

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING (HVAC), LIGHTING SYSTEMS AND GAS NETWORKS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 108–119.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (5): 108–119.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 536:21:674.038:699.86

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-108-119

EDN: VSHEVO

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ В ОБЛАСТИ НАРУЖНОГО УГЛА

Елена Александровна Иванова, Виталий Владимирович Пенявский
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Вопрос энергоресурсосбережения с каждым годом становится все более актуальным. Особое внимание уделяется повышению энергоэффективности ограждающих конструкций зданий различного назначения, т. к. теплотребление занимает значительную часть в общих затратах на коммунальные нужды.

Целью исследования является изучение теплового состояния ограждающей конструкции в области наружного угла. В рамках данного исследования было рассмотрено влияние мостика холода в виде наружного угла на поведение температурного поля на внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Исследована кирпичная наружная стена в трех вариантах: 510, 640 и 770 мм. Показано, что во всех случаях температура в углу стены становится ниже температуры точки росы.

Результаты. Проведено исследование методов для уменьшения негативного влияния мостика холода в области угла, которое может проявляться в появлении конденсата, плесени и привести впоследствии к разрушению наружного ограждения. Применение утепленного скоса приводит к лучшим результатам по сравнению со скосом без утеплителя. Однако точка с минимальным значением температуры сохраняется в углах и также не превышает температуру точки росы $t_p = +13,5$ °С. Только в этом случае точка с минимальным значением температуры перемещается в углы, образованные скосом.

Ключевые слова: теплоперенос, теплопотери, точка росы, конденсат

Для цитирования: Иванова Е.А., Пенявский В.В. Повышение тепловой защиты ограждающей конструкции в области наружного угла // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 108–119. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-108-119. EDN: VSHEVO

ORIGINAL ARTICLE

THERMAL PROTECTION IMPROVEMENT OF BUILDING ENVELOPE NEAR OUTER CORNER

Elena A. Ivanova, Vitalii V. Penyavskii

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. The problem of energy saving is relevant nowadays. Great attention is especially paid to improving the energy efficiency of different building envelopes, since the heat consumption is a significant part of total costs for utility needs.

Purpose: The aim of the paper is to study the state of the building envelopes nearby the outer corner.

Research findings: Methods of reduction of the negative impact of the thermal bypass nearby the corner manifest themselves in condensation, mold, and subsequently lead to the envelope destruction. The use of insulated bevel edge leads to better results than that without insulation. But the minimum dew point temperature remains at corners and does not exceed 13.5 °C. Only in this case, the minimum dew point temperature moves to bevel edges.

Value: The thermal bypass (outer corner) effect on the temperature field of its inner surface is studied. Three wall thicknesses are investigated: 510, 640, and 770 mm. It is shown that in all cases the corner temperature decreases below the dew point temperature.

Keywords: heat transfer, heat loss, dew point, condensate

For citation: Ivanova E.A., Penyavskii V.V. Thermal protection improvement of building envelope near external corner. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 108–119. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-108-119. EDN: VSHEVO

Введение

В последнее время в России увеличилась обеспеченность населения жильем и повысились требования к уровню комфорта. Известно, что 35 % тепловых потерь происходит через наружные ограждения и 65 % расходуется на нагрев инфильтрационного воздуха [1]. Одним из главных путей энергосбережения является увеличение уровня тепловой защиты зданий [2]. Уменьшить тепловые потери через ограждающие конструкции можно путем их утепления [3].

Увеличение энергоэффективности наружных ограждений зданий и сооружений может привести не только к экономному потреблению теплоэнергетических ресурсов, но и к повышению уровня комфорта в помещениях. В российской энергетике с последствиями неэффективного использования энергоресурсов сталкиваются ежедневно. Основные тепловые потери происходят из-за изношенности тепловых сетей, отсутствия современного оборудования, способного автоматизировать подачу тепловой энергии, и устаревших конструктивных материалов ограждающих конструкций [4].

Немаловажную роль в повышенных тепловых потерях играют так называемые мостики холода [5]. Мостики холода – это участки ограждающей конструкции с пониженным термическим сопротивлением [6]. Различают геометрические мостики холода, которые определяются архитектурно-конструктивными особенностями здания [7], и материальные, которые определяются различной теплопроводностью строительных материалов [8].

Присутствие в здании мостиков холода имеет негативные последствия, которые могут проявляться в виде конденсата, а затем и плесени. Все это влияет на нарушение микроклимата в помещении и, как следствие, на ухудшение здоровья людей [9].

Одним из наиболее уязвимых мест в структуре тепловой защиты здания является наружный угол [10]. Температура на внутренней поверхности наружного угла всегда ниже по сравнению с поверхностью по глади стен, что в большинстве случаев является причиной промерзания углов, появления конденсата и образования плесени [11].

Для исключения влияния мостиков холода на ограждающие конструкции необходимо использовать различные методы, которые позволяли бы минимизировать действие таких элементов. Одним из методов повышения комфортных условий является устройство фрагментарной наружной теплоизоляции ограждающей конструкции, но он не всегда применим [12]. Устройство навесного теплоизоляционного фасада только для устранения мостиков холода через наружные углы не является экономически целесообразным [13, 14]. Кроме того, устройство вентилируемого фасада нарушает однородность конструкций и увеличивает количество мостиков холода [15]. Еще один метод заключается в скашивании внутренней поверхности наружного угла [16], когда прямой внутренний угол разбивается на два тупых. В случае промерзания стен в уже существующих зданиях скос предлагается делать утепленным. Ввиду актуальности данной проблемы потребовалось научное исследование теплового состояния ограждающей конструкции в области наружного угла, являющееся целью настоящей работы.

Материалы и методы исследования

В работе проведено численное исследование теплопереноса в наружном ограждении, состоящем из кирпича и цементно-песчаного раствора. Так как тепловые потери и температура на внутренней поверхности угла зависят от его формы и конструкции, наружная стена рассматривалась в трех вариантах: 510, 640 и 770 мм. Такие ограждающие конструкции наружного угла с разворотом 90° были приняты как наиболее распространенные в районе строительства Томской области.

Исследование теплового состояния теплопереноса в области наружного угла проводится с помощью программного комплекса FLEXPDE. При математической постановке задачи предполагается, что известны геометрические размеры элементов ограждающей конструкции и их теплофизические характеристики (таблица).

Для расчетов принимаем нормативные температуры наружного $t_n = -39^\circ\text{C}$ и внутреннего $t_v = 23^\circ\text{C}$ воздуха, коэффициенты теплоотдачи на наружной $\alpha_n = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ и внутренней $\alpha_v = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ поверхностях.

Характеристика материалов

Material parameters

Наименование материала		Толщина d , м	Коэффициент теплопроводности λ (Вт/(м·°C))
Кирпичная кладка	Вариант № 1	0,51	0,81
	Вариант № 2	0,64	
	Вариант № 3	0,77	
Цементно-песчаный раствор		0,02	0,93

Задача решается в прямоугольной декартовой системе координат x, y, z .

Нестационарный пространственный теплоперенос в рассматриваемом фрагменте конструкции в декартовой системе координат описывается системой нелинейных нестационарных трехмерных уравнений теплопроводности, количество которых равно числу всех элементов (n), в нее входящих:

$$(\rho c)_i \frac{\partial t_i}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{x,i} \frac{\partial t_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_{y,i} \frac{\partial t_i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_{z,i} \frac{\partial t_i}{\partial z} \right), \quad (1)$$

где $i = 1, \dots, n$, с соответствующими начальными и граничными условиями.

Для численной реализации математической модели использовался метод конечных элементов.

Результаты

Исследование теплового состояния ограждающей конструкции в области наружного угла проведено на примере типовой кирпичной стены. На рис. 1 показано распределение температурных полей и плотности теплового потока в ограждающей конструкции с самой низкой температурой в области угла.

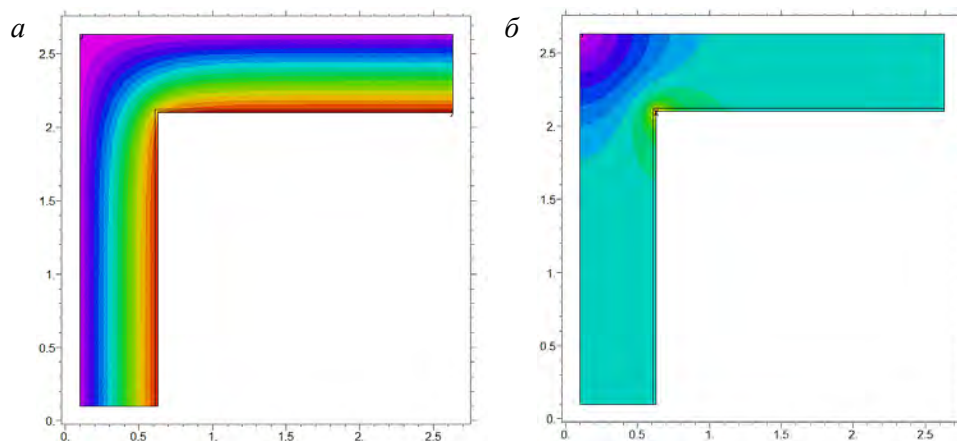


Рис. 1. Распределение (для конструкции $\delta = 510$ мм):

a – температурных полей; b – полей плотности теплового потока

Fig. 1. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields of building envelope 510 mm thick

Изотермы на глади стены идут параллельно друг другу, а при приближении к углу смещаются в сторону внутренней поверхности, что свидетельствует о понижении температуры на внутренней поверхности стены по мере приближения к углу. На рис. 2 приведены графики распределения температуры и плотности теплового потока вдоль внутренней поверхности наружного угла для всех рассматриваемых конструкций.

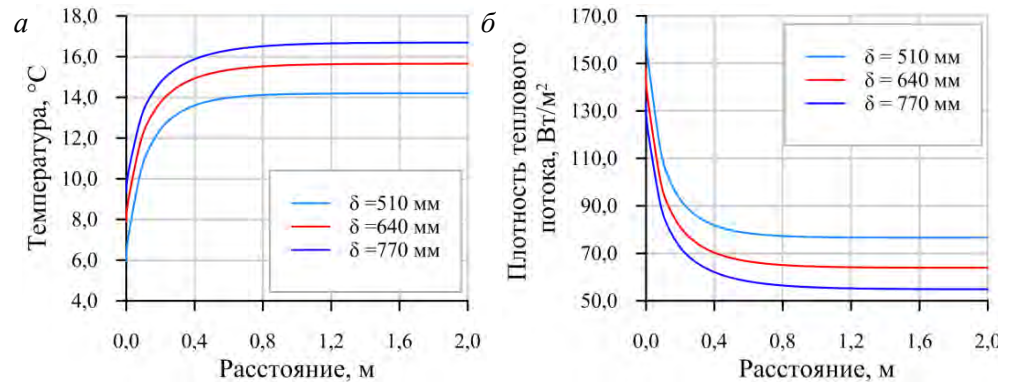


Рис. 2. График распределения:

a – температурных полей; b – полей плотности теплового потока

Fig. 2. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields

Температура в углу имеет минимальное значение, а на глади стены повышается и принимает постоянное значение. При толщине стены $\delta = 510$ мм температура изменяется от 5,95 до 14,20 °C, при $\delta = 640$ мм – от 7,88 до 15,65 °C, при $\delta = 770$ мм – от 9,35 до 16,69 °C (рис. 2). Плотность теплового потока, наоборот, ближе к углу увеличивает свое значение и при $\delta = 510$ мм изменяется от 166,47 до 76,59 Вт/м², при $\delta = 640$ мм – от 147,84 до 63,93 Вт/м², при $\delta = 770$ мм – от 133,67 до 54,89 Вт/м².

Анализируя данные, приведенные на графиках, можно отметить, что увеличение толщины стены приводит к увеличению температуры и уменьшению плотности теплового потока на внутренней поверхности стены. При $t_{\text{в}} = +23$ °C и $\phi = 55$ % нормируемая температура точки росы составляет $t_{\text{р}} = +13,5$ °C, следовательно, на внутренней поверхности стены есть вероятность выпадения конденсата. Во всех рассматриваемых случаях на расстоянии около 0,2 м от угла температура стены будет опускаться ниже критической отметки, тогда в помещении не будут создаваться условия для комфортного проживания людей.

Поскольку в таких случаях делать утепление всех наружных стен нецелесообразно, рассмотрим один из методов по устранению мостиков холода, предложенных К.Ф. Фокиным. В данном случае это наружный угол со скосом. Поверхность, образованная скосом, в основном используется в технологических, технических, а также в декоративных и эргономических целях. Геометрические параметры скосов выполнены согласно рекомендациям, представленным в источнике [16]. Допускается делать ширину скоса в пределах 250–400 мм.

Рассмотрим скос в двух вариантах: 250 и 400 мм. Результаты исследования в виде термограммы для стены $\delta = 510$ мм приведены на рис. 3.

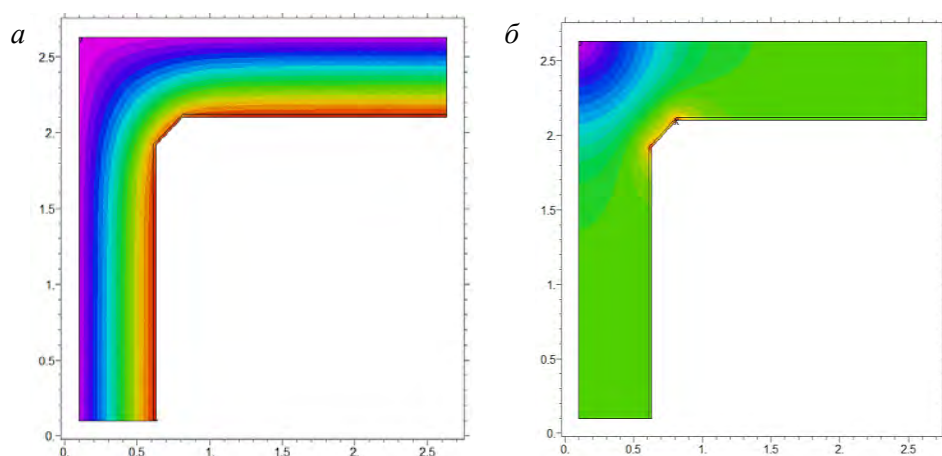


Рис. 3. Распределение (для конструкции $\delta = 510$ мм со скосом):

a – температурных полей; *б* – полей плотности теплового потока

Fig. 3. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields of building envelope 510 mm thick with bevel edge

В случае устройства внутреннего скоса из стенового материала положительное влияние оказывает изменение отношения площадей внутренней и внешней поверхности, кроме того, происходит увеличение термического сопротивления стены за счет ее местного утолщения. На рис. 4 приведено распределение температурных полей и плотности теплового потока для трех видов ограждающих конструкций.

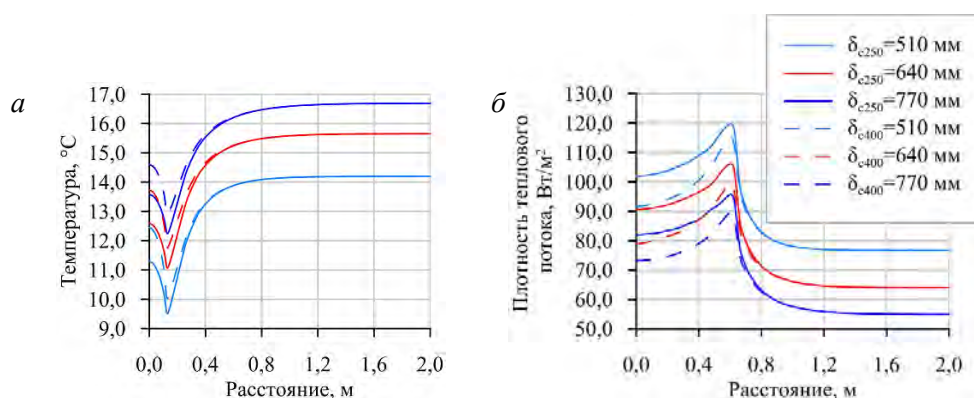


Рис. 4. График распределения (стена со скосом):

a – температурных полей; *б* – полей плотности теплового потока

Fig. 4. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields of building envelope with bevel edge

При устройстве скоса угла шириной 250 мм температура в области угла увеличивается (рис. 4): при толщине стены $\delta = 510$ мм температура изменяется

от 11,29 до 14,19 °С, при $\delta = 640$ мм – от 12,59 до 15,65 °С, при $\delta = 770$ мм – от 13,58 до 16,59 °С. Но в данном случае скосом образуются дополнительные углы с температурой в них 9,51; 11,08; 12,26 °С соответственно. В случае устройства скоса шириной 400 мм температура в центре скоса и в углах, образованных скосами, увеличивается примерно на 1,0 °С.

Значения плотности теплового потока в области центра скоса уменьшаются. При $\delta = 510$ мм значение изменяется до 101,87 Вт/м², при $\delta = 640$ мм – до 90,59 Вт/м², при $\delta = 770$ мм – до 81,91 Вт/м². При этом в углу значение плотности теплового потока увеличивается при $\delta = 510$ мм и изменяется до 119,82 Вт/м², при $\delta = 640$ мм – до 106,16 Вт/м², при $\delta = 770$ мм – до 95,59 Вт/м².

Можно отметить, что применение такого способа по устранению негативного влияния мостика холода в области наружного угла, как скос угла, не приводит к положительным результатам. Точка с минимальным значением температуры перемещается в углы, образованные скосом, и также не превышает предельную температуру точки росы. В этом случае минимальная температура образуется сразу в двух местах. Следовательно, данный способ не применим для улучшения микроклимата в помещении.

Также было проведено исследование распределения температурных полей и полей плотности теплового потока стены при использовании утепленного скоса (рис. 5). В качестве утеплителя применялся пенополистирол с $\lambda = 0,035$ (Вт/(м·°С)).

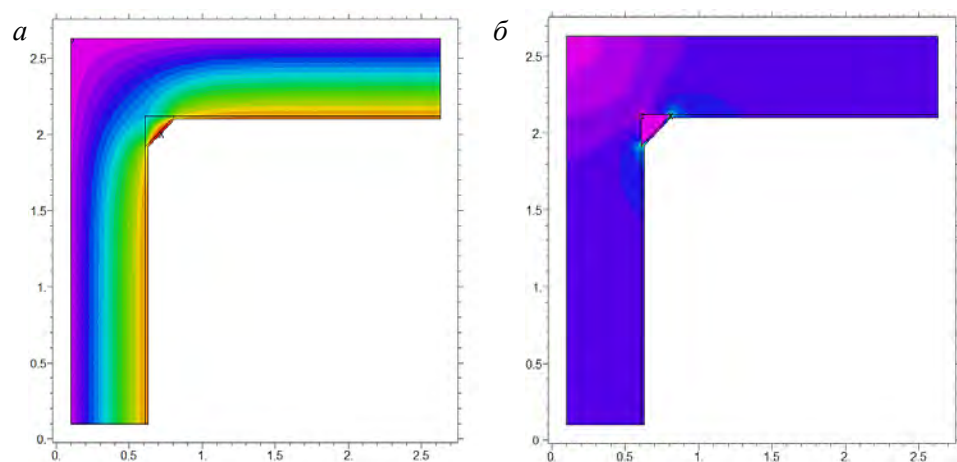


Рис. 5. Распределение (для конструкции $\delta = 510$ мм с утепленным скосом):

a – температурных полей; *б* – полей плотности теплового потока

Fig. 5. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields of building envelope 510 mm thick with insulated bevel edge

При устройстве скоса из утепленного материала на термограмме хорошо прослеживается характер изменения температурных полей (рис. 5). Тепловые потери в углу уменьшаются. На рис. 6 приведено распределение температурных полей и плотности теплового потока для рассматриваемых конструкций с обычным и утепленным скосом.

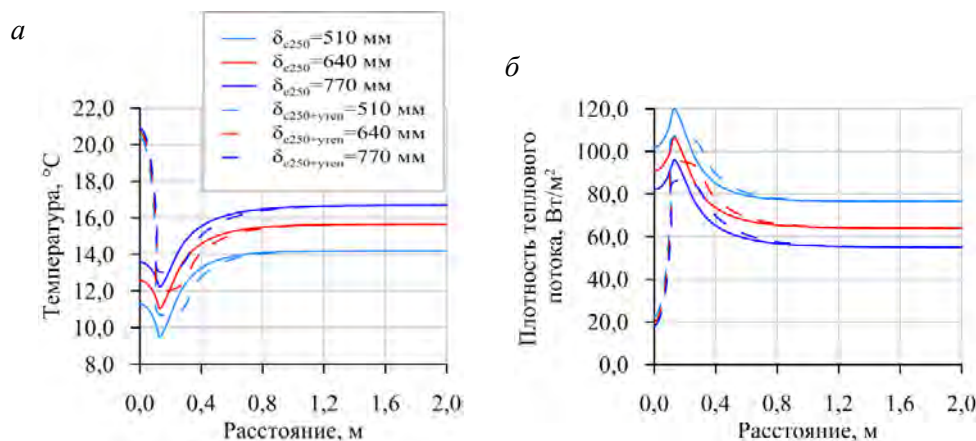


Рис. 6. График распределения (стена со скосом 250 мм):

a – температурных полей; *б* – полей плотности теплового потока

Fig. 6. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields of building envelope with 250 mm bevel edge

При исследовании утепляющего скоса шириной 250 мм (рис. 6) видно, что температура на глади стены также сохраняется постоянной, как при скосе без утеплителя. Температура в центре скоса увеличивается при толщине стены $\delta = 510$ мм до 20,45 °С, при $\delta = 640$ мм – до 20,71 °С, при $\delta = 770$ мм – до 20,92 °С. Плотность теплового потока в центре скоса уменьшается во всех случаях. В углах, образованных скосом, температура изменяется при $\delta = 510$ мм до 106,87 Вт/м², при $\delta = 640$ мм до 97,43 Вт/м², при $\delta = 770$ мм до 85,55 Вт/м².

Температура в критических местах наружной стены при утепляющем скосе 400 мм (рис. 7) также увеличивается приблизительно на 1,0 °С.

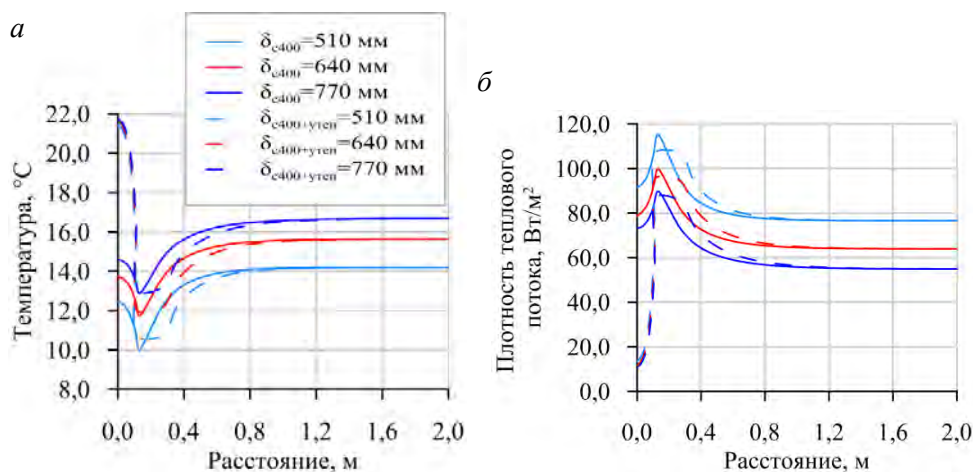


Рис. 7. График распределения (стена со скосом 400 мм):

a – температурных полей; *б* – полей плотности теплового потока

Fig. 7. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields of building envelope with 400 mm bevel edge

Результаты расчета для всех рассмотренных способов устранения влияния мостиков холода представлены на рис. 8.

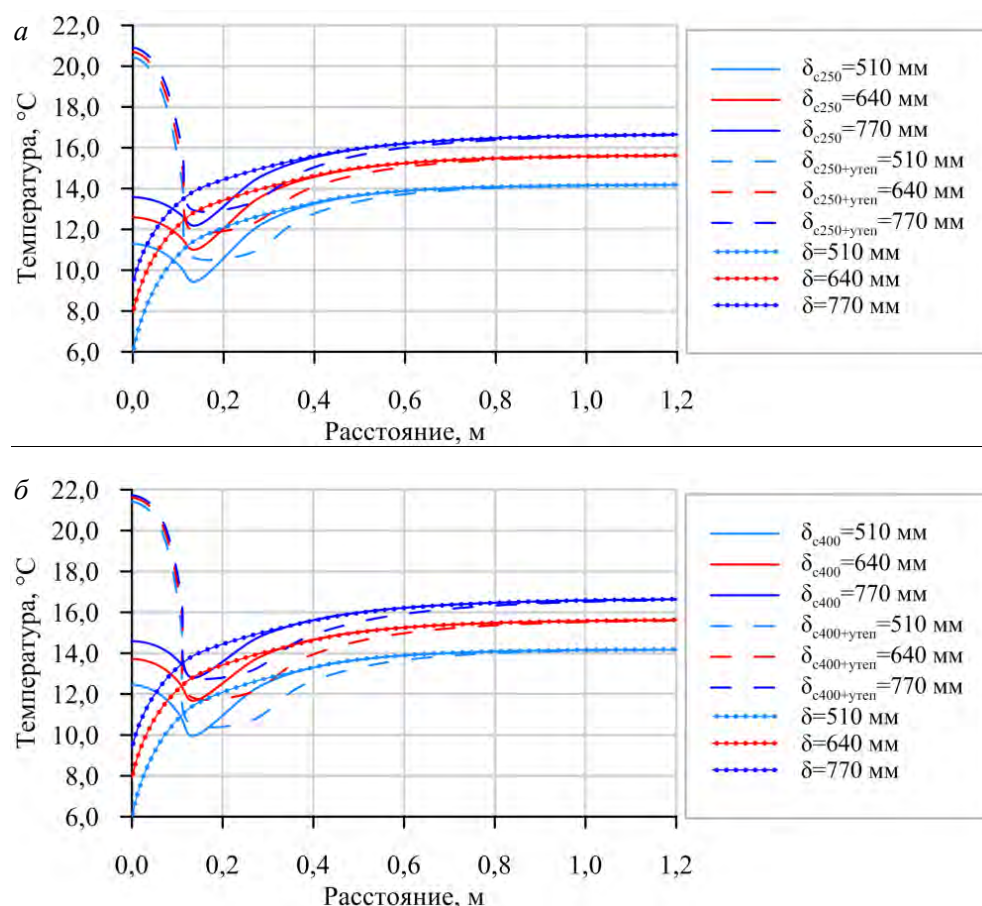


Рис. 8. График распределения температурных полей:

a – стена со скосом 250 мм; *б* – стена со скосом 400 мм

Fig. 8. Distribution of temperature fields:

a – walls with 250 mm bevel edge; *b* – walls with 400 mm bevel edge

Изменение конструкции стены в области наружного угла меняет и поведение температурного поля в этой области, на глади стены изменений никаких не возникает. При устройстве скоса температура на его поверхности увеличивается, но минимальная температура перемещается в углы, образованные скосами. Достоверность результатов контролируется программным комплексом и сравнением с известными аналитическими решениями.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно заключить, что применение утепленного скоса как способа по устранению негативного влияния мостика холода в области наружного угла демонстрирует лучшие ре-

зультаты по сравнению со скосом без утеплителя. Несмотря применение утеплителя, точка с минимальным значением температуры сохраняется в углах, как и при скосе без утеплителя, и также не превышает температуру точки росы $t_p = +13,5$ °С. Разница заключается в перемещении точки с минимальным значением температуры в углы, образованные скосом. В этом случае минимальная температура образуется сразу в двух местах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лобов О.И., Ананьев А.И., Рымаров А.Г. Основные причины несоответствия фактического уровня тепловой защиты наружных стен современных зданий нормативным требованиям // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 11. С. 67–71.
2. Гагарин В.Г., Чжоу Чжибо. О нормировании тепловой защиты зданий в Китае // Жилищное строительство. 2015. № 7. С. 18–22.
3. Аралов Е.С., Кумицкий Б.М., Бугаевский Д.О. Эффективность теплоизоляционных материалов, применяемых при строительстве наружных ограждающих конструкций // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2021. № 4 (25). С. 26–31.
4. Real S., Gomes G., Rodrigues M., Bogas A. Contribution of structural lightweight aggregate concrete to the reduction of thermal bridging effect in buildings // Construction and Building Materials. 2016. V. 121. P. 460–470.
5. Tsvetkov N., Khutornoi A., Kozlobrodov A., Ivanova E., Golovko A. Thermal state analysis of energy saving structures of cast-in-place lightweight aggregate concrete walls // MATEC Web of Conferences. 2018. V. 143. P. 01002. URL: <https://doi:10.1051/mateconf/201714301002>
6. Заболотный Д.Ю. Температурные мосты или мостики холода в жилых зданиях и сооружениях // Аллея науки. 2018. Т. 7. № 5 (21). С. 679–685.
7. Черкасов А.В., Деревцова К.В., Евсеев А.В. Конструктивные решения проблемы образования мостиков холода в жилых каркасных зданиях // Перспективы науки. 2019. № 11 (122). С. 49–51.
8. Егорова Т.С., Черкас В.Е. Повышение энергоэффективности зданий благодаря устранению критических мостиков холода и непрерывной изоляции выступающих строительных конструкций // Вестник МГСУ. 2011. № 3-1. С. 421–428.
9. Иванов А.В., Муреев П.Н., Осокина В.А., Макаров А.Н. Архитектурные элементы зданий как способ борьбы с мостиками холода // Фундаментальные исследования. 2016. № 3-1. С. 25–30.
10. Иванова Е.А., Козлобродов А.Н. Численное исследование влияние угла разворота на теплоперенос в многослойных элементах наружных ограждающих конструкций // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2020. Т. 6. № 4 (24). С. 69–87.
11. Назиров Р.А., Подковырин В.С., Подковырина К.А. Определение температуры внутренней поверхности в наружных углах зданий // Известия вузов. Строительство. 2016. № 10–11. С. 106–111.
12. Тимофеев Н.В., Сахновская С.А., Боклаг С.М., Петунина А.И. Эффективность фрагментарной скрепленной теплоизоляции наружных стен // Современное промышленное и гражданское строительство. 2011. Т. 7. № 2. С. 91–97.
13. Керник А.Г., Горишков А.С. Экономическая эффективность утепления стен каркасного дома // Кровельные и изоляционные материалы. 2017. № 6. С. 15–20.
14. Елохов А.Е., Верховский А.А., Борисов В.А. Сравнение эффективности схем утепления в системах навесных вентилируемых фасадов // Строительные науки. 2018. № 4. С. 116–122.
15. Туснина О.А., Емельянов А.А., Туснина В.М. Теплотехнические свойства различных конструктивных систем навесных вентилируемых фасадов // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 8. С. 54–65.
16. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Москва : АВОК–ПРЕСС, 2006. 256 с.

REFERENCES

1. Lobov O.I., Ananiev A.I., Rymarov A.G. Main reasons for non-compliance of real heat protection of external walls of modern buildings with regulatory requirements. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016; (11): 67–71. (In Russian)
2. Gagarin V.G., Zhou Zhibo. Thermal performance control of buildings in China. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2015; (7): 18–22. (In Russian)
3. Aralov E.C., Kumickij B.M., Bugaevskii D.O. Efficiency of heat-insulating materials used in construction of building envelopes. *Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikacii*. 2021; 4 (25): 26–31. (In Russian)
4. Real S., Gomes G., Rodrigues M., Bogas A. Contribution of structural lightweight aggregate concrete to the reduction of thermal bridging effect in buildings. *Construction and Building Materials*. 2016; 121: 460–470.
5. Tsvetkov N., Khutornoi A., Kozlobrodov A., Ivanova E., Golovko A. Thermal state analysis of energy saving structures of cast-in-place lightweight aggregate concrete walls. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 143: 01002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201714301002>
6. Zabolotnyy D.U. Thermal bypass in residential buildings and structures. *Alleya nauki*. 2018; 5 (21): 679–685. (In Russian)
7. Cherkasov A.V., Derevcova K.V., Evseev A.V. Constructive solutions of thermal bypass formation in residential buildings. *Perspektivy nauki*. 2019; 11 (122): 49–51. (In Russian)
8. Egorova T.S., Cherkas V.E. Improvement of energy efficiency of buildings by removing thermal bridges and insulation of projecting parts. *Vestnik MGSU*. 2011; (3-1): 421–428. (In Russian)
9. Ivanov A.V., Mureev P.N., Osokina V.A., Makarov A.N. Architectural elements of building for thermal bypasses. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2016; (3-1): 25–30. (In Russian)
10. Ivanova E.A., Kozlobrodov A.N. Numerical study of turning angle effect on heat transfer in multilayered elements of building envelopes. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiziko-matematicheskoe modelirovanie. Neft', gaz, energetika*. 2020; 4 (24): 69–87. (In Russian)
11. Nazirov R.A., Podkovyrin V.S., Podkovyrina K.A. Interior surface temperature measurement in external corners of building. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2016; (10–11): 106–111. (In Russian)
12. Timofeev N.V., Sahnovskaya S.A., Boklag S.M., Petunina A.I. Efficiency of fragmentary bonded thermal insulation of external walls. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2011; (2): 91–97. (In Russian)
13. Kernik A.G., Gorshkov A.S. Economic efficiency of frame house wall insulation. *Krovell'nye i izolyacionnye materialy*. 2017; (6): 15–20. (In Russian)
14. Elohov A.E., Verhovskij A.A., Borisov V.A. Insulation effectiveness in systems of hinged ventilated facades. *Stroitel'nye nauki*. 2018; (4): 116–122. (In Russian)
15. Tushina O.A., Emel'yanov A.A., Tushina V.M. Thermal insulation properties of various ventilated facade systems. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*. 2013; (8): 54–65. (In Russian)
16. Fokin K.F. Construction heat engineering of building envelopes. Moscow: AVOK-PRESS, 2006. 256 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Иванова Елена Александровна, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, energosber_e@mail.ru

Пенявский Виталий Владимирович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, pvv.tgasu@yandex.ru

Authors Details

Elena A. Ivanova, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, energosber_e@mail.ru

Vitalii V. Penyavskii, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, pvv.tgasu@yandex.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 16.07.2023
Одобрена после рецензирования 24.08.2023
Принята к публикации 17.10.2023

Submitted for publication 16.07.2023
Approved after review 24.08.2023
Accepted for publication 17.10.2023