



Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spbstu.ru



doi: 10.18720/CUBS.67.5

Влияние размещения оконного блока по толщине стены на теплопотери

Influence of placement of the window block on wall thickness on heat losses

С.В. Корниенко^{1*}, Д.Ф. Глухова²

Волгоградский государственный технический университет, 400005, Россия, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28

S.V. Korniyenko^{1*}, D.F. Glukhovaya²

Volgograd State Technical University, 28, Lenina Ave., Volgograd, Russia, 400005

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

здания;
сооружения;
гражданское строительство;
теплопотери;
энергоэффективность;
оконный блок;
ограждающие конструкции;
температурное поле;
графический анализ;
оконный откос;

KEYWORDS

buildings;
construction;
civil engineering;
heat losses;
energy efficiency;
window block;
enclosing structures;
temperature field;
graphical approach;
jamb;

ИСТОРИЯ

Подана в редакцию: 18.04.2018
Принята: 24.05.2018

ARTICLE HISTORY

Submitted: 18.04.2018
Accepted: 24.05.2018

АННОТАЦИЯ

Сопряжение оконного блока с наружной стеной является одним из наиболее ответственных узлов при теплотехническом проектировании оболочки здания. Для уменьшения тепловых потерь через узел необходимо учитывать не только конструктивные особенности окна и стены, но и расположение оконного блока в толще стены. В данной статье выполнена оценка влияния размещения оконного блока по толщине стены, выполненной из конструктивно-теплоизоляционных материалов, на добавочные потери теплоты через узел. Рассмотрены различные варианты расположения оконного блока по толщине стены: на глубину «четверти» и посередине стены. Из полученных результатов графического расчета двумерного стационарного температурного поля установлено, что удельные добавочные потери теплоты в узле примыкания оконного блока к стене с применением «четверти» на 38% больше, чем при размещении оконного блока посередине стены. Размещение оконного блока в нейтральной зоне наружной стены снижает удельные добавочные потери теплоты и повышает теплотехническую эффективность узла сопряжения. Расчетные значения удельных добавочных тепловых потерь через узел примыкания оконного блока к стене согласованы с данными, приведенными в нормативном документе DIN 4108 Bb1 2:2004–01, что подтверждает корректность результатов исследования. Полученные результаты графического расчета являются предварительными и могут быть уточнены численным расчетом двумерного стационарного температурного поля. Результаты расчета температурного поля могут быть использованы при уточнении нормативных требований к размещению оконного блока по толщине стены, выполненной из конструктивно-теплоизоляционных материалов, как вновь строящихся, так и реконструируемых зданий.

ABSTRACT

Interface of the window block to an external wall is one of the most responsible knots at thermal engineering design of envelope. For reduction of thermal losses through knot, it is necessary to consider not only design features of a window and wall, but also an arrangement of the window block in the thickness of a wall. In this article the assessment of influence of placement of the window block on thickness of the wall made of constructive and thermal-insulating materials on additional losses of warmth through knot is executed. Various options of an arrangement of the window block on wall thickness are considered: on depth of "quarter" and in the middle of a wall. From the received results of graphic calculation of the two-dimensional stationary temperature field it is established that specific additional losses of warmth in knot of interface of the window block to a wall with

application of "quarter" are 38% more, than at placement of the window block in the middle of a wall. Placement of the window block in a neutral zone of an external wall reduces specific additional losses of warmth and increases thermal efficiency of knot. Calculated values of specific additional thermal losses through knot of interface of the window block to a wall are agreed with the data of DIN 4108 of Bbl 2:2004-01 that confirms correctness of results of research. The results of graphic calculation are preliminary and can be specified by numerical modeling of the two-dimensional stationary temperature field. Results of calculation of the temperature field can be used at specification of standard requirements to placement of the window block on thickness of the wall made of constructional and thermal-insulating materials in construction and by means of thermorenovation.

Содержание

1.	Введение	63
2.	Методы	65
3.	Результаты и обсуждение	67
4.	Заключение	70

1. Введение

Ограждающие конструкции современных зданий с повышенным уровнем теплозащиты имеют определенное своеобразие. В стенах расположены большие оконные проемы. Со стороны помещения к наружной стене примыкают внутренние стены и междуэтажные перекрытия. Стены, как правило, имеют углы. Нижняя часть стены сопрягается с цоколем здания, верхняя часть — с крышей. В толще стены имеются теплопроводные включения в виде гибких металлических связей, прокладных сеток, обрамляющих ребер. Наличие в конструкции ограждения таких теплотехнически неоднородных участков (краевых зон) приводит к образованию в них сложных двух- и трехмерных температурных полей [1—3].

Одним из наиболее ответственных узлов при теплотехническом проектировании оболочки здания является узел примыкания оконного блока к наружной стене. Оконный блок значительно тоньше стены и может быть расположен в оконном проеме различным образом. Сопротивление теплопередаче окна значительно (в 5...6 раз) меньше сопротивления теплопередаче стены, что приводит к локализации теплового потока в данной краевой зоне. Большинство дефектов (до 90%) отмечается в узлах примыкания оконных блоков к стенам, что объясняется несоответствием оконных блоков нормативным требованиям по теплозащите, неправильной установкой оконных блоков, ненадлежащим качеством теплоизоляции монтажных швов [3—6].

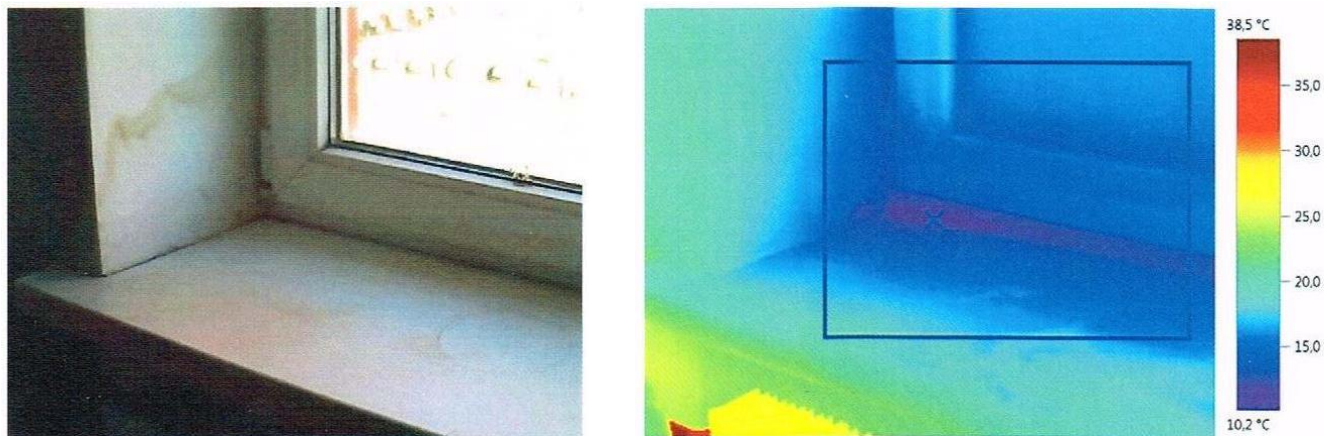


Рисунок 1. Теплотехнические дефекты в узлах примыкания оконного блока к стеновому проему [3]

Узел примыкания оконного блока к стене включает в себя внутренний и наружный оконные откосы. При обеспечении заданных параметров микроклимата помещения в холодный период года наибольшую опасность представляет внутренний откос. В зоне откоса образуется двумерное температурное поле. Понижение температуры на внутренней поверхности откоса ниже точки росы воздуха в помещении приводит к выпадению конденсата и образованию плесневых грибов, что делает помещение непригодным для дальнейшей эксплуатации. Локализация теплового потока в краевой зоне сопряжения окна со стеной повышает потери теплоты конструкций.

В настоящее время перед специалистами стоит важная задача проектирования комфортных зданий с наиболее совершенным температурно-влажностным режимом в помещениях зданий, отвечающих современным требованиям теплозащиты и энергосбережения.

Для эффективного решения данной задачи необходимо использовать комплекс энергосберегающих мероприятий [7—11]. Так, для уменьшения тепловых потерь через ограждающие конструкции необходимо учитывать не только конструктивные особенности окна и стены [9, 10], но и расположение оконного блока в толще стены. Однако данные, содержащиеся в нормативно-инструктивных документах, затрудняют прямую оценку влияния размещения оконного блока по толщине стены на теплозащитные свойства краевой зоны [12—16].

Согласно п. 8.27 СП 23–101–2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» оконные блоки и балконные двери следует размещать в оконном проеме на глубину обрамляющей «четверти» (50...120 мм) от плоскости фасада теплотехнически однородной стены или посередине теплоизоляционного слоя в многослойных конструкциях стен. Однако в данном нормативном документе ничего не сказано о размещении оконного блока в стене, выполненной из конструкционно-теплоизоляционных материалов, сочетающих в себе конструкционные и теплоизоляционные свойства, и обеспечивающей одновременно требования механической и теплотехнической безопасности зданий. В СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» нормативные требования по размещению оконного блока отсутствуют. СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей» содержит данные по удельным тепловым потерям типовых узлов примыкания оконного блока к стене. Однако для стен, выполненных из конструкционно-теплоизоляционных материалов, рассматривается расположение оконного блока только на глубину «четверти».

Размещение оконного блока по толщине стены необходимо проверять по расчету температурного поля. Аналитические методы расчета температурного поля могут быть использованы для ограниченного круга задач [1]. Для большинства практических задач, когда наряду с двумерностью теплового поля приходится учитывать его неоднородность, аналитические методы не могут быть использованы. В этом случае применяют численные методы расчета с применением современных компьютерных программ и программно-вычислительных комплексов [17—20]. Численные методы расчета имеют высокую точность, однако их применение в инженерной оценке теплозащитных свойств затруднено в связи с применением сложных математических моделей теплопереноса [19, 20], трудоемкостью подготовки исходных данных для расчета, ограниченной доступностью программ, трудностью интерпретации полученных результатов неподготовленным проектировщиком.

Для получения сравнительно быстрого ориентировочного представления о сложном тепловом поле удобен графический метод [1]. Этот метод заключается в приближенном построении от руки стационарного двумерного температурного поля. Точность графического метода невысока. Однако его применение позволяет выполнить оперативную оценку температурного режима и теплозащитных свойств ограждения без применения специализированных и дорогостоящих компьютерных программ, что особенно важно на стадии предпроектного анализа, при технико-экономическом обосновании выбранного конструктивного решения, а также при проведении судебных строительно-технических экспертиз [3].

Целью данной работы является оценка влияния расположения оконного блока по толщине стены на тепловые потери через краевую зону.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить графический анализ теплового режима на основе расчета двумерного стационарного температурного поля узла сопряжения оконного блока с наружной стеной, при различном расположении оконного блока по толщине стены;
- на основании графического анализа определить добавочные удельные потери теплоты через рассматриваемую краевую зону.

Объектом исследования является узел сопряжения оконного блока с наружной стеной.

Рассматривается теплотехнически однородная стеновая конструкция, выполненная из конструкционно-теплоизоляционных материалов. Толщина стены $\delta = 0,5$ м. Согласно проектной документации теплопроводность материала стены $\lambda = 0,18$ Вт/(м·К). Оконный блок представлен в виде пластины с эквивалентными характеристиками теплопередачи. Соотношение условной толщины оконного блока и стены составляет 1:10.

Характеристики теплообмена: у внутренней поверхности стены — $\alpha_{в} = 8,7$ Вт/(м²·К), у наружной поверхности стены — $\alpha_{н} = 23$ Вт/(м²·К).

Рассматривается два варианта размещения оконного блока: на глубину «четверти» (0,12 м) и посередине стены (рис. 2).

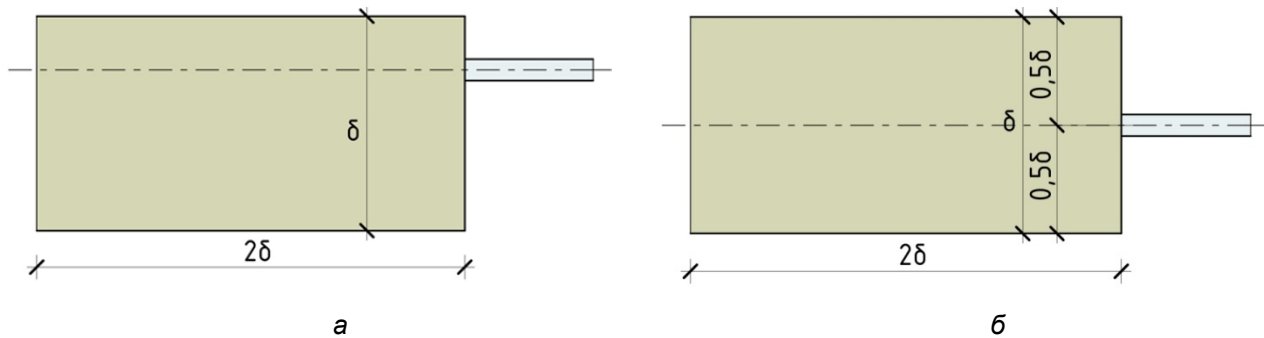


Рисунок 2. Варианты расположения оконного блока по толщине стены: а — на глубину «четверти» (условно не показана); б — посередине стены

Рассматриваемые варианты размещения оконного блока широко применяют на практике [2].

2. Методы

Для расчета стационарного двумерного температурного поля узла сопряжения оконного блока с наружной стеной использован графический метод [1]. Этот метод основан на построении ортогональной сетки криволинейных квадратов, образованной линиями токов теплоты и изотермами. Изображаются линии токов теплоты и изотермы в виде ортогональной сетки криволинейных квадратов (рис. 3). Линии такой сетки ортогональны: в точках пересечения они образуют прямые углы, и в пределах каждого квадрата среднее расстояние между изотермами равно среднему расстоянию между линиями токов теплоты:

$$\Delta l_1 = \Delta l_2 \quad (1)$$

В такой сетке тепловой поток в «трубке», образованной двумя соседними линиями тока, равен

$$\Delta Q = \frac{\Delta l_2 \lambda}{\Delta l_1} \Delta t = \lambda \Delta t \quad (2)$$

где Δt — перепад температур между соседними изотермами, равный

$$\Delta t = \frac{(t_2 - t_1)}{S} \quad (3)$$

где t_1 и t_2 — температуры на границах области, для которой строится температурное поле; S — число интервалов между изотермами.

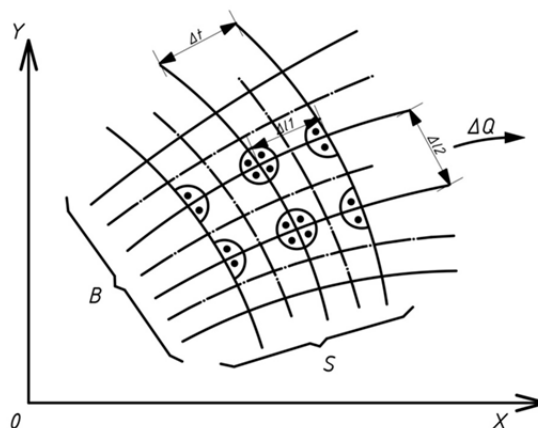


Рисунок 3. Сетка ортогональных криволинейных квадратов

Пусть B — число интервалов между линиями тепловых потоков в пределах рассматриваемой области конструкции (число «трубок» тока). Тогда общее количество теплоты, проходящее через эту область конструкции, равно

$$Q = \frac{B}{S} \lambda (t_2 - t_1) \quad (4)$$

Отношение B/S в формуле (4) является геометрическим параметром, характеризующим область двумерного температурного поля определенной конфигурации. Отношение геометрических параметров для двумерной и одномерной областей одинаковой ширины показывает, во сколько раз изменится тепловой поток через поверхность определенной ширины в двумерной области по сравнению с одномерной.

Обычно стык оконного блока со стеной нарушает одномерность температурного поля на расстоянии до двух калибров по ширине ограждения, поэтому в этом случае необходимо учитывать участок ограждения шириной в два калибра.

За один калибр в реальных ограждениях, имеющих заданные характеристики теплообмена у поверхностей, принимают условную толщину однородного ограждения с сопротивлением теплопередаче R_0 и теплопроводностью материала λ . Ширина a_f в два калибра равна [1]:

$$a_f = 2\lambda R_0 \quad (5)$$

Для оценки меры согласованности ширины стены a_f в два калибра и удвоенной толщины стены 2δ удобно использовать относительное отклонение a_f от 2δ , определяемое по формуле

$$d = \left(\frac{\lambda R_0}{\delta} - 1 \right) 100 \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что для стеновых конструкций с повышенным уровнем теплоизоляции термическое сопротивление стены существенно выше сопротивлений теплообмену внутренней и наружной поверхности ограждения, поэтому для таких стеновых конструкций d незначительно. Следовательно, в этом случае ширина стены в два калибра и удвоенная толщина стены практически совпадают. Для стеновых конструкций с пониженным уровнем теплоизоляции параметры a_f и 2δ заметно различаются.

Важным параметром, характеризующим проводимость теплоты двумерным элементом конструкции по сравнению с одномерным, является фактор формы. Фактором формы f двумерного элемента ограждения называется отношение геометрических параметров B/S двумерной и одномерной частей ограждения при их одинаковой ширине по поверхности, равной двум калибрам [1]:

$$f = \frac{B}{2S} \quad (7)$$

где B/S — отношение числа «трубок» тока к числу интервалов между изотермами (изотермических полос) в ортогональной сетке криволинейных квадратов, расположенных в области двумерного температурного поля на ширине поверхности в два калибра.

Фактор формы показывает во сколько раз больше проводимость теплоты двумерным элементом по сравнению с одномерным.

Для рассматриваемого узла сопряжения оконного блока со стеной фактор формы может быть вычислен относительно внутренней и наружной поверхности. Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» в теплотехническом расчете площадь ограждений принимают по внутреннему контуру. В этом случае фактор формы узла следует определять по внутренней поверхности.

Удельные добавочные потери теплоты ΔQ_d , Вт/(м·К), через узел сопряжения оконного блока со стеной по сравнению с тепловыми потерями через участок стены с одномерным полем определяют по формуле

$$\Delta Q_d = 2\lambda(f - 1) \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что с ростом фактора формы (при $f > 1$) удельные добавочные потери теплоты через узел сопряжения возрастают. При $f = 1$ $\Delta Q_d = 0$, и узел не оказывает влияние на тепловые потери конструкции.

Указанный графический метод использован для расчета двумерного стационарного температурного поля узла сопряжения оконного блока с наружной стеной, при различном расположении оконного блока по толщине стены.

3. Результаты и обсуждение

Выполним оценку меры согласованности ширины стены a_f в два калибра и удвоенной толщины стены 2δ при различных значениях толщины и теплопроводности ограждения. Используя формулу (6), построен график зависимости относительного отклонения d от толщины стены при различных значениях теплопроводности материала стены (рисунок 4).

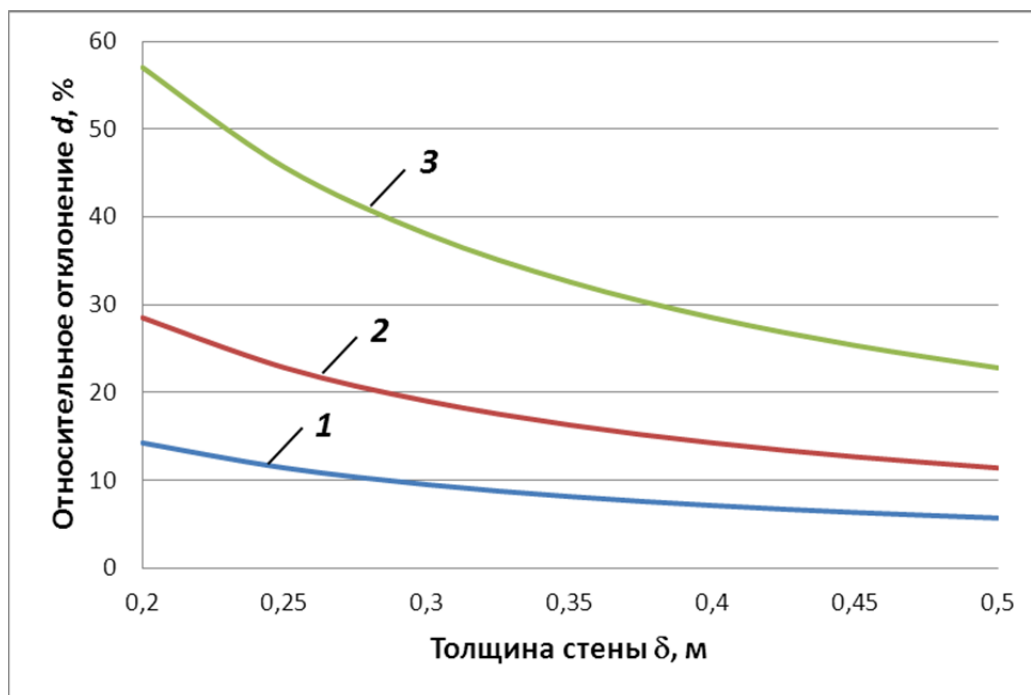


Рисунок 4. График зависимости относительного отклонения d от толщины стены при различных значениях теплопроводности: 1 — $\lambda = 0,18$ Вт/(м·К); 2 — $\lambda = 0,36$ Вт/(м·К); 3 — $\lambda = 0,72$ Вт/(м·К)

Из рисунка 4 видно, что при фиксированном значении теплопроводности λ с увеличением толщины стены δ относительное отклонение d уменьшается. При фиксированном значении толщины стены δ с ростом теплопроводности λ относительное отклонение d увеличивается. При малых значениях δ и больших λ отмечается существенное расхождение геометрических параметров a_f и 2δ .

При указанных выше исходных данных сопротивление теплопередаче по «глади» стены равно

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,5}{0,18} + \frac{1}{23} = 2,94 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

По формуле (5) ширина стены в два калибра равна

$$a_f = 2 \cdot 0,18 \cdot 2,94 = 1,06 \text{ м}.$$

Удвоенная толщина стены равна $2\delta = 1,0$ м.

По формуле (6) относительное отклонение $d = 6\%$. Таким образом, в данном случае толщина стены в два калибра и удвоенная толщина стены практически совпадают, что использовано нами при графическом построении температурного поля рассматриваемого узла сопряжения.

Результаты построения стационарного двумерного температурного поля с помощью графического метода, описанного выше, для рассматриваемых вариантов расположения оконного блока по толщине стены приведены на рисунках 5 и 6. Температурные поля построены в безразмерном виде.

На рисунке 5 приведено температурное поле узла примыкания оконного блока к стене с размещением оконного блока на глубины «четверти» (рисунок 1, а).

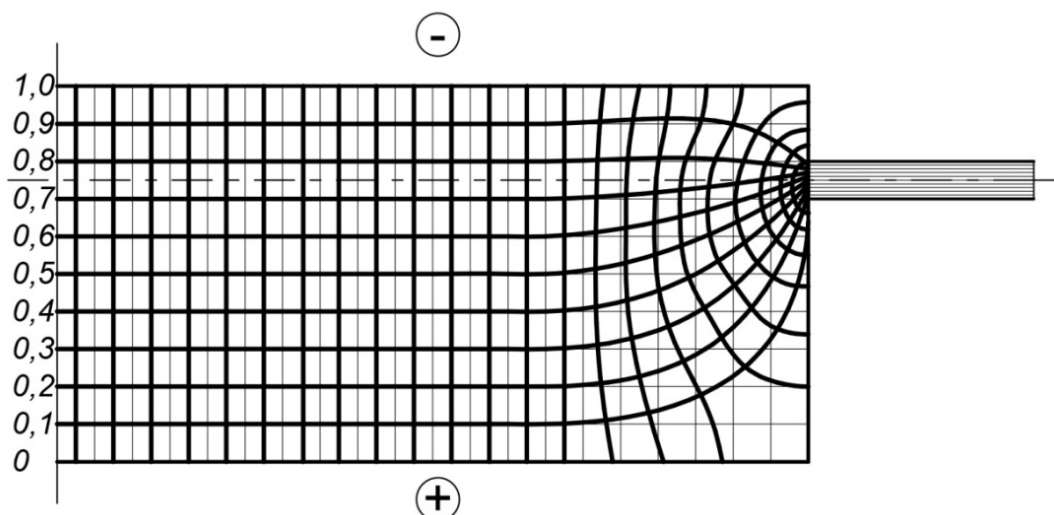


Рисунок 5. Температурное поле узла при размещении оконного блока на глубину «четверти»

Из результатов построения число изотермических полос $S = 10$, число «трубок» тока $B = 23,5$. По формуле (7) фактор формы f узла равен

$$f = \frac{23,5}{2 \cdot 10} = 1,18.$$

По формуле (8) удельные добавочные потери теплоты через узел равны

$$\Delta Q_{\text{д}} = 2 \cdot 0,18(1,18 - 1) = 0,065 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}.$$

На рисунке 6 приведено температурное поле узла примыкания оконного блока к стене с размещением оконного блока посередине стены (рисунок 1, б).

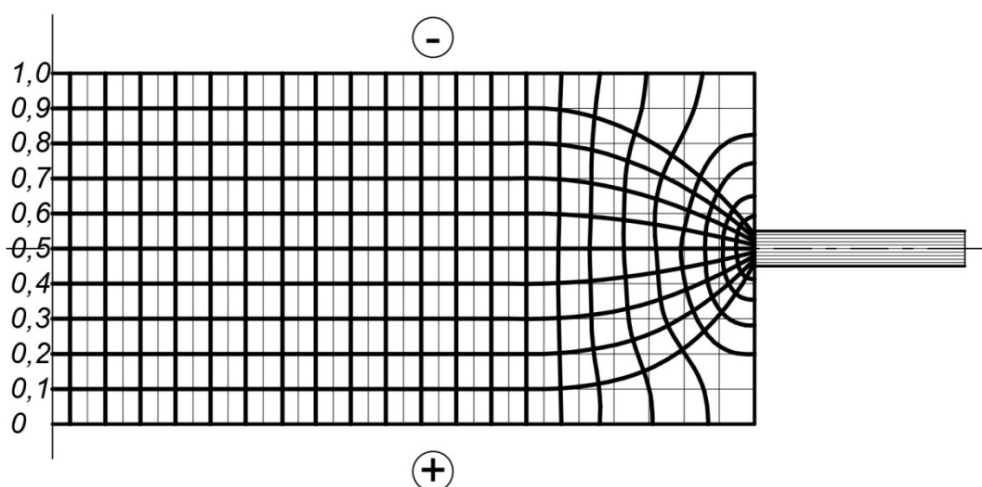


Рисунок 6. Температурное поле узла при размещении оконного блока посередине стены

Из результатов построения число изотермических полос $S = 10$, число «трубок» тока $B = 22,5$. По формуле (7) фактор формы f узла равен

$$f = \frac{22,5}{2 \cdot 10} = 1,13.$$

По формуле (8) удельные добавочные потери теплоты через узел равны

$$\Delta Q_{\text{д}} = 2 \cdot 0,18(1,13 - 1) = 0,047.$$

Результаты расчета теплового режима рассматриваемых вариантов конструктивного решения узла сопряжения оконного блока с наружной стеной приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчета теплового режима узла сопряжения оконного блока с наружной стеной

Показатель	Обозначение, единица измерения	Значение показателя по варианту расчета	
		1	2
Число изотермических полос	S	10	10
Число «трубок» тока	B	23,5	22,5
Фактор формы	f	1,18	1,13
Удельные добавочные потери теплоты	ΔQ_d , Вт/(м·К)	0,065	0,047

Из полученных результатов видно, что удельные добавочные потери теплоты в узле примыкания оконного блока к стене с применением «четверти» на 38% больше, чем при размещении оконного блока посередине стены. Следовательно, размещение оконного блока в нейтральной зоне наружной стены снижает удельные добавочные потери теплоты и повышает теплотехническую эффективность узла сопряжения.

На рисунке 7 приведено сравнение полученных результатов расчета удельных добавочных потерь теплоты через узел сопряжения оконного блока с наружной стеной с данными немецких норм DIN 4108 Bbl 2:2004–01 “Wärmeschutz und Energie — Einsparung in Gebäuden — Wärmebrücken — Planungs und Ausführungsbeispiele (Thermal insulation and Energy economy in buildings — Thermal bridges — Examples for planning and performance)”. В этом нормативном документе приведено максимальное значение удельных добавочных потерь теплоты, равное 0,07 Вт/(м·К), через узел аналогичного конструктивного решения.

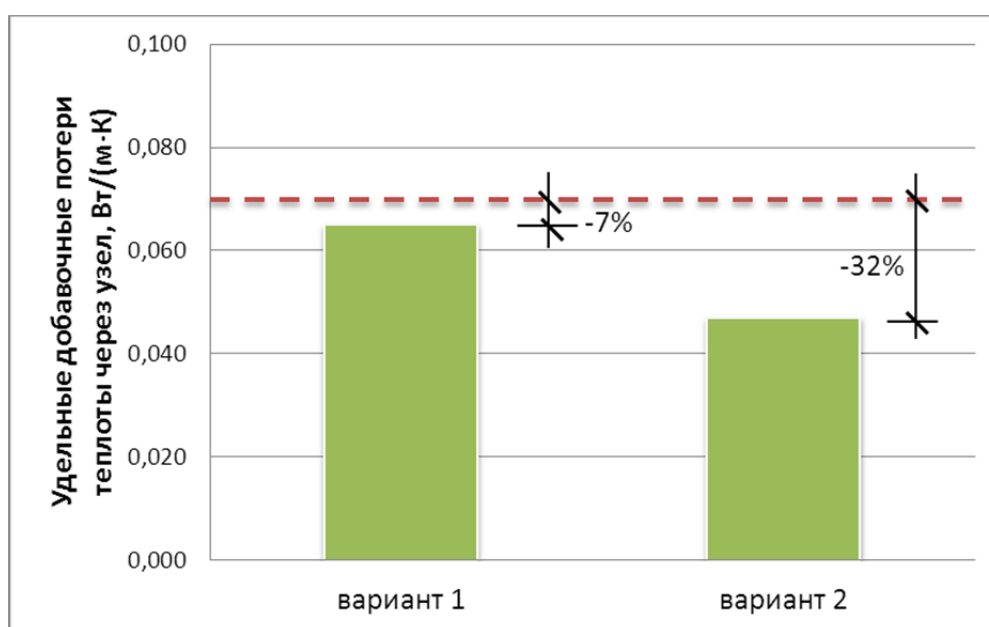


Рисунок 7. Сравнение результатов расчета удельных добавочных тепловых потерь через узел сопряжения оконного блока со стеной с данными DIN 4108 Bbl 2:2004–01 (пунктирная линия)

Из рисунка 7 видно, что полученные значения удельных добавочных тепловых потерь через узел меньше максимального значения, приведенного в нормативном документе DIN 4108 Bbl 2:2004–01. В целом можно отметить согласованность полученных результатов с указанными данными, что подтверждает корректность результатов исследования.

Полученные результаты графического расчета являются предварительными и могут быть уточнены численным расчетом двумерного стационарного температурного поля [5]. Результаты расчета температурного поля могут быть использованы при уточнении нормативных требований к размещению оконного блока по толщине стены, выполненной из конструктивно-теплоизоляционных материалов, как вновь строящихся [4, 12], так и реконструируемых [21—23] зданий.

4. Заключение

По итогам расчета стационарного двумерного температурного поля для различных вариантов конструктивного решения узла сопряжения оконного блока с наружной стеной сделаны следующие выводы:

1. Выполнена оценка меры согласованности ширины стены в два калибра и удвоенной толщины стены. Установлено, что для стеновых конструкций с повышенным уровнем теплоизоляции ширина стены в два калибра и удвоенная толщина стены практически совпадают. Для стеновых конструкций с пониженным уровнем теплоизоляции указанные параметры заметно различаются. Установленный факт следует использовать при подготовке и уточнении исходных данных для расчета температурного поля узла.

2. Из полученных результатов графического расчета двумерного стационарного температурного поля установлено, что удельные добавочные потери теплоты в узле примыкания оконного блока к стене с применением «четверти» на 38% больше, чем при размещении оконного блока посередине стены. Размещение оконного блока в нейтральной зоне наружной стены снижает удельные добавочные потери теплоты и повышает теплотехническую эффективность узла сопряжения.

3. Полученные расчетом значения удельных добавочных тепловых потерь через узел примыкания оконного блока к стене имеют согласованность с данными, приведенными в нормативном документе DIN 4108 Bbl 2:2004–01, что подтверждает корректность результатов исследования.

4. Полученные результаты графического расчета являются предварительными и могут быть уточнены численным расчетом двумерного стационарного температурного поля. Результаты расчета температурного поля могут быть использованы при уточнении нормативных требований к размещению оконного блока по толщине стены, выполненной из конструкционно-теплоизоляционных материалов, как вновь строящихся, так и реконструируемых зданий.

Литература

- [1]. Богословский В.Н. Тепловой режим здания. М.: Стройиздат, 1979.
- [2]. Горшков А.С., Миков В.Л. Биоповреждения оконных откосов и нормативы проектирования окон // Светопрозрачные конструкции. 2017. № 6 (116). С. 39–41.
- [3]. Ватин Н.И., Горшков А.С., Корниенко С.В., Пестряков И.И. Потребительские свойства стеновых изделий из автоклавного газобетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 1. С. 78–101.
- [4]. Горшков А.С., Миков В.Л. Проектирование ограждающих конструкций в странах Европейского союза и России // Светопрозрачные конструкции. 2017. № 5 (115). С. 46–54.
- [5]. Korniyenko S.V. (2014). The experimental analysis and calculative assessment of building energy efficiency. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 618. Pp. 509–513.
- [6]. Korniyenko S. (2018). Complex analysis of energy efficiency in operated high-rise residential building: Case study. E3S Web of Conferences. 2018. No. 33, 02005.
- [7]. Baranova D., Sovetnikov D., Semashkina D., Borodinecs A. (2017). Correlation of energy efficiency and thermal comfort depending on the ventilation strategy. Procedia Engineering. 2017. No. 205. Pp. 503–510.
- [8]. Корниенко С.В. О применимости методики СП 50.13330.2012 к расчету влажностного режима ограждающих конструкций с мультizonальной конденсацией влаги // Строительство и реконструкция. 2014. № 5 (55). С. 29–37.
- [9]. Мусорина Т.А., Гамаюнова О.С., Петриченко М.Р. Обоснование конструктивных мероприятий по увеличению энергоэффективности стеновых ограждений // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 11 (110). С. 1269–1277.
- [10]. Попова Е.Е., Городилова А.Е., Куколев М.И. Повышение энергоэффективности домов с помощью навесных вентилируемых фасадов // Ростовский научный журнал. 2017. № 12. С. 367–378.
- [11]. Bogdanovičs R., Borodinecs A., Zajacs A., Šteinerte K. (2018). Review of Heat Pumps Application Potential in Cold Climate. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. No. 692. Pp. 543–554.
- [12]. Корниенко С.В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплотер в краевых зонах

References

- [1]. Bogoslovskiy V.N. Teplovoiy rezhim zdaniya [Thermal condition of the building]. Moscow: Stroyizdat, 1979. (rus)
- [2]. Gorshkov A.S., Mikov V.L. Biopovrezhdeniya okonnykh otkosov i normativy proyektirovaniya okon [Biodeterioration of the window slopes and the standards of engineering of window]. Svetoprozrachnyye konstruksii. 2017. No. 6 (116). Pp. 39-41. (rus)
- [3]. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Korniyenko S.V., Pestryakov I.I. Potrebitel'skiye svoystva stenovykh izdeliy iz avtoklavnogo gazobetona [Consumer properties of wall products from autoclaved aerated concrete]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2016. No. 1. Pp. 78–101. (rus)
- [4]. Gorshkov A.S., Mikov V.L. Proyektirovaniye ograzhdayushchikh konstruksiy v stranakh Yevropeyskogo soyuza i Rossii [Engineering of enclosing structures in the countries of the European Union and Russia]. Svetoprozrachnyye konstruksii. 2017. No. 5 (115). Pp. 46–54. (rus)
- [5]. Korniyenko S.V. (2014). The experimental analysis and calculative assessment of building energy efficiency. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 618. Pp. 509–513.
- [6]. Korniyenko S. (2018). Complex analysis of energy efficiency in operated high-rise residential building: Case study. E3S Web of Conferences. 2018. No. 33, 02005.
- [7]. Baranova D., Sovetnikov D., Semashkina D., Borodinecs A. (2017). Correlation of energy efficiency and thermal comfort depending on the ventilation strategy. Procedia Engineering. 2017. No. 205. Pp. 503–510.
- [8]. Korniyenko S.V. O primenimosti metodiki SP 50.13330.2012 k raschetu vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruksiy s multizonalnoy kondensatsiyey vlagi [On the applicability of the technique of SP 50.13330.2012 to the calculation of the moisture regime of enclosing structures with multizone condensation of moisture]. Stroitelstvo i rekonstruktsiya. 2014. No.5 (55). Pp.29-37. (rus)
- [9]. Musorina T.A., Gamayunova O.S., Petrichenko M.R. Obosnovaniye konstruktivnykh meropriyatiy po uvelicheniyu energoeffektivnosti stenovykh ograzhdeniy [Substantiation of constructive measures to increase the energy efficiency of wall fences. Newsletter MGSU]. Vestnik MGSU. 2017. Vol. 12. No. 11 (110). Pp. 1269–1277. (rus)
- [10]. Popova Ye.Ye., Gorodilova A.Ye., Kukolev M.I. Povysheniye

- ограждающих конструкций. М-во образования и науки Российской Федерации, Волгоградский гос. архитектурно-строит. ун-т. Волгоград, 2011.
- [13]. Gumerova E., Gamayunova O., Meshcheryakova T. (2018). Energy Efficiency Upgrading of Enclosing Structures of Mass Housing of the Soviet Union. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. No. 692. Pp. 432–439.
- [14]. Statsenko E., Ostrovaia A., Musorina T., Sergievskaya N. (2018). Thermal Properties of the Building with Low Energy Consumption (LEB). *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. No. 692. Pp. 417–431.
- [15]. Gorshkov A., Vatin N., Nemova D., Shabaldin A., Melnikova L., Kirill P. (2015). Using life-cycle analysis to assess energy savings delivered by building insulation. *Procedia Engineering*. 2015. No. 117(1). Pp. 1085–1094.
- [16]. Vasilyev G.P., Gornov V.F., Lichman V.A., Yurchenko I.A. (2015). A method of assessing energy consumption of buildings during commissioning. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2015. Vol. 10. No. 15. Pp. 6509–6512.
- [17]. Statsenko E.A., Ostrovaia A.F., Musorina T.A., Kukolev M.I., Petritchenko M.R. The elementary mathematical model of sustainable enclosing structure // *Инженерно-строительный журнал*. 2016. № 8 (68). С. 86–91.
- [18]. Заборова Д.Д., Куколев М.И., Мусорина Т.А., Петриченко М.Р. Математическая модель энергетической эффективности слоистых строительных ограждений // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*. 2016. №4. С. 28–33.
- [19]. Vasil'ev G.P., Lichman V.A., Peskov N.V., Semendyaeva N.L. (2015). Numerical modeling of heat and moisture diffusion in porous materials. *Computational Mathematics and Modeling*. 2015. Vol. 26. No. 4. Pp. 501–513.
- [20]. Vasilyev G.P., Lichman V.A., Kolesova M.V., Peskov N.V., Brodach M.M., Tabunshchikov Y.A. (2015). Simulation of heat and moisture transfer in a multiplex structure. *Energy and Buildings*. 2015. No. 86. Pp. 803–807.
- [21]. Borodinecs A., Zemitis J., Sorokins J., Baranova D.V., Sovetnikov D.O. (2016). Renovation need for apartment buildings in Latvia. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 68(8). Pp. 58–64.
- [22]. Горшков А.С., Рымкевич П.П. Диаграммный метод описания процесса нестационарной теплопередачи // *Инженерно-строительный журнал*. 2015. № 8 (60). С. 68–82.
- [23]. Vatin N., Gorshkov A., Rymkevich P., Nemova D., Tarasova D. Nonstationary thermal conduction through the building envelope. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. No. 670–671. Pp. 365–369.
- energoeffektivnosti domov s pomoshchyu navesnykh ventiliruyemykh fasadov [Increasing the energy efficiency of houses with hinged ventilated facades]. *Rostovskiy nauchnyy zhurnal*. 2017. No. 12. Pp. 367–378. (rus)
- [11]. Bogdanovičs R., Borodinecs A., Zajacs A., Šteinerte K. (2018). Review of Heat Pumps Application Potential in Cold Climate. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. No. 692. Pp. 543–554.
- [12]. Korniyenko S.V. Povyseniye energoeffektivnosti zdaniy za schet snizheniya teplopoter v krayevykh zonakh ograzhdayushchikh konstruksiy [Improved the energy efficiency of buildings by reducing heat losses in the edge zones of enclosing structures]. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Volgograd, 2011. (rus)
- [13]. Gumerova E., Gamayunova O., Meshcheryakova T. (2018). Energy Efficiency Upgrading of Enclosing Structures of Mass Housing of the Soviet Union. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. No. 692. Pp. 432–439.
- [14]. Statsenko E., Ostrovaia A., Musorina T., Sergievskaya N. (2018). Thermal Properties of the Building with Low Energy Consumption (LEB). *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. No. 692. Pp. 417–431.
- [15]. Gorshkov A., Vatin N., Nemova D., Shabaldin A., Melnikova L., Kirill P. (2015). Using life-cycle analysis to assess energy savings delivered by building insulation. *Procedia Engineering*. 2015. No. 117(1). Pp. 1085–1094.
- [16]. Vasilyev G.P., Gornov V.F., Lichman V.A., Yurchenko I.A. (2015). A method of assessing energy consumption of buildings during commissioning. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2015. Vol. 10. No. 15. Pp. 6509–6512.
- [17]. Statsenko E.A., Ostrovaia A.F., Musorina T.A., Kukolev M.I., Petritchenko M.R. The elementary mathematical model of sustainable enclosing structure. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 8 (68). Pp. 86–91.
- [18]. Zaborova D.D., Kukolev M.I., Musorina T.A., Petritchenko M.R. Matematicheskaya model energeticheskoy effektivnosti sloistykh stroitelnykh ograzhdeniy [Mathematical model of energy efficiency of layered building fences]. *Nauchno-tehnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta*. 2016. No. 4. Pp. 28–33. (rus)
- [19]. Vasil'ev G.P., Lichman V.A., Peskov N.V., Semendyaeva N.L. (2015). Numerical modeling of heat and moisture diffusion in porous materials. *Computational Mathematics and Modeling*. 2015. Vol. 26. No. 4. Pp. 501–513.
- [20]. Vasilyev G.P., Lichman V.A., Kolesova M.V., Peskov N.V., Brodach M.M., Tabunshchikov Y.A. (2015). Simulation of heat and moisture transfer in a multiplex structure. *Energy and Buildings*. 2015. No. 86. Pp. 803–807.
- [21]. Borodinecs A., Zemitis J., Sorokins J., Baranova D.V., Sovetnikov D.O. (2016). Renovation need for apartment buildings in Latvia. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 68(8). Pp. 58–64.
- [22]. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P. Diagrammnyy metod opisaniya protsessa nestatsionarnoy teploperedachi [A diagram method of describing the process of non-stationary heat transfer]. *Magazin of Civil Engineering*. 2015. No. 8 (60). Pp. 68–82. (rus)
- [23]. Vatin N., Gorshkov A., Rymkevich P., Nemova D., Tarasova D. Nonstationary thermal conduction through the building envelope. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. No. 670–671. Pp. 365–369.

Контактная информация

- 1.* +7(988)4912459, svkorn2009@yandex.ru (Корниенко Сергей Валерьевич, к.т.н., доцент)
2. +7(917)7207549, damamne@mail.ru (Глухова Дарья Федоровна, студент)

Contact information

- 1.* +7(988)4912459, svkorn2009@yandex.ru (Sergey Korniyenko, Ph.D., Associate Professor)
2. +7(917)7207549, damamne@mail.ru (Darya Glukhovera, Student)