of Men's Monastery Hotel Building. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura*. 2021; 11(45): 72–80. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.9. EDN: NVTJXW (In Russian)
11. Mukin, D., Valdaytseva, E., Turichin, G., Vildanov, A. An Extended Analytical Solution of the Non-Stationary Heat Conduction Problem in Multi-Track Thick-Walled Products during the Additive Manufacturing Process. *Materials*. 2021; 14(23): 7291. <https://doi.org/10.3390/ma14237291>
12. Krainov, D.V., Maslennikov, I.A. On Heat Loss through a Wall in Soil. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2022; 4(62): 96–107. DOI: 10.52409/20731523_2022_4_96. EDN: JSPCJU (In Russian)
13. Chen, Y., Mao, C., Chen, G., He, Y. Impact of Moisture Migration on Heat Transfer Performance at Vertical Joints of 'One-Line' Sandwich Insulation Composite Exterior Walls. *Buildings*. 2025; 15(7): 1084. <https://doi.org/10.3390/buildings15071084>
14. Tsvetkov, N.A., Tolstykh, A.V., Doroshenko, Yu.N., Abdulin, A.A. Correlation Between Heat and Mass Transfer in Foam Concrete External Wall Covered with Plaster Mortar. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2025; 27 (3): 208–219. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-3-208-219. EDN: XFZSRD (In Russian)
15. Okunev A.Yu., Levin E.V. Modeling of Unsteady Heat Transfer through Building Envelopes with Light Ventilated Facades and Roofs. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2025; 27(1): 142–156. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2025-27-1-142-156>. EDN: OQCXZQ (In Russian)

Сведения об авторах

Кирилл Павлович Зубарев, канд. техн. наук, доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; ст. научный сотрудник, Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, 21; доцент, ведущий научный сотрудник, Российский университет дружбы народов, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, zubarevkirill93@mail.ru

Виктор Львович Добшиц, аспирант, Российский университет дружбы народов, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, 89153383886@mail.ru

Вячеслав Владимирович Казунин, аспирант, Российский университет дружбы народов, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, kvv-vyacheslav@yandex.ru

Левон Гарегинович Гараян, аспирант, Российский университет дружбы народов, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Levongaranyan@yandex.ru

Синельникова Дарья Сергеевна, студентка, лаборант-исследователь, Российский университет дружбы народов, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, aap86758@mail.ru

Authors Details

Kirill P. Zubarev, PhD, A/Professor, The National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoe Road, 129337, Moscow, Russia; Research Institute of Building Physics RAACS, 21, Lokomotivnyi Ave., 127238, Moscow, Russia; RUDN University, 6, Miklukho-Maklay Str., 117198, Moscow, Russia, zubarevkirill93@mail.ru

Victor L.Dobshits, Research Assistant, RUDN University, 6, Miklukho-Maklay Str., 117198, Moscow, Russia, 89153383886@mail.ru

Vyacheslav V. Kazunin, Research Assistant, RUDN University, 6, Miklukho-Maklay Str., 117198, Moscow, Russia, kvv-vyacheslav@yandex.ru

Levon G. Garanyan, Research Assistant, RUDN University, 6, Miklukho-Maklay Str., 117198, Moscow, Russia, Levongaranyan@yandex.ru

Darya S. Sinelnikova, Student, Research Assistant, RUDN University, 6, Miklukho-Maklay Str., 117198, Moscow, Russia, aap86758@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.04.2026
Одобрена после рецензирования 21.05.2026
Принята к публикации 21.05.2026

Submitted for publication 21.04.2026
Approved after review 21.05.2026
Accepted for publication 21.05.2026