

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 699.86

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-2-96-104

*А.Н. БЕЛОУС, О.Е. БЕЛОУС, С.В. КРАХИН,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры*

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В ТОЛЩЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ СУТОЧНОМ ЦИКЛЕ ЛЕТНЕГО ПЕРИОДА

Нормируемым показателем является сопротивление теплопередаче как основной фактор, играющий главную роль в оценке энергоэффективности тепловой оболочки здания. В условиях изменений климата последних десятилетий в направлении повышения средней суточной температуры в летний период все актуальнее становится задача теплоустойчивости наружных ограждающих конструкций. Решение данной задачи сводилось к предположению, что тепловой поток в ограждающей конструкции направлен от наружной поверхности к внутренней. В статье рассматривается распределение теплового потока во времени в толще ограждения и приводится анализ его перераспределения. Также представлен сравнительный анализ данных, полученных путем моделирования нестационарного теплового потока и вычисленных значений классическим методом решения задачи теплоустойчивости.

Ключевые слова: температура; перераспределение; ограждающие конструкции; нестационарный режим; тепловой поток.

Для цитирования: Белоус А.Н., Белоус О.Е., Крахин С.В. Перераспределение теплового потока в толще ограждающей конструкции при суточном цикле летнего периода // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 2. С. 96–104.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-2-96-104

*A.N. BELOUS, O.E. BELOUS, S.V. KRAKHIN,
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*

HEAT FLOW REDISTRIBUTION IN WALL STRUCTURE DURING DIURNAL CYCLE IN SUMMER

The standardized indicator is the heat transfer resistance as the main factor that plays the main role in assessing the energy efficiency of the thermal envelope of a building. During the last decades, the climatic conditions change toward the increase in average daily temperature in the summer period. Thus, the thermal resistance of external wall structures becomes more

and more urgent. This problem is reduced to an assumption that the heat flow in the wall structure is directed from the external surface to the internal. This paper analyzes the heat flow distribution and redistribution in time in the wall structure. The paper presents a comparative analysis of the modelling and calculation results of the nonstationary heat flow for solving the thermal stability problem.

Keywords: temperature; redistribution; wall structure; nonstationary heat flow.

For citation: Belous A.N., Belous O.E., Krakhin S.V. Pereraspredelenie teplovogo potoka v tolshche ograzhdayushchei konstruksii pri sutochnom tsikle letnego perioda [Heat flow redistribution in wall structure during diurnal cycle in summer]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 2. Pp. 96–104. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-2-96-104

Введение

Учитывая тот факт, что наружные ограждающие конструкции представляют собой многослойные системы, которые имеют большое количество различных теплопроводных включений, при их проектировании и расчете особое внимание необходимо уделить приведённому сопротивлению теплопередаче [1–7]. Для теоретического определения приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций были разработаны различные методики [8–12]. Данные требования к проектированию ограждающих конструкций в первую очередь были созданы для экономии энергетических ресурсов, что является одной из самых актуальных проблем, т. к. это связано с постоянным ростом стоимости на электроэнергию и прочие энергоносители. Но необходимо помнить о том, что жилые здания также должны соответствовать условиям комфортности. При оценке (наружных ограждающих конструкций) эксплуатации жилых и общественных зданий в летний период года необходимо учитывать все особенности летнего теплового режима, для которого характерна периодичность, связанная с суточным колебанием параметров наружного воздуха и интенсивностью солнечной радиации. Профессор В.Н. Богословский [13] предложил ограничить амплитуду колебания температуры на внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций в летний период года, что соответствует 2-му условию комфортности.

В 60-х гг. XX в. А.М. Шкловер в своих трудах решил многие задачи, связанные с теплоустойчивостью наружных ограждающих конструкций и помещений. Была определена зависимость теплоустойчивости наружных ограждений от их конструктивного решения [14]. Но в данных работах представлены в основном только многослойные ограждающие конструкции без рассмотрения внутренних процессов аккумулялирования и перераспределения теплового потока.

Развитие методик расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций в своих трудах предложили российские ученые [15–18]. Отдельные вопросы нестационарного режима ограждающих конструкций решали в своих трудах и иностранные ученые [19–21]. Основной особенностью всех этих работ является рассмотрение теплового потока как вектора, направленного от наружной поверхности к внутренней, без учета возможности нагрева предыдущего слоя или его части, что не соответствует второму закону термодинамики.

Целью настоящего исследования является выявление перераспределения тепловых потоков в толще ограждающих конструкций при нестационарном тепловом режиме.

Методы

Для построения температурного поля во времени в толще ограждающей конструкции необходимо решить уравнение Фурье при нестационарном режиме теплового потока. Решение сводится к описанию граничных условий и нахождению частных производных. Одним из возможных путей решения является моделирование данной задачи в программном комплексе. Из возможных доступных программ выступает ELCUT 6.4, которая позволяет решать подобные задачи методом конечных элементов. Моделирование сводится к построению геометрической схемы, разбивке модели на сетку конечных элементов, описанию физических параметров материалов (плотность, теплопроводность, теплоемкость), назначению граничных условий и источников тепла с учетом изменений во времени. Большинство операций по вводу данных происходят в оконных режимах программы и являются справочными величинами.

Совместное воздействие температуры наружного воздуха и солнечной радиации на наружную поверхность ограждающей конструкции можно выразить через эффективную температуру воздуха у наружной поверхности ограждения $T_{\text{усл}}$, К, которую можно рассчитывать по формуле

$$T_{\text{усл}} = T_{\text{н}} \sqrt[4]{\frac{G(\alpha)}{G_{\text{сп}}(\alpha)} + r \frac{I(\alpha, \beta) + i(\alpha, \beta)}{\alpha_{\text{н}}}}, \quad (1)$$

где α и β – угловая высота и азимут нормали к поверхности в данной точке; $T_{\text{н}}$ – температура наружного воздуха, К; G , I , i – энергетическая освещенность поверхности в данной точке соответственно тепловой, прямой солнечной и рассеянной солнечной радиацией, Вт/м²; $G_{\text{сп}}$ – пространственная интенсивность тепловой радиации, Вт/м²; r – альbedo поверхности в долях единицы; $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплообмена между наружной поверхностью ограждения и наружным воздухом, Вт/(м²·К).

Распределение температуры у наружной поверхности в модели необходимо задавать по закону косинуса с максимумом и минимумом значений в 3 часа дня и 3 часа ночи по солнечному времени, вычисленных согласно формуле (1).

Результаты исследования

В программном комплексе ELCUT 6.4 произведено моделирование нестационарного температурного режима для трех схем. Первая и вторая схемы – однородная однослойная ограждающая конструкция из пенобетона плотностью 800 кг/м³ и тяжелого железобетона толщиной 300 мм. Третья схема представляет собой трехслойную ограждающую конструкцию с наружными слоями из железобетона толщиной по 80 мм и внутренним слоем из базальтовой ваты плотностью 80 кг/м³ и толщиной 140 мм.

В результате анализа изменения температурного поля однородной зоны во времени обнаружен эффект аккумуляции тепла внутренними слоями.

Рассмотрим детально распределение температурного потока во времени (рис. 1) для ограждающей конструкции из пенобетона. Для этого разобьем цикл колебания температур внутри ограждающей конструкции в зависимости от воздействия наружного воздуха и солнечной радиации на шесть этапов. Отсчет первого этапа начинается с достижения максимальной температуры в ограждающей конструкции (рис. 1, *a*). Второй этап начинается с начала охлаждения наружной поверхности, при этом фиксируется продолжение проникновения и сохранения максимальной температуры в толще конструкции (рис. 1, *б*).

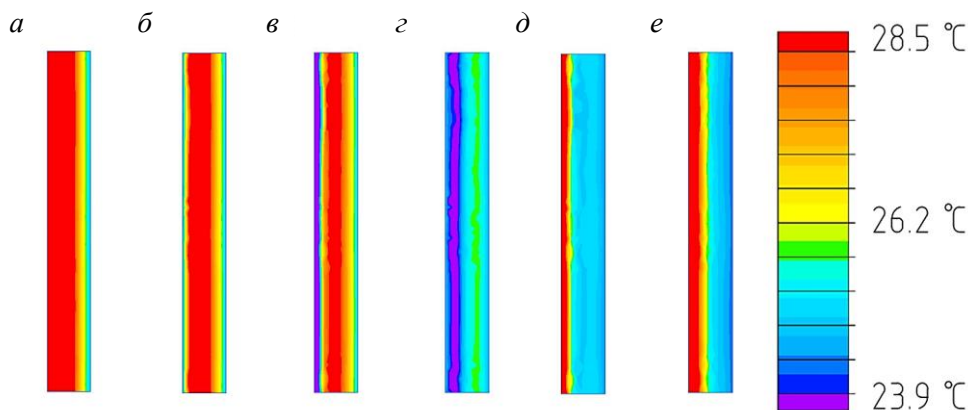


Рис. 1. Распределение температурного поля в толще ограждающей конструкции из пенобетона в периоды:
a – начальной фазы прогрева; *б* – максимальных температур; *в* – начала остывания;
г – минимальной температуры; *д* – полупрогрева; *е* – конечной фазы остывания

На третьем этапе происходит одновременное продолжение охлаждения наружной поверхности и уменьшение зоны максимальных температур за счет отдачи тепла в более холодную зону (рис. 1, *в*), при этом фиксируется распространение тепла как в направлении внутрь помещения, так и к наружной зоне стены. Четвертый этап характеризуется распространением минимальной температуры вглубь конструкции (рис. 1, *г*), однако зона с повышенной температурой в толще стены противостоит проникновению низких температур и частично продолжает подогревать внутреннюю зону стены. На пятом этапе начинается прогрев наружной поверхности (рис. 1, *д*). Однако около наружной поверхности образуется зона с низкими температурами, которая в дальнейшем при прогревании конструкции схожа по своему поведению с зоной максимальных температур из третьего этапа с отличием в температурах: третий этап не «пропускал» низкие температуры, а шестой – «повышенные» температуры.

При моделировании ограждающей конструкции из тяжелого железобетона была получена аналогичная картина распределения температурных полей в шести этапах. Основное отличие первых двух расчетных моделей заключается в максимальных и минимальных зафиксированных температурах (рис. 2), а также скорости смены этапов.

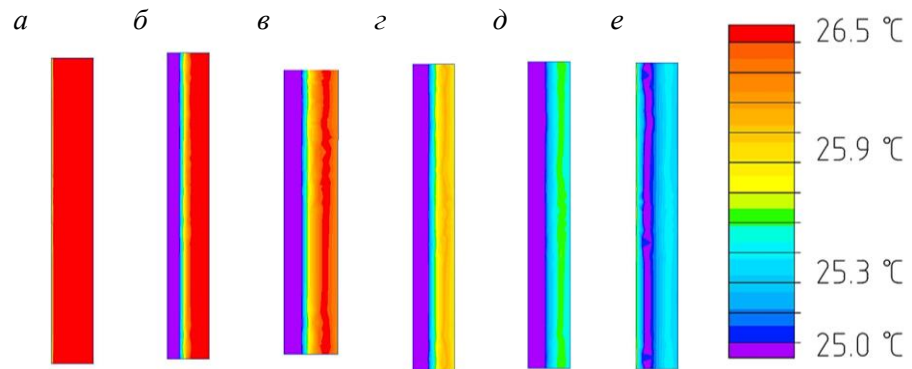


Рис. 2. Распределение температурного поля в толще ограждающей конструкции из пенобетона в периоды:

a – начальной фазы прогрева; *б* – максимальных температур; *в* – начала остывания; *г* – минимальной температуры; *д* – полупрогрева; *е* – конечной фазы остывания

В случае температурного колебания у наружной поверхности многослойной конструкции наблюдается картина распределения температурного поля, отличная от предыдущих двух вариантов (рис. 3). Если для однослойной конструкции характерна картина из шести этапов, то для многослойной конструкции – пяти. Также отмечено, что изменение температур происходит в двух наружных слоях по схеме «аккумулятор-изолятор». В наружном слое, выполненном из железобетона, происходит достижение максимальных и минимальных температур, которые частично передаются слою утеплителя (изолятора). При понижении температуры в окружающей среде происходит снижение температуры в наружном слое, и тепловой поток перераспределяется между двумя направлениями: продвижение к внутренней и к наружной грани. Таким образом, в наружном слое постоянно поддерживаются более высокие температуры по сравнению с внутренним слоем.

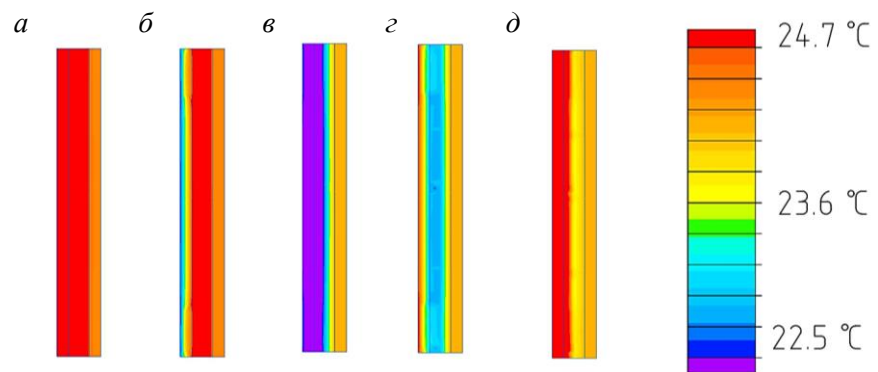


Рис. 3. Распределение температурного поля в толще трехслойной ограждающей конструкции в период:

a – начальной фазы прогрева; *б* – максимальных температур; *в* – начала остывания; *г* – минимальной температуры; *д* – полупрогрева

Для данных схем установлены следующие значения амплитуд колебания температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции (рис. 4): 0,32 °С – для многослойной; 2,94 °С – железобетонной и 0,96 °С – пенобетонной.

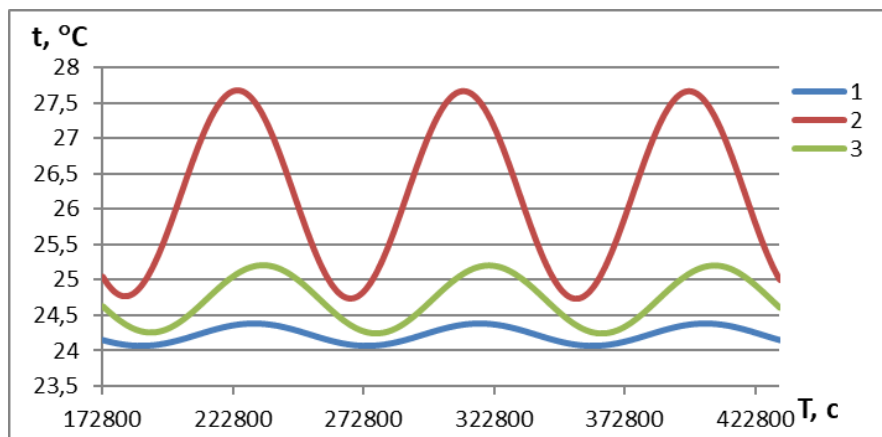


Рис. 4. Температурные колебания на внутренней поверхности конструкций: 1 – многослойной; 2 – железобетонной; 3 – пенобетонной

Согласно общепринятой методике расчета амплитуды колебания на внутренней поверхности [13], через коэффициент затухания амплитуды колебания температуры ν вычисленные значения амплитуды для многослойной конструкции равны 0,40 °С; железобетонной – 3,15 °С; пенобетонной ограждающей конструкции – 0,67 °С. Данное расхождение подтверждает необходимость учета перераспределения теплового потока внутри ограждающей однородной однослойной или многослойной конструкции.

Заключение

Согласно исследованиям распределения теплового поля в ограждающей конструкции, при нестационарных условиях теплопередачи, установлено движение теплового потока в начальных фазах по направлению к внутренней грани и движение теплового потока к наружной грани от прогретой внутренней зоны для однослойных конструкций. Для рассматриваемой многослойной конструкции установлен более сложный теплообмен внутри конструкции, не затрагивающий внутренний слой.

Исходя из анализа полученных данных, путем моделирования нестационарных условий теплопередачи и численным общепринятым методом, установлена расходимость значений амплитуды колебания на внутренней поверхности до 30 %, что частично объясняется аккумулярованием тепла внутри конструкции и перераспределением вектора теплового потока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самарин О.Д., Шевченко И.С. Оценка теплотехнической неоднородности наружной стены при изменении толщины утеплителя // Журнал С.О.К. 2016. № 3. С. 42–43.

2. Самарин О.Д., Макешин Д.А. Обоснование теплозащиты неоднородных ограждений // Журнал С.О.К. 2015. № 4. С. 52–54.
3. Голубев С.С. Определение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций на основе численного расчета распределения температурных полей // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 5. С. 93–97.
4. Макаров Р.А., Муреев П.Н., Макаров А.Н. Определение поправки к термическому сопротивлению при квазистационарном режиме теплопередачи в наружных стенах, выполненных из кирпича // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. С. 1992–1992.
5. Макаров А.Н., Муреев П.Н., Макаров Р.А. Решение задачи регулирования температуры внутренней поверхности наружных стен реконструируемых зданий постройки 60–80-х годов XX века // Фундаментальные исследования. 2016. № 6-1. С. 83–87.
6. Миков А.В., Балушкин А.Л. Влияние теплопроводных включений на расчет приведенного сопротивления теплопередаче фасада жилого здания с использованием расчетов температурных полей // Научно-технический прогресс как механизм развития современного общества: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2020. С. 38–45.
7. Белоус А.Н., Котов Г.А., Сапронов Д.А., Новиков Б.А. Определение сопротивления теплопередаче при нестационарном тепловом режиме // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. 22(6). С. 83–93.
8. Гагарин В.Г., Неклюдов А.Ю. Учет теплотехнических неоднородностей ограждений при определении тепловой нагрузки на систему отопления здания // Жилищное строительство. 2014. № 6. С. 3–7.
9. Гагарин В.Г., Плющенко Н.Ю. Определение термического сопротивления вентилируемой прослойки НФС // Строительство: наука и образование. 2015. № 1. С. 1–1.
10. Горшков А.С. Предложения по совершенствованию нормативных требований к ограждающим конструкциям // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2017. № 1–2. С. 49–52.
11. Михеев Д.А. Сравнительный анализ отмененного и предложенного методов расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Научный журнал строительства и архитектуры. 2017. № 3 (47). С. 11–20.
12. Туснина О.А. Теплотехнический расчет конструкций численными методами // Вестник МГСУ. 2013. № 11. С. 91–99.
13. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). Москва : Высшая школа, 1982. 415 с.
14. Кошлатый О.Б. Зависимость теплоустойчивости наружных стен от их конструктивного решения // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2013. Т. 2. С. 357–360.
15. Малявина Е.Г., Усманов Ш.З. Ограничение амплитуды колебаний температуры помещения в теплый период года // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 2 (61). С. 188–194.
16. Горшков А.С., Рымкевич П.П. Диаграммный метод описания процесса нестационарной теплопередачи // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 8 (60). С. 68–82.
17. Панферов В.И., Панферов С.Ф. Применение метода частотных передаточных функций для решения одной задачи теплоустойчивости ограждения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Т. 15. № 1. С. 48–51.
18. Кутуев М.Д., Манапбаев И.К. Использование метода интерполирования для расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций в условиях Кыргызстана // Вестник КРСУ. 2017. Т. 17. № 5. С. 157–159.
19. Deconinck A., Roels S. The as-built thermal quality of building components: characterising non-stationary phenomena through inverse modelling // Energy Procedia. 2017, October V. 132. P. 351–356.
20. Rulik S., Wróblewski W., Majkut M., Stozik M., Rusin K. Experimental and numerical analysis of heat transfer within cavity working under highly non-stationary flow conditions // Energy January. 2020. V. 190:116303.

21. *Stolarska A., Strzalkowski J.* Modelling of Edge Insulation Depending on Boundary Conditions for the Ground Level // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2017, October. V. 245 (4):042003.

REFERENCES

1. *Samarin O.D., Shevchenkova I.S.* Otsenka teplotekhnicheskoi neodnorodnosti naruzhnoi steny pri izmenenii tolshchiny uteplitelya [Assessment of thermal heterogeneity of outer wall in changing the insulation thickness]. *Zhurnal S.O.K.* 2016. No. 3. Pp. 42–43. (rus)
2. *Samarin O.D., Makeshin D.A.* Obosnovanie teplozashchity neodnorodnykh ograzhdenii [Thermal protection of heterogeneous envelopes]. *Zhurnal S.O.K.* 2015. No. 4. Pp. 52–54. (rus)
3. *Golubev. S.S.* Opredelenie privedennogo soprotivleniya teploperedache ograzhdayushchikh konstruktssii na osnove chislennogo rascheta raspredeleniya temperaturnykh polei [Numerical calculation of temperature field distribution for heat transfer resistance of building envelopes]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya.* 2011. No. 5. Pp. 93–97. (rus)
4. *Makarov R.A., Mureev P.N., Makarov A.N.* Opredelenie popravki k termicheskomu soprotivleniyu pri kvazistatsionarnom rezhime teploperedachi v naruzhnykh stenakh, vypolnennykh iz kirpicha [Thermal resistance correction for quasi-stationary heat transfer in external brick walls]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2015. No. 1–1. P. 1992. (rus)
5. *Makarov A.N., Mureev P.N., Makarov R.A.* Reshenie zadachi regulirovaniya temperatury vnutrennei poverkhnosti naruzhnykh sten rekonstruirovemykh zdaniy postroiki 60–80-kh godov XX veka [Regulation of internal temperature of exterior walls of renovated buildings built in the 1960s and 1980s]. *Fundamental'nye issledovaniya.* 2016. No. 6-1. Pp. 83–87. (rus)
6. *Mikov A.V., Balushkin A.L.* Vliyanie teploprovodnykh vklyuchenii na raschet privedennogo soprotivleniya teploperedache fasada zhilogo zdaniya s ispol'zovaniem raschetov temperaturnykh polei [Influence of thermal inclusions on temperature field calculations of residential building façade]. In: *Nauchno-tekhnicheskii progress kak mekhanizm razvitiya sovremennogo obshchestva: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Proc. Int. Sci. Conf. 'Scientific and Technological Progress as a Mechanism for Development of Modern Society')*. Ufa, 2020. Pp. 38–45. (rus)
7. *Belous A.N., Kotov G.A., Sapronov D.A., Novikov B.A.* Opredelenie soprotivleniya teploperedache pri nestatsionarnom teplovom rezhime [Heat transfer resistance in non-stationary thermal conditions]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekurno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture.* 2020. V. 22. No. 6. Pp. 83–93. (rus)
8. *Gagarin V.G., Neklyudov A.Yu.* Uchet teplotekhnicheskikh neodnorodnostei ograzhdenii pri opredelenii teplovoi nagruzki na sistemu otopeniya zdaniya [Thermal inhomogeneities of building envelope in determining heat load on the building heating system]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo.* 2014. No. 6. Pp. 3–7. (rus)
9. *Gagarin V.G., Plyushchenko N.Yu.* Opredelenie termicheskogo soprotivleniya ventiliruemoi prosloiki NFS [Thermal resistance analysis of ventilated cavity]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie.* 2015. No. 1. P. 1. (rus)
10. *Gorshkov A.S.* Predlozheniya po sovershenstvovaniyu normativnykh trebovaniy k ograzhdayushchim konstruktssiyam [Improvement of regulatory requirements for building envelopes]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka.* 2017. No. 1–2. Pp. 49–52. (rus)
11. *Mikheev D.A.* Sravnitel'nyi analiz otmenennogo i predlozhennogo metodov rascheta privedennogo soprotivleniya teploperedache ograzhdayushchikh konstruktssii [Comparative analysis of abolished and proposed methods for calculating heat transfer resistance of building envelopes]. *Nauchnyi zhurnal stroitel'stva i arkhitektury.* 2017. No. 3 (47). Pp. 11–20. (rus)
12. *Tusnina O.A.* Teplotekhnicheskii raschet konstruktssii chislennymi metodami [Thermal analysis of structures using numerical methods]. *Vestnik MGSU.* 2013. No. 11. Pp. 91–99. (rus)
13. *Bogoslovskii V.N.* Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha [Building thermophysics (thermal physics of heating, ventilation and air conditioning)]. Moscow: Vysshaya shkola, 1982. 415 p. (rus)
14. *Koshlatyi O.B.* Zavisimost' teploustoichivosti naruzhnykh sten ot ikh konstruktivnogo resheniya [Dependence of thermal resistance of exterior walls on their design]. In: *Novye idei novogo*

- veka: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (*Proc. Int. Sci. Conf. 'New Ideas of New Century'*). 2013. V. 2. Pp. 357–360. (rus)
15. *Malyavina E.G., Usmanov Sh.Z.* Ogranichenie amplitudy kolebaniy temperatury pomeshcheniya v teplyi period goda [Limiting the amplitude of room temperature fluctuations during summer period]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2017. No. 2 (61). Pp. 188–194. (rus)
 16. *Gorshkov A.S., Rymkevich P.P.* Diagrammnyi metod opisaniya protsessa nestatsionarnoi teploperedachi [Diagrammatic method for describing an unsteady heat transfer process]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2015. No. 8 (60). Pp. 68–82. (rus)
 17. *Panferov V.I., Panferov S.F.* Primenenie metoda chastotnykh peredatochnykh funktsii dlya resheniya odnoi zadachi teploustoichivosti ograzhdeniya [Method of frequency transfer functions to solve a single heat resistance problem of building envelope]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2015. V. 15. No. 1. Pp. 48–51. (rus)
 18. *Kutuev M.D., Manapbaev I.K.* Ispol'zovanie metoda interpolirovaniya dlya rascheta teploustoichivosti ograzhdayushchikh konstruksii v usloviyakh Kyrgystana [Interpolation method for thermal resistance analysis of building envelopes in Kyrgyzstan]. *Vestnik KRSU*. 2017. V. 17. No. 5. Pp. 157–159. (rus)
 19. *Deconinck A., Roels S.* The as-built thermal quality of building components: characterising non-stationary phenomena through inverse modelling. *Energy Procedia*. 2017. V. 132. Pp. 351–356.
 20. *Rulik S., Wróblewski W., Majkut M., Stozik M., Rusin K.* Experimental and numerical analysis of heat transfer within cavity working under highly non-stationary flow conditions. *Energy*. 2020. V. 190. 116303.
 21. *Stolarska A., Strzalkowski J.* Modelling of edge insulation depending on boundary conditions for the ground level. *IOP Conference: Series Materials Science and Engineering*. 2017. V. 245 No. 4. 042003.

Сведения об авторах

Белоус Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, a.n.belous@donnasa.ru

Белоус Ольга Евгениевна, ассистент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, o.e.belous@donnasa.ru

Крахин Станислав Валерьевич, ст. преподаватель, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, stakr@yandex.ua

Authors Details

Aleksei N. Belous, PhD, A/Professor, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., Donetsk Region, 86123, Makiivka, Donetsk People's Republic, a.n.belous@donnasa.ru

Ol'ga E. Belous, Assistant Lecturer, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., Donetsk Region, 86123, Makiivka, Donetsk People's Republic, o.e.belous@donnasa.ru

Stanislav V. Krakhin, Senior Lecturer, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., Donetsk Region, 86123, Makiivka, Donetsk People's Republic, stakr@yandex.ua