

УДК 697.1

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-129-142

*А.Н. БЕЛОУС¹, О.Е. БЕЛОУС¹, Л.З. КУЛУМБЕГОВА², С.В. КРАХИН¹,**¹Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,**²Юго-Осетинский государственный университет им. А.А. Тибилова*

ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ТЕПЛОПРОВОДНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ГОДА

Исходя из анализа существующих методов и методик решения вопроса теплоустойчивости ограждающих конструкций с теплопроводными включениями установлено, что для всех этих работ характерно решение одномерной задачи теплоустойчивости. Одним из возможных методов определения амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции с теплопроводными включениями является моделирование нестационарных температурных условий в программных комплексах. Однако данное решение вызывает большие затруднения, т. к. переводит указанный расчет из инженерного в научный и, следовательно, не может быть рекомендовано к непосредственному практическому применению. Вторым вариантом решения данной задачи предлагается применение коэффициента сходимости α , который можно получить эмпирически. Выбором значения коэффициента α можно учесть влияние теплопроводного включения на средневзвешенное значение температуры на поверхности в зависимости от конструкции ограждения.

При анализе конструктивных решений наружных ограждающих конструкций были выявлены особенности влияния теплопроводных включений на осредненную амплитуду колебания на внутренней поверхности. В схемах с расположением теплопроводного включения у наружной грани или сквозным наблюдается незначительное влияние амплитуды колебания теплопроводного включения на осредненную амплитуду по поверхности конструкции. Наибольшую степень влияния оказывает схема со сквозным расположением теплопроводного включения. На основании сравнительного анализа установлено, что при построении гармоник колебания средней температуры на внутренней поверхности предпочтение отдается методике с коэффициентом сходимости.

Ключевые слова: теплоустойчивость; нестационарный режим; температурное поле; перераспределение; амплитуда; методика.

Для цитирования: Белоус А.Н., Белоус О.Е., Кулумбегова Л.З., Крахин С.В. Теплоустойчивость наружных ограждающих конструкций с теплопроводными включениями в летний период года // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 129–142.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-129-142

*A.N. BELOUS¹, O.E. BELOUS¹, L.Z. KULUMBEGOVA², S.V. KRAKHIN¹,**¹Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,**²South Ossetian State University*

THERMAL RESISTANCE OF BUILDING ENVELOPES WITH HEAT-CONDUCTING ELEMENTS IN SUMMER PERIOD

The analysis of the current methods and techniques of solving the problem of heat resistance of building envelopes with heat-conducting elements shows the solution of a one-dimensional problem of heat resistance. One of the possible methods for determining the tem-

perature fluctuation amplitude on the inner surface of the building envelopes with heat-conducting elements is the modeling of non-stationary temperature conditions in the computer program. However, this solution causes great difficulties, as it transfers the specified calculation from engineering to scientific and cannot be recommended for practical application. The second method of solving this problem is the application of the convergence coefficient, which can be obtained empirically. The selection of the convergence coefficient allows for the influence of the heat-conducting elements on the weighted average surface temperature depending on the envelope configuration.

The structural analysis of the building envelopes and their impact on the averaged amplitude of oscillations on the inner surface are conducted. The arrangement of heat-conducting elements at the outer edge is characterized by a negligible influence of the vibration amplitude on the averaged amplitude over the structural surface. The arrangement of heat-conducting elements greatly affects the heat-conducting elements. According to the comparative analysis, the convergence coefficient is preferable in harmonics of the average temperature fluctuations on the inner surface.

Ключевые слова: thermal stability; nonstationary mode; temperature field; redistribution; amplitude; methodology.

For citation: Belous A.N., Belous O.E., Kulumbegova L.Z., Krakhin S.V. Teploustoichivost' naruzhnykh ogradhayushchikh konstrukttsii s teploprovodnymi vkluyucheniymi v letnii period goda [Thermal resistance of building envelopes with heat-conducting elements in summer period]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 129–142.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-129-142

Актуальность

Современные наружные ограждающие конструкции в большинстве случаев представляют собой многослойные системы с большим количеством теплопроводных включений. При этом основное внимание при конструировании и расчете энергетических показателей уделяется приведенному сопротивлению теплопередаче [1–7]. Для теоретического определения приведенного сопротивления теплопередаче были разработаны различные методики [8–12], которые подтверждены и апробированы в натурных и лабораторных условиях.

Данный подход к проектированию ограждающих конструкций экономически оправдан с точки зрения сохранения энергии, но не стоит забывать, что здания в первую очередь строятся для людей и во главу угла проектирования должны быть поставлены условия комфортности. Исходя из 2-го условия комфортности [13], в нормативных документах выдвигаются ограничения по изменению амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций в летний период. Данным вопросом детально занимался А.М. Шкловер в 60-х гг. XX в. На основе его трудов были решены многие задачи, связанные с теплоустойчивостью ограждающих конструкций и помещений. В частности, определена зависимость между конструктивным решением стен и теплоустойчивостью [14], но данные работы и задачи исследованы только для многослойных конструкций без теплопроводных включений.

Развитие методики расчета теплоустойчивости продолжили в своих трудах российские ученые [15–18], которые предложили различные подходы к данной задаче. Отдельными вопросами нестационарного режима ограждаю-

щих конструкций занимались в своих трудах иностранные ученые [19–23]. Но для всех этих работ характерно решение одномерной задачи теплоустойчивости, что для современных ограждающих конструкций с многочисленными теплопроводными включениями некорректно, т. к. для таких случаев необходимо решение задач в двумерной постановке при нестационарных условиях теплопередачи. Большинство предложенных методов требует доработки или сопоставления с результатами натурных или лабораторных исследований.

Цель исследования – разработка методики расчета теплоустойчивости наружных ограждающих конструкций с теплопроводными включениями.

Методы

Теплоустойчивость однородных многослойных ограждающих конструкций в теплый период года нормируется показателем амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности и определяется отношением амплитуды A колебания температуры наружного воздуха к коэффициенту затухания ν в ограждающей конструкции. Амплитуда колебания наружного воздуха зависит от двух климатических факторов: температуры наружного воздуха и солнечной радиации [24].

Коэффициент затухания ν зависит от теплотехнических показателей слоев ограждающей конструкции (тепловой инерции D и теплоусвоения s , Вт/(м² К)), а также от показателя теплоусвоения поверхности Y , Вт/(м² К) и находится по формуле [13]:

$$\nu = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(s_1 + \alpha_{вн})(s_2 + Y_1) \dots (s_n + Y_{n-1})(\alpha_{зл} + Y_n)}{(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2) \dots (s_n + Y_n)\alpha_{зл}}. \quad (1)$$

Данная методика расчета справедлива только для многослойных однородных конструкций, т. к. при наличии теплопроводных включений наблюдается изменение температурного поля в толще ограждающей конструкции.

У однородной конструкции изотермы температуры параллельны, и вектор теплового потока перпендикулярен наружной и внутренней поверхностям.

При наличии теплопроводного включения для векторов теплового потока наблюдается изменение их направлений от наружной поверхности к теплопроводному включению, а в некоторых случаях распространение тепла происходит параллельно внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Таким образом, при расчете величины затухания амплитуды колебания температуры в толще конструкции не представляется возможным выбрать расчетное сечение вдоль вектора теплового потока.

Одним из возможных методов определения амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции с теплопроводными включениями является моделирование нестационарных температурных условий в программных комплексах. Но данное решение вызывает большие затруднения, т. к. переводит указанный расчет из инженерного в научный и, следовательно, не может быть рекомендовано к непосредственному практическому применению.

Вторым вариантом решения данной задачи предлагается применение коэффициента сходимости α , который можно получить эмпирически. Выбо-

ром значения коэффициента α можно учесть влияние теплопроводного включения на средневзвешенное значение температуры на поверхности в зависимости от конструкции ограждения, используя соотношение

$$t_{\text{ср}} = \alpha \cdot t_{\text{вкл}} + (1 - \alpha)t_{\text{одн}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ср}}$ – среднее взвешенное значение температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции с теплопроводными включениями, К; α – коэффициент сходимости, $0 \leq \alpha \leq 1$; $t_{\text{вкл}}$ – температура на внутренней поверхности в зоне теплопроводного включения, К; $t_{\text{одн}}$ – температура в однородной зоне, К.

Для определения коэффициента сходимости α необходимо смоделировать расчетную схему наружной ограждающей конструкции с теплопроводными включениями при нестационарном тепловом режиме. Результатами измерений являются гармоники колебаний температуры $t_{\text{вкл}}$ на внутренней поверхности ограждающей конструкции в точке теплопроводного включения и температуры $t_{\text{одн}}$ однородной зоны, а также гармоники осредненной температуры $t_{\text{ср}}$, рассчитанные с помощью модели. При известных температурах, входящих в равенство (2), из него находится коэффициент сходимости α .

Таким образом, компьютерное моделирование нестационарного температурного режима необходимо провести для определенного числа типовых ограждающих конструкций, для каждой из них получить значения коэффициента сходимости α , а затем в последующих исследованиях при нахождении осредненной температуры $t_{\text{ср}}$ по поверхности использовать готовую формулу (2), подставляя лишь входные данные $t_{\text{вкл}}$ и $t_{\text{одн}}$.

Компьютерное моделирование позволяет получить массивы значений температур $t_{\text{ср}}$, $t_{\text{вкл}}$ и $t_{\text{одн}}$, по которым строятся графики гармоник. Процесс отыскания значений α может быть основан на аппроксимации гармоник колебаний температур периодическими функциями, например, с использованием рядов Фурье, тогда уравнение (2) относительно α решается аналитически, и полученное значение коэффициента сходимости является единственным для конкретных заданных параметров ограждающей конструкции. Этот подход применим даже в том случае, когда исходных значений температур $t_{\text{ср}}$, $t_{\text{вкл}}$ и $t_{\text{одн}}$ мало (порядка 10 значений), поскольку для интерполяции периодической функции на одном интервале длины периода такого количества точек вполне достаточно. Оценка погрешности интерполяции в данной статье не производится.

Другой способ определения значения α итерационный, т. е. уравнение (2) записывается в виде

$$t_{\text{ср}}^i = \alpha_i \cdot t_{\text{вкл}}^i + (1 - \alpha_i)t_{\text{одн}}^i, \quad i = 1, 2, 3 \dots n$$

и решается для каждого соответствующего i -го значения $t_{\text{ср}}$, $t_{\text{вкл}}$ и $t_{\text{одн}}$. Таким образом формируется массив значений α_i , а сам коэффициент сходимости

определяется как среднее арифметическое по всем значениям $\alpha^{\text{анпр}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i$.

Затем строится график зависимости

$$t_{\text{ср,аппр}}^i = \alpha^{\text{аппр}} \cdot t_{\text{вкл}}^i + (1 - \alpha^{\text{аппр}}) t_{\text{одн}}^i,$$

который служит приближением графика температур $t_{\text{ср}}$. В статье использован итерационный подход, поскольку количество точек в массивах 864, что позволяет определить коэффициент сходимости α с достаточной точностью.

Результаты

Теплопроводные включения по своей форме и расположению условно можно разделить на шесть типов [13]. Данные типы теплопроводных включений наиболее присущи для жилых зданий малой и средней этажности (рис. 1). Для дальнейшего анализа за основной материал наружных ограждающих конструкций примем пенобетон, в качестве теплопроводных включений – тяжелый железобетон. При этом в расчетах рассмотрено несколько вариантов каждой расчетной схемы с изменением толщины ограждающей конструкции от 300 до 500 мм и плотностью 500–800 кг/м³. В качестве расчетных параметров летнего периода возьмем климатические условия для г. Донецка.

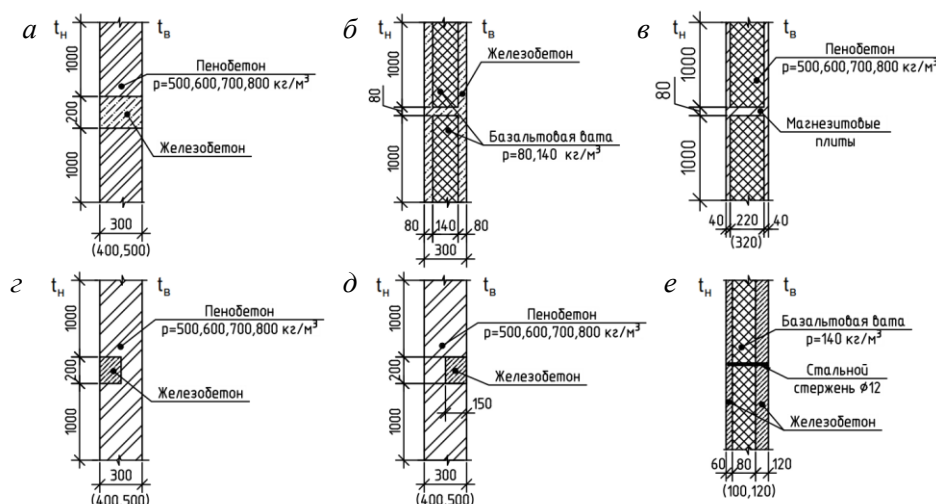


Рис. 1. Схемы расположения теплопроводных включений:

а – сквозного; *б* – толстостенной оболочки; *в* – тонкостенной оболочки; *г* – у внутренней грани; *д* – у наружной грани; *е* – стального сквозного стержня

В программном комплексе ELCUT6.4 произведено моделирование нестационарного температурного режима для шести конструктивных схем наружной стены с теплопроводными включениями (рис. 1).

При анализе результатов моделирования нестационарного теплового режима для схемы со сквозным теплопроводным включением (рис. 1, *а*) выявлено изменение температур в толще теплопроводного включения, которое описывается гармоникой (кривая 2 рис. 2), схожей с гармоникой изменения температур на наружной поверхности (кривая 1 рис. 3), пропорциональной коэффициенту затухания.

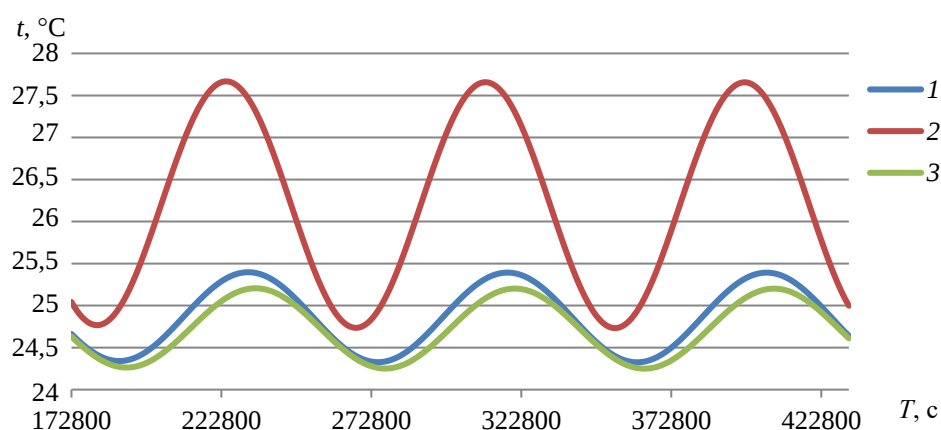


Рис. 2. Гармоники амплитуд колебания температур на внутренней поверхности в месте:
1 – осредненной по поверхности; 2 – теплопроводного включения; 3 – однородной поверхности

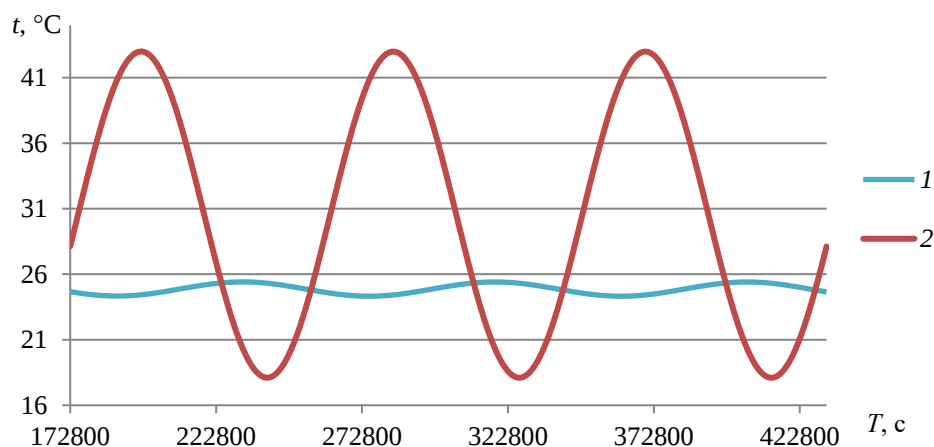


Рис. 3. Гармоники осредненных амплитуд колебания температур:
1 – на наружной поверхности; 2 – на внутренней поверхности

При сопоставлении гармоник колебания температур на внутренней поверхности в зоне теплопроводного включения и однородной зоны (кривые 2 и 3 рис. 2) установлены большие различия в амплитудах (в 3 раза) и незначительные смещения периода для схемы рис. 1, а. При анализе гармоник на внутренней поверхности однородной зоны и средневзвешенной температуры на внутренней поверхности (кривые 1 и 3 рис. 3), полученных в программном комплексе ELCUT6.4, установлены незначительные отклонения амплитуды и периода. Таким образом, появляется возможность получить температуры на внутренней поверхности с помощью предложенной методики через коэффициент α .

Для схемы рис. 1, *а* были вычислены коэффициенты α , которые в зависимости от плотности и толщины материала приведены в табл. 1. При сопоставлении значений коэффициента α с сопротивлением теплопередаче, тепловой инерцией коэффициентом теплоусвоения не обнаружено простых зависимостей с высокой степенью сходимости.

Таблица 1

Значения коэффициента сходимости α схемы рис. 1, *а*

Толщина, мм	Плотность, кг/м ³			
	500	600	700	800
300	0,1911	0,0884	0,0998	0,0935
400	0,0597	0,1231	0,1640	0,1338
500	0,0696	0,1230	0,1563	0,1049

Анализ амплитуд колебаний наружной температуры (кривая 2 рис. 3) и на внутренней поверхности показывает, что для данной схемы происходит снижение амплитуды колебания для теплопроводного включения с 13 до 40 раз для осредненной поверхности.

В результате моделирования схемы рис. 1, *б* были получены коэффициенты сходимости α , равные 0,1911 и $\approx 0,000$ для толщин утеплителя 80 и 140 мм соответственно. Коэффициент сходимости для толщины 140 мм близок к нулю, но отличен от нуля, т. к. гармоника колебания температуры на внутренней поверхности в однородной зоне и осредненная по поверхности практически совпадают (кривые 1 и 3 рис. 4). В месте теплопроводного включения хоть и наблюдается большая амплитуда колебаний (кривая 2 рис. 4), но в связи с малой толщиной теплопроводного включения не оказывает влияния на осредненную величину амплитуды по всей внутренней поверхности ограждающей конструкции.

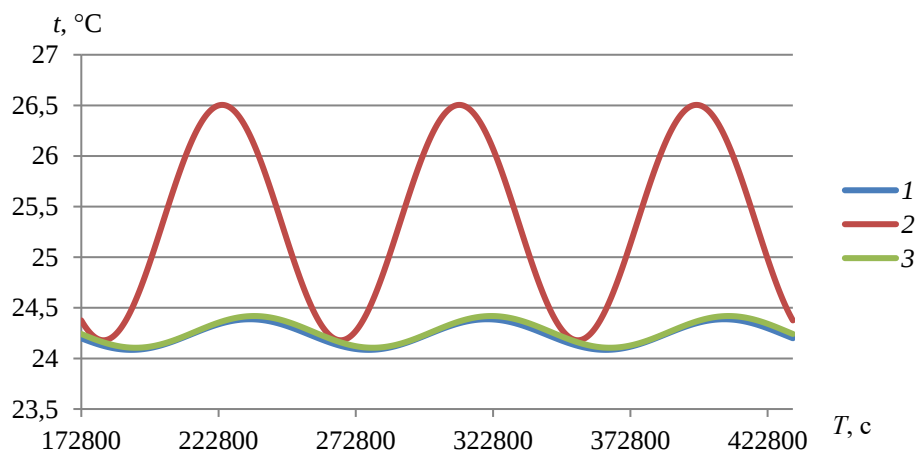


Рис. 4. Гармоники амплитуд колебания температур на внутренней поверхности в месте: 1 – осредненной по поверхности; 2 – теплопроводного включения; 3 – однородной поверхности

При анализе результатов моделирования конструкции с теплопроводным включением, согласно схеме рис. 1, в, найдены коэффициенты сходимости α (табл. 2). Также установлено, что в связи с малой долей теплопроводного включения наблюдается незначительная разница в амплитудах колебаний (рис. 5) на внутренней поверхности. В данном случае теплопроводным включением можно пренебречь.

Таблица 2

Значения коэффициента сходимости α схемы рис. 1, в

Толщина, мм	Плотность, кг/м ³			
	500	600	700	800
300	0,4902	0,1663	0,2696	0,4174
400	0,0195	0,0195	0,6818	0,0906

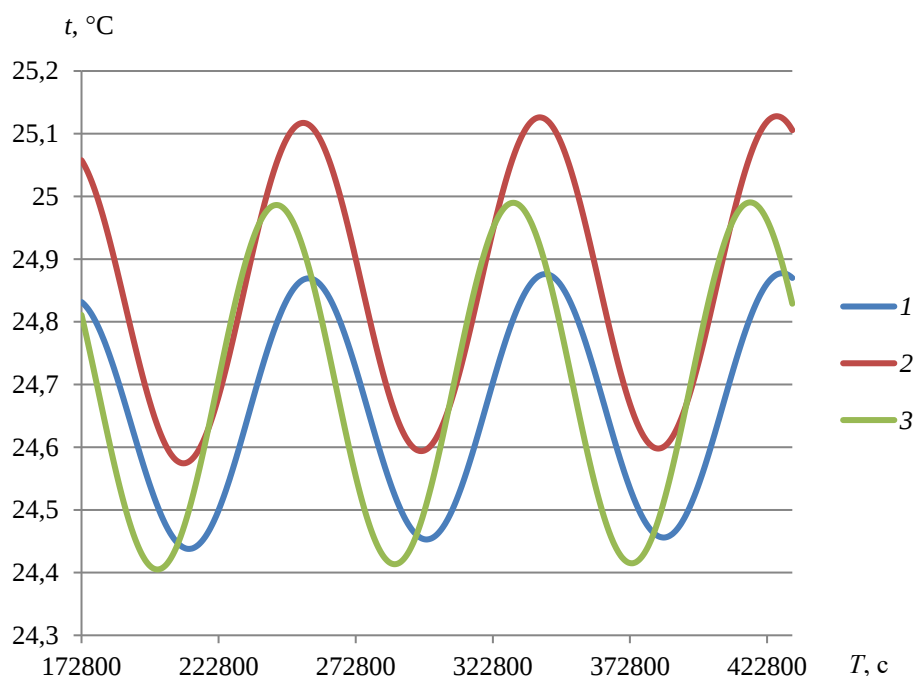


Рис. 5. Гармоники амплитуд колебания температур на внутренней поверхности в месте:
1 — осредненной по поверхности; 2 — теплопроводного включения; 3 — однородной поверхности

Результаты моделирования схемы рис. 1, в аналогичны результатам моделирования схемы рис. 1, а, но при толщине конструкции 500 мм установлено, что теплопроводное включение практически не оказывает влияния на осредненную амплитуду колебаний температуры на внутренней поверхности. В табл. 3 приведены значения коэффициента сходимости α .

Таблица 3

Значения коэффициента сходимости α схемы рис. 1, ε

Толщина, мм	Плотность, кг/м ³			
	500	600	700	800
300	0,1964	0,2517	0,1601	0,1787
400	0,1559	0,0718	0,2801	0,0010

При наружном несквозном расположении теплопроводного включения, как на схеме рис. 1, δ , зафиксировано изменение амплитуды колебаний только при толщине 300 мм, при больших значениях толщины гармоника температуры однородной зоны близка к осредненной (рис. 6). Полученные коэффициенты сходимости α для толщины 300 мм представлены в табл. 4.

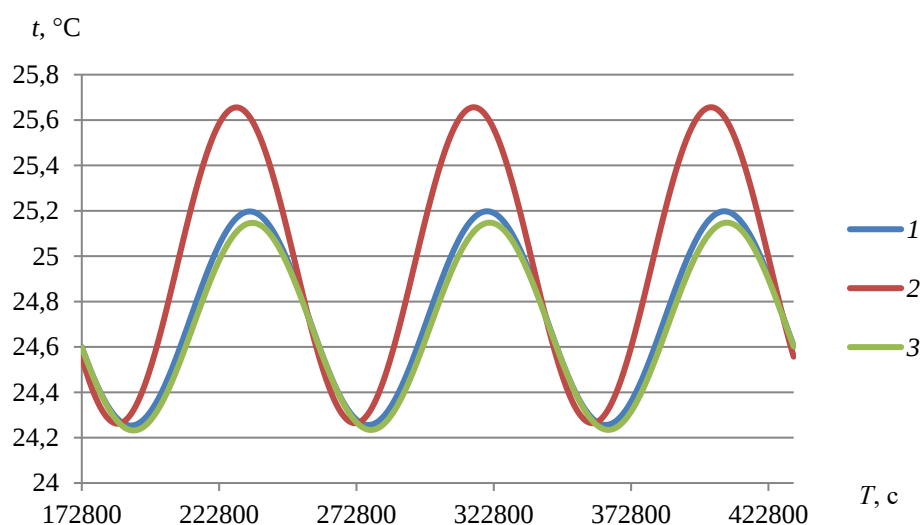


Рис. 6. Гармоники амплитуд колебания температур на внутренней поверхности в месте: 1 — осредненной по поверхности; 2 — теплопроводного включения; 3 — однородной поверхности

Таблица 4

Значения коэффициента сходимости α схемы рис. 1, δ

Толщина, мм	Плотность, кг/м ³			
	500	600	700	800
300	0,0493	0,0862	0,0141	0,0890

Кардинальное отличие имеет схема рис. 1, ε со сквозным теплопроводным включением: даже при малом диаметре стального стержня ($\varnothing 12$ мм) он вызывает значительные возмущения амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности. При амплитуде в однородной зоне 0,46 и 5,94 К для

теплопроводного включения (рис. 7) средняя амплитуда по поверхности равна 3,44 К, т. е. степень влияния теплопроводного включения равна 12,91.

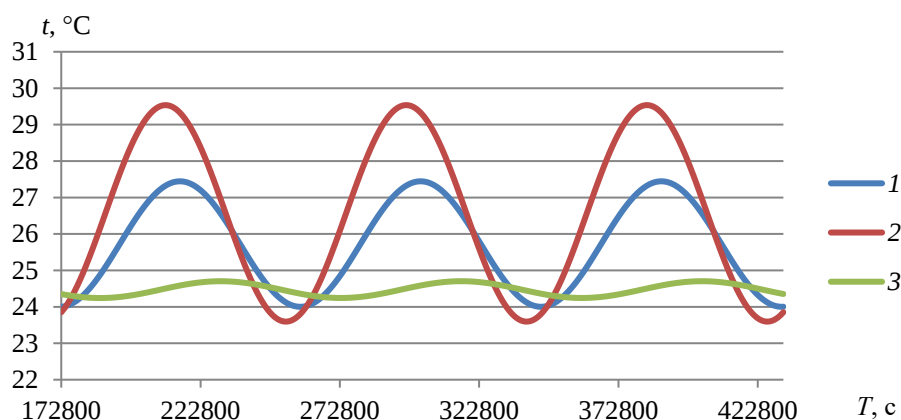


Рис. 7. Гармоники амплитуд колебания температур на внутренней поверхности в месте: 1 — осредненной по поверхности; 2 — теплопроводного включения; 3 — однородной поверхности

Для предыдущих схем данная величина колеблется в пределах от 3,0 до 5,0. Также были вычислены величины коэффициента сходимости для различной толщины ограждающей конструкции, которые составили: $\alpha = 0,4451$ для 80 мм; $\alpha = 0,7040$ для 100 и 120 мм.

Выводы

При анализе конструктивных решений наружных ограждающих конструкций были выявлены особенности влияния теплопроводных включений на осредненную амплитуду колебания на внутренней поверхности. В схемах с расположением теплопроводного включения у наружной грани или сквозным наблюдается незначительное влияние амплитуды колебания теплопроводного включения на осредненную амплитуду по поверхности конструкции. В конструкциях, в которых теплопроводное включение играет роль оболочки или расположено у наружной грани, степень влияния незначительна, а при максимальных толщинах отсутствует. Наибольшую степень влияния оказывает схема со сквозным расположением теплопроводного включения в виде стального стержня $\varnothing 12$ мм. Данное теплопроводное включение в 4 раза больше влияет на амплитуду колебания температуры внутренней поверхности, чем в схемах со сквозным теплопроводным включением в виде бетонной перемычки толщиной 200 мм. Исходя из данной схемы, можно сделать вывод, что конструкции с большим процентом армирования или наличия поперечной арматуры не будут удовлетворять нормам проектирования в летний период года.

В результате сравнения двух методов построения гармоник колебания средней температуры на внутренней поверхности предпочтение отдается методике с коэффициентом сходимости. Данная методика показала сходимость полученной гармоникой с теоретической до 97 %. Метод средних квадратов

показал высокую сходимость в средней температурной зоне кривой, но в пиковой части гармоник этот метод уменьшает максимальные и минимальные значения температуры. Данное занижение значений температуры резко снижает нормируемый коэффициент – амплитуду колебаний на внутренней поверхности. Таким образом, рассчитанные значения средней амплитуды поверхности значительно снижаются относительно данных, полученных в результате моделирования нестационарного теплового потока в программном комплексе ELCUT 6.4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самарин О.Д., Шевченко И.С. Оценка теплотехнической неоднородности наружной стены при изменении толщины утеплителя // С.О.К. 2016. № 3. С. 42–43.
2. Самарин О.Д., Макешин Д.А. Обоснование теплозащиты неоднородных ограждений // 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., Балущин 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. Т. 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. Малавина 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. October 2017. V. 132. P. 351–356.
20. Rulik S., Wróblewski W., Majkut M., Strozik 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., Strzałkowski J. Modelling of Edge Insulation Depending on Boundary Conditions for the Ground Level. // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. October 2017. V. 245 (4):042003.
22. Adilhodzhaev A.I., Shaumarov S.S., Shipacheva E.V., Kandahorov S.I. Complex approach at thermalization external walls of residential buildings // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. India, 2019. V. 6. I. 1. P. 71–77.
23. Shaumarov S.S. On the issue of increasing energetic efficiency of buildings in railway transport // Transport Problems – 2016 : VIII International Conference, Katowice, Poland. P. 522–532.
24. 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

REFERENCES

1. Samarin O.D., Shevchenkova I.S. Otsenka teplotekhnicheskoi neodnorodnosti naruzhnoi steny pri izmenenii tolshchiny uteplitelya [Thermal heterogeneity of outer wall when changing insulation thickness]. S.O.K. 2016. No. 3. Pp. 42–43. (rus)
2. Samarin O.D., Makeshin D.A. Obosnovanie teplozashchity neodnorodnykh ograzhdenii [Rationale for thermal protection of heterogeneous wall systems]. S.O.K. 2015. No. 4. Pp. 52–54. (rus)
3. Golubev S.S. Opredelenie privedennogo soprotivleniya teploperedache ograzhdayushchikh konstruksii na osnove chislennogo rascheta raspredeleniya temperaturnykh polei [Determination of reduced heat transfer resistance of building envelopes based on numerical calculation of temperature field distribution]. 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 [Correction to thermal resistance in quasi-stationary heat transfer mode in exterior brick walls]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. No.1–1. Pp. 1992–1992. (rus)
5. Makarov A.N., Mureev P.N., Makarov R.A. Reshenie zadachi regulirovaniya temperatury vnutrennei poverkhnosti naruzhnykh sten rekonstruiemykh zdaniy postroiки 60–80-kh godov XX veka [Temperature control of inner surface of wall systems of reconstructed 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 vkluchenii na raschet privedennogo soprotivleniya teploperedache fasada zhilogo zdaniya s ispol'zovaniem raschetov temperaturnykh polei [Influence of heat-conducting elements on heat transfer resistance of residential building facade using temperature field calculations]. 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 arkhitekturno-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 [Consideration of thermal heterogeneities of enclosures in determining heat load on heating system of building]. *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 of ventilated NFS layer]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie*. 2015. No. 1. Pp. 1–1. (rus)
10. Gorshkov A.S. Predlozheniya po sovershenstvovaniyu normativnykh trebovaniy k ograzhdayushchim konstrukttsiyam [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 konstrukttsii [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 konstrukttsii chislennymi metodami [Thermal calculation of structures by 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) [Construction thermophysics (thermophysical basis 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 solution]. 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 [Diagram method to describe nonstationary heat transfer]. *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 [Frequency transfer function method for heat resistance of building envelopes]. *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. Ispolzovanie metoda interpolirovaniya dlya rascheta teploustoichivosti ograzhdayushchikh konstrukttsii v usloviyakh Kyrgystana [Interpolation method to calculate heat resistance of fencing structures 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. (rus)
20. Rulik S., Wróblewski W., Majkut M., Strozik M., Rusin K. Experimental and numerical analysis of heat transfer within cavity working under highly non-stationary flow conditions. *Energy*. 2020. V. 190. 116303. (rus)
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.
22. Adilhodzhaev A.I., Shaumarov S.S., Shipacheva E.V., Kandahorov S.I. Complex approach at thermalization external walls of residential buildings. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. 2019. V. 6. I. 1. Pp. 71–77.
23. Shaumarov S.S. On the issue of increasing energetic efficiency of buildings in railway transport. In: *Proc. 8th Int. Conf. 'Transport Problems – 2016'*. Katowice, Poland. Pp. 522–532.

24. 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 (rus)

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, us28@ya.ru

Белоус Ольга Евгениевна, ассистент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, ol-0929@mail.ru

Кулумбегова Лонда Зауровна, ст. преподаватель, Юго-Осетинский государственный университет им. А.А. Тибилова, 100001, Республика Южная Осетия, г. Цхинвал, ул. Путина (бывшая ул. Московская), 8, londalonda1965@mail.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, us28@ya.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, ol-0929@mail.ru

Londa Z. Kulumbegova, Senior Lecturer, South Ossetian State University, 8, Putin Str., 100001, Tskhinvali, Republic of South Ossetia, londalonda1965@mail.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