

Елена Александровна ИВАНОВА¹
Никита Владимирович МЕЩЕУЛОВ²

УДК 536:21:674.038:699.86

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА В УГЛОВОМ ФРАГМЕНТЕ НАРУЖНОГО ОГРАЖДЕНИЯ С КОННЕКТОРАМИ

¹ старший преподаватель кафедры
теплогоснабжения и инженерных систем в строительстве,
Томский государственный архитектурно-строительный университет
energobser_e@mail.ru

² кандидат технических наук,
доцент кафедры прикладной математики,
Томский государственный архитектурно-строительный университет
nikita.mesheulov@mail.ru

Аннотация

Увеличение энергоэффективности и снижение тепловых потерь в зданиях являются основными задачами современного строительного сектора. По этой причине рекомендуется проектировать здания с применением современных энергосберегающих материалов и технологий. При применении многослойных стен в домостроении остро встает проблема возникновения тепловых мостов. Поэтому нужно понимать, как изменяется тепловое поведение ограждающей конструкции при включении в нее теплотехнических неоднородностей.

Целью работы является исследование воздействия теплопроводных включений, находящихся в наружных ограждающих конструкциях, на изменение значений температуры и плотности теплового потока.

В работе рассмотрена важность увеличения энергоэффективности наружных ограждений. Проведено численное исследование процесса теплопереноса для угловых фрагментов

Цитирование: Иванова Е. А. Исследование пространственного теплопереноса в угловом фрагменте наружного ограждения с коннекторами / Е. А. Иванова, Н. В. Мещеулов // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Том 7. № 4 (28). С. 46-61.
DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-4-46-61

ограждающих конструкций, использующихся в домостроении по технологии VELOX. Показано влияние конструктивных особенностей рассматриваемых угловых фрагментов на характеристики температурных полей.

Математическое моделирование пространственного теплопереноса в угловом фрагменте наружного ограждения проводится с помощью нелинейной системы дифференциальных уравнений теплопроводности с заданными граничными условиями с использованием метода конечных элементов. Задача решена с помощью программного комплекса ANSYS.

Исследовано влияние металлических и стеклопластиковых коннекторов на изменение полей температуры и плотности теплового потока в ограждающей конструкции. Рассмотрено изменение теплового состояния как в толще наружной стены, так и по внутренней поверхности ограждения от области угла и по глади стены. Анализ расчетов показал, что максимальное возмущение вносит коннектор, изготовленный из металла, а минимальное — из стеклопластика. Наличие в толще конструкции высокотеплопроводных включений приводит к искажению поля плотности теплового потока ограждения.

Ключевые слова

Теплопроводность, теплоперенос, температура стены, численное моделирование, тепловые потери, энергоэффективность, коннектор.

DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-4-46-61

Введение

В связи с постоянным ростом затрат на тепловую энергию важным моментом по улучшению энергосбережения в области теплоснабжения является новое строительство и реконструкция зданий с применением теплоустойчивых конструкций и энергоэффективного оборудования. Стратегическими целями развития теплоснабжения является достижение высокой степени комфорта в жилых домах и сокращение непроизводительных потерь тепла и расходов топлива. Следовательно, важно осуществлять разработку и реализацию перечня мер по коренному усовершенствованию системы теплоснабжения, предусматривающего в том числе и повышение энергоэффективности зданий.

Степень энергоэффективности современного здания определяется уровнем теплозащиты его наружных ограждающих конструкций. Изменение нормативных требований к сопротивлению теплопередаче строительных конструкций было отражено уже в СНиП II-3-79*, и новые требования касались зданий, построенных после 2000 г. Это решение было очень значимым, т. к. с каждым годом потребление тепловой энергии продолжает неуклонно расти [4].

Увеличить энергоэффективность здания можно двумя способами. Во-первых, можно включить мероприятия по сокращению теплотерь через ограждающие конструкции путем увеличения термического сопротивления наружных ограждений, поскольку теплотери типовых жилых зданий составляют около 60% от общих потерь теплоты [2].

Во-вторых, необходимо минимизировать тепловые потери, которые появляются из-за теплопроводных включений, вследствие теплотехнической неоднородности ограждающей конструкции.

В идеальном варианте необходимо осуществлять все мероприятия, чтобы повысить энергоэффективность зданий. Однако большее внимание стоит уделить теплонапряженным элементам, т. к. кроме повышения тепловых потерь через ограждения они способствуют появлению конденсата и образованию плесени, что может являться как причиной разрушения конструкции, так и оказывать отрицательное воздействие на самочувствие людей.

В работе рассмотрено влияние типа коннектора на теплообмен в угловом фрагменте стены.

Актуальность проблемы

На этапе разработки проектной документации системы отопления необходимо учитывать наличие ТНЭ. В работе [1] при определении мощности системы отопления предложен метод расчета трансмиссионных потерь, в котором учитываются линейные и точечные теплотехнические неоднородности. Этот метод является энергосберегающим мероприятием, т. к. повышает точность расчета и ведет прямой учет влияния узлов сопряжения наружных ограждений. Теплотехническая неоднородность влияет на увеличение тепловых потерь через наружные ограждения, т. к. способствует появлению тепловых мостов [5, 7]. Применение ограждающих конструкций с минимальным количеством теплопроводных элементов повышает значение термического сопротивления теплопередаче [3].

В современном жилищном строительстве возводятся здания с применением панельных технологий. Для надежности соединения слоев в сэндвич-панели применяют гибкие коннекторы, которые, как и стальные монтажные петли, являются мостиками холода и уменьшают энергоэффективность здания. Для выравнивания температуры ограждающей конструкции предлагается применять вместо стальных коннекторов композитные [6]. Глубина заложения и коэффициент теплопроводности коннекторов влияет на теплофизические характеристики наружных стен [8]. Для уменьшения влияния тепловых мостов и улучшения тепловых характеристик панельной наружной стены из сборного железобетона можно изолировать коннекторы теплоизоляционным материалом, увеличить расстояние между коннекторами, уменьшить их диаметр и увеличить толщину теплоизоляционного слоя [15]. Тип бетона также может влиять на значение тепловых потерь в области теплового моста [12, 13]. Для соблюдения требований энергоэффективности домов с фасадным утеплением необходимо также учитывать влияние коннекторов в наружных ограждениях [14].

Моделирование процесса теплообмена в наружном ограждении из деревянного бруса позволило вывить изменение как значений температуры, так и значений плотности теплового потока в зависимости от теплофизических и геометрических характеристик коннекторов [9]. Здания, построенные из клееной фанеры, имеют меньшие тепловые мосты, чем здания с деревянными каркасными конструкциями [10].

Определение термического сопротивления каркасных конструкций представляет собой сложную задачу из-за наличия в ней неоднородных слоев и тепловых мостов в виде коннекторов [11].

Следовательно, изучение влияния теплопроводных включений, содержащихся в наружных ограждающих конструкциях, является важной задачей для оценки возможных дополнительных тепловых потерь в здании.

Объекты исследования

В работе рассматривается влияние теплопроводных включений в виде коннектора на тепловое состояние наружной ограждающей конструкции. Исследование проводится для стальных и стеклопластиковых коннекторов.

На рис. 1 изображен рассматриваемый угловой фрагмент ограждающей конструкции, включающей плиту перекрытия, построенный по технологии VELOX. Наружная стена состоит из щепоцементной плиты, пенополистирола (ППС) и бетона.

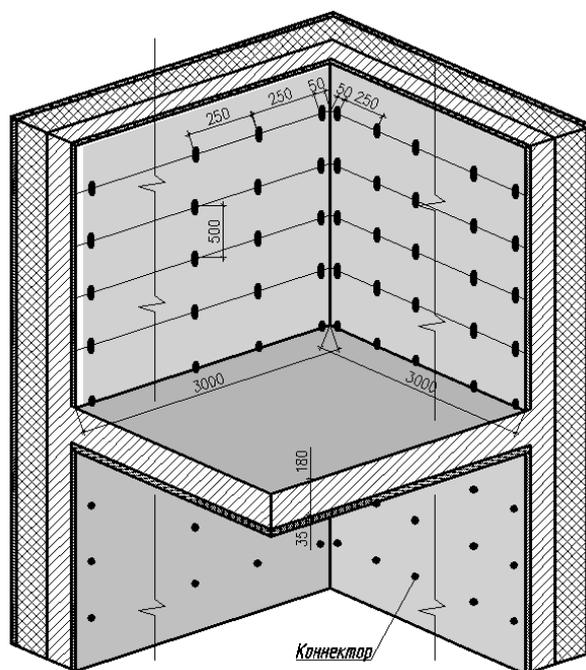


Рис. 1. Конструкция стены VELOX

Fig. 1. Wall construction VELOX

Методика исследования

Исследуемая модель конструкции наружного ограждения состоит из следующих теплонапряженных элементов: 1 — наружный угол; 2 — стык наружной стены с монолитной плитой перекрытия; 3 — сквозной теплопроводный элемент.

Геометрия рассматриваемой модели приведена на рис. 2.

Рассмотрено тепловое состояние ограждающей конструкции с наличием цементно-песчаного раствора на внутренней поверхности стены (рис. 2а), без цементно-песчаного раствора (рис. 2б, 2в).

Для численного исследования задана геометрия рассматриваемой конструкции и теплофизические характеристики ее материалов, приведенные в таблице 1.

Для проведения численного исследования выбраны следующие теплопроводные включения: коннекторы из металла и стеклопластика. Коннекторы являются связующими элементами в ограждающих конструкциях и могут пересекать их насквозь или частично проникать вглубь ограждения. Но часто основное внимание для увеличения термического сопротивления приходится на выбор типа

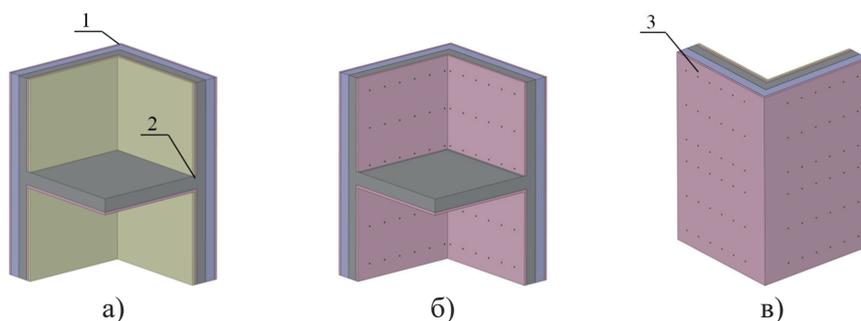


Рис. 2. Общий вид КЭ модели:
а — по цементно-песчаному слою,
б, в — по щепоцементной плите

Fig. 2. General view of the CE model:
а — on the cement-sand layer,
б, в — on a chipboard

Таблица 1

Характеристики материалов

Table 1

Characteristics of materials

Наименование материала	Толщина, δ , м	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м·°С)	Теплоемкость, c , кДж/(кг·°С)	Плотность, ρ , кг/м ³
Щепоцементная плита (ЩЦП)	0,035	0,11	2 300	740
Пенополистирол	0,15	0,033	1 340	25
Железобетон	0,15	2,04	840	2 500
Цементно-песчаный раствор (ЦПР)	0,03	0,93	0,84	1 800
Металлическая арматура	$d = 4$ мм	58	0,482	7 850
Стеклопластиковая арматура	$d = 4$ мм	0,35	840	1 900

и толщины утепляющего слоя. Причем связующие теплопроводные включения существенно воздействуют на теплотехническую неоднородность конструкции. Они могут проходить через все слои ограждения и способствовать утечке тепла от внутренней поверхности к наружной. Коннекторы, имея небольшие размеры, могут создавать небольшие тепловые мосты, но большое их наличие может привести к значительным тепловым потерям.

Для расчета принимаем следующие исходные данные: в соответствии с СП 131.13330.2020 — температура наружного воздуха $t_{\text{н}} = -39$ °С; согласно ГОСТ 30494-2011 — температура внутреннего воздуха $t_{\text{в}} = 23$ °С; коэффициенты теплоотдачи на наружной $\alpha_{\text{н}} = 23$ Вт/(м²·°С) и внутренней поверхностях $\alpha_{\text{в}} = 8,7$ Вт/(м²·°С) — по СП 50.13330.2012.

Для исследования теплового состояния конструкции используем численную модель [5]. С применением программного комплекса ANSYS методом конечных элементов проведено численное моделирование пространственного теплопереноса в угловом фрагменте ограждения.

Результаты расчета

На рис. 3 показано температурное поле рассматриваемого фрагмента конструкции с включенным слоем цементно-песчаного раствора (а) и с отключенным (б) на примере соединения наружной стены в области угла с монолитной плитой перекрытия.

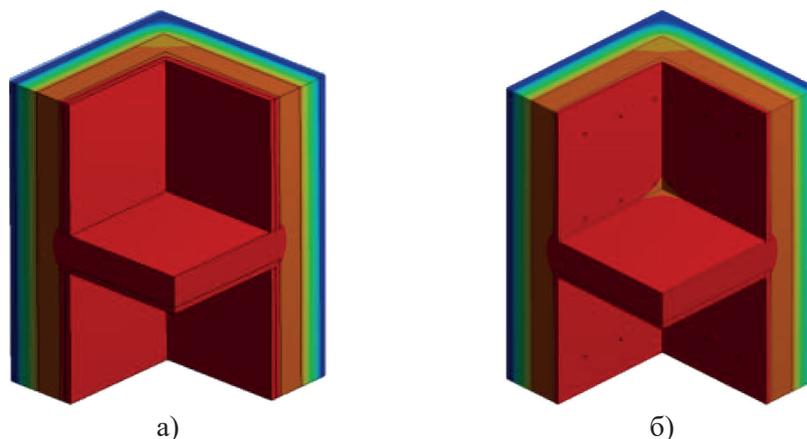


Рис. 3. Поля температуры исследуемого фрагмента:
а — по цементно-песчаному слою,
б — по щепоцементной плите

Fig. 3. Temperature fields of the fragment under study:
а — on the cement-sand layer,
б — on a chipboard

Анализируя рис. 3, можно сказать, что цементно-песчаный раствор нивелирует действие коннектора на теплообмен в наружном ограждении.

Изменение температуры в разрезе наружной стены с коннекторами из разных материалов приведено на рис. 4.

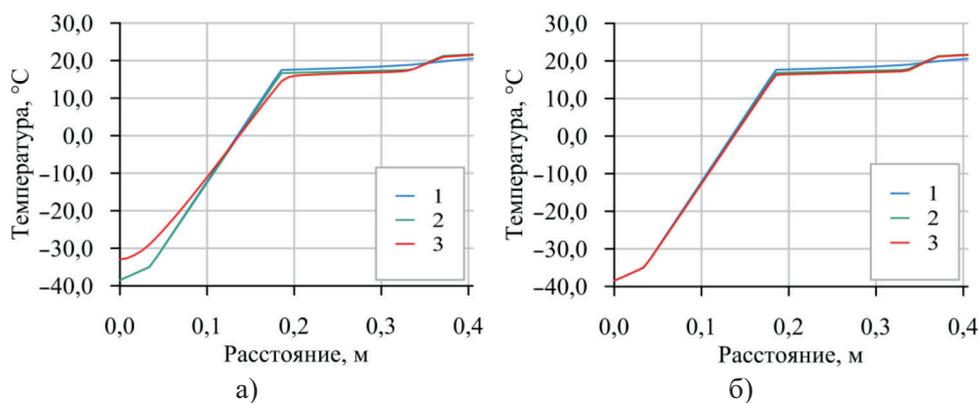


Рис. 4. Распределение температурных полей в разрезе стены:

а — металлические коннекторы,
б — стеклопластиковые коннекторы
(1 — стена на глади, 2 — стена по ПП,
3 — стена по коннектору)

Fig. 4. Distribution of temperature fields in the section of the wall: а — metal connectors, б — fiberglass connectors

(1 — the wall on the surface,
2 — the wall on the floor slab,
3 — wall by connector)

Анализ распределения температурных полей в ограждающей конструкции на рис. 4 изображает, что кривые на границе контакта внутренних слоев подвержены резкому изменению значений температуры в области бетонного слоя и утеплителя. Здесь возникает максимальный перепад температур между наружной поверхностью стены и слоем утеплителя. Граница смены знаков температур находится ближе к наружной поверхности ограждающей конструкции. После начала утепляющего слоя перепад температур внутри конструкции уменьшается, и сами температурные кривые становятся более плавными, что приводит к уменьшению перетока теплоты.

Изменение температуры в толще стены без наличия теплопроводных включений показывает кривая 1. На рис. 4а кривые 2 и 3 около наружной поверхности совпадают и имеют меньшую температуру, т. к. элементы конструкции имеют больший коэффициент теплопроводности.

На торце стеклопластикового коннектора со стороны внутренней поверхности стены температура составляет $21,59\text{ }^{\circ}\text{C}$, на торце металлического — $21,49\text{ }^{\circ}\text{C}$. Совсем другая ситуация на наружной стороне конструкции: в этом случае температура на торце стеклопластикового коннектора составляет $-38,41\text{ }^{\circ}\text{C}$, а металлического — $-32,99\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом температура наружной поверхности стены без теплопроводных включений равна $-38,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сравнивая графики, можно видеть, что не только наличие коннектора, но и материал, из которого он изготовлен, влияет на поведение температуры в ограждающей конструкции.

Рассмотрим на рис. 5, 6 изменение значений плотности теплового потока в разрезе наружной стены с коннекторами из разных материалов.

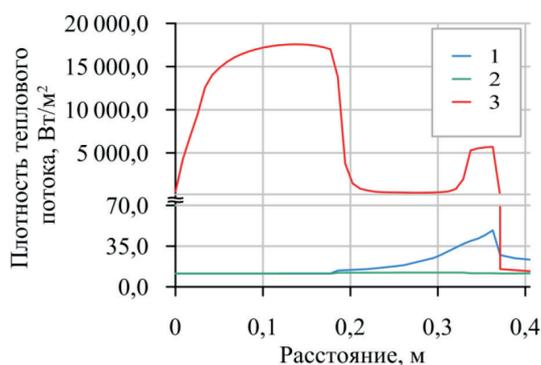


Рис. 5. Изменение плотности теплового потока в разрезе стены для металлических коннекторов: 1 — стена на глади, 2 — стена по ПП, 3 — стена по коннектору

Fig. 5. Variation of heat flux density in the wall section for metal connectors: 1 — the wall on the surface, 2 — the wall on the floor slab, 3 — wall by connector

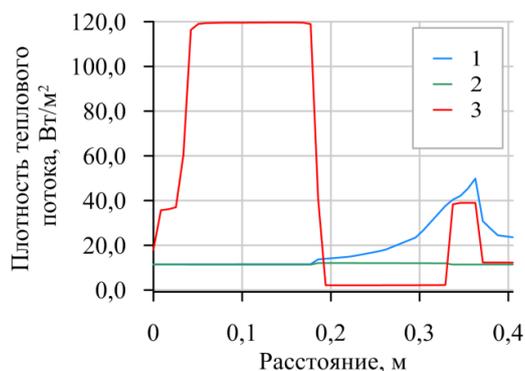


Рис. 6. Изменение плотности теплового потока в разрезе стены для стеклопластиковых коннекторов: 1 — стена на глади, 2 — стена по ПП, 3 — стена по коннектору

Fig. 6. Variation of heat flux density in the wall section for fiberglass connectors: 1 — the wall on the surface, 2 — the wall on the floor slab, 3 — wall by connector

Рис. 5, 6 показывают, что максимальный рост значений плотности теплового потока происходит в зонах контактов соседних слоев с разными значениями коэффициентов теплопроводности. Максимальное возмущение вносит коннектор, изготовленный из металла (рис. 5), — около $17\,580 \text{ Вт/м}^2$, а минимальное — из стеклопластика (рис. 6) — около 120 Вт/м^2 . Установлено, что наличие в толще конструкции высокотеплопроводных включений приводит к искажению поля плотности теплового потока ограждения.

Характер изменения температуры наружной стены по внутренней поверхности (от угла в сторону глади) показан на рис. 7. Рассматривалось изменение температуры по стене между коннекторами и по линии расположения коннекторов.

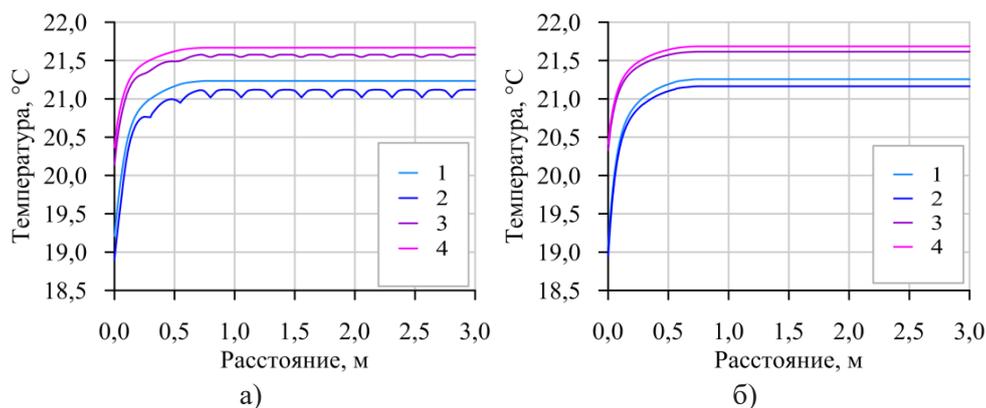


Рис. 7. Распределение температурных полей вдоль стены:

а — металлические коннекторы,
 б — стеклопластиковые коннекторы
 (1 — по коннекторам по ШЦП,
 2 — без коннекторов по ШЦП,
 3 — по коннектору по ЦПР,
 4 — без коннектора по ЦПР)

Fig. 7. Distribution of temperature fields along the wall:

а — metal connectors,
 б — fiberglass connectors
 (1 — on connectors on the SHCP,
 2 — without connectors on the SHCP,
 3 — on connect on the CPR,
 4 — without connector on the CPR)

Анализируя полученные результаты, приведенные на рис. 7, можно сказать, что металлические коннекторы оказывают большее влияние на температурное поле конструкции, в отличие от коннекторов из стеклопластика. Изменение температурного поля при металлических коннекторах происходит не только вблизи боковой поверхности коннектора, но и за ее границами — примерно около 0,1 м. Причем присутствие коннектора приводит к понижению температуры в области его размещения и увеличению температуры за границами коннектора (рис. 7а).

Графики на рис. 7а показывают, что металлические коннекторы оказывают влияние даже на поверхности цементно-песчаного раствора. На поверхности щепоцементной плиты (кривая 1) температура на оси коннектора на 0,53 °С меньше, чем на поверхности цементно-песчаного раствора (кривая 3). Стеклопластиковые коннекторы (рис. 7б) вообще не оказывают влияния на температурное поле внутренней поверхности конструкции.

Также решалась двумерная задача распределения плотностей тепловых потоков вдоль коннекторов, представленная на рис. 8-11.

Анализируя результаты исследования на рис. 8, 10, можно сказать, что максимумы значений плотностей тепловых потоков приходятся на центр коннектора и составляют для гряды стены при металлических коннекторах 4 782 Вт/м², при стеклопластиковых — 37 Вт/м², а в области угла — 6 862 и 49 Вт/м² соответственно. Основное количество тепла проходит в связующий элемент сквозь наружные границы. Отвод тепла от коннектора происходит около наружной поверхности ограждения в области низкой температуры.

При использовании металлических коннекторов, в отличие от стеклопластиковых, изменение значений плотностей теплового потока заметно не только на щепоцементной плите, но и на поверхности цементно-песчаного раствора (рис. 9).

По графикам, приведенным на рис. 8, 10, можно видеть резкое увеличение значений плотности теплового потока в местах присутствия коннекторов. Объяснить

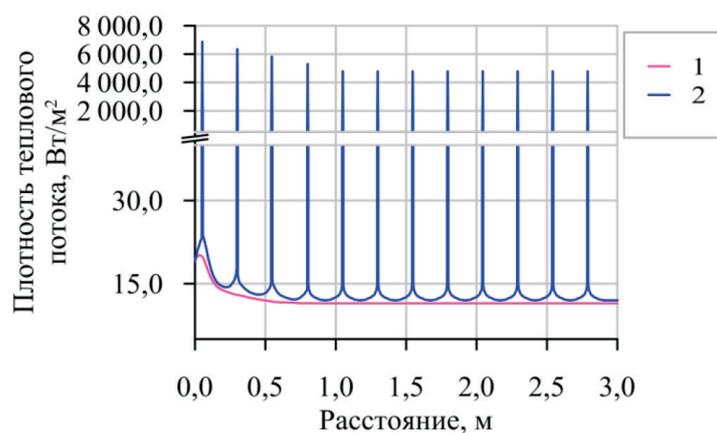


Рис. 8. Распределение полей тепловых потоков для металлических коннекторов вдоль стены:
1 — без коннекторов по ШЦП,
2 — по коннекторам по ШЦП

Fig. 8. Distribution of heat flux fields for metal connectors along the wall:
1 — without connectors on the CPR,
2 — on connectors on the CPR

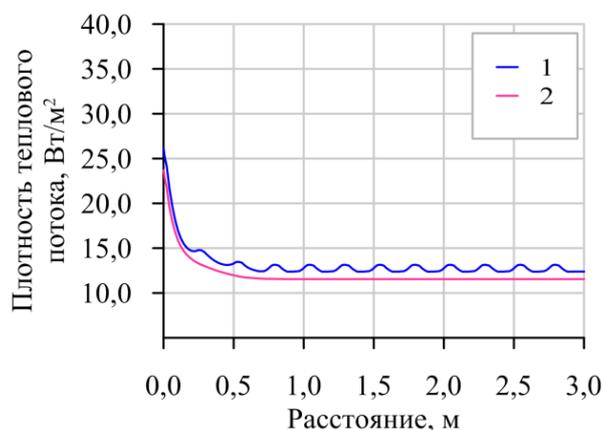


Рис. 9. Распределение полей тепловых потоков для металлических коннекторов вдоль стены:
1 — по коннекторам по ЦПР,
2 — без коннекторов по ЦПР

Fig. 9. Distribution of heat flux fields for metal connectors along the wall:
1 — on connectors on the SHCP,
2 — without connectors on the SHCP

это можно тем, что у коннекторов теплопроводность выше, чем у материала основных слоев. Причем при металлических коннекторах возмущение значений плотности теплового потока во много раз больше, чем при стеклопластиковых. Следовательно, если применять коннекторы с меньшим значением коэффициента теплопроводности, то можно исключить влияние данного теплового моста и значительно уменьшить тепловые потери в этом сечении ограждения.

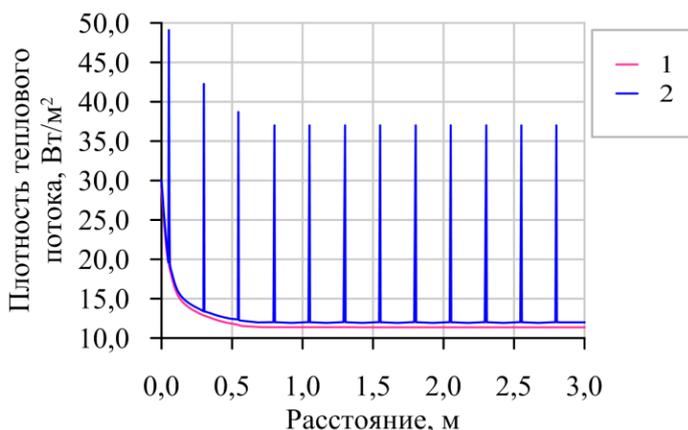


Рис. 10. Распределение полей тепловых потоков для стеклопластиковых коннекторов вдоль стены: 1 — без коннекторов по ШЦП, 2 — по коннекторам по ШЦП

Fig. 10. Distribution of heat flux fields for fiberglass connectors along the wall: 1 — without connectors on the CPR, 2 — on connectors on the CPR

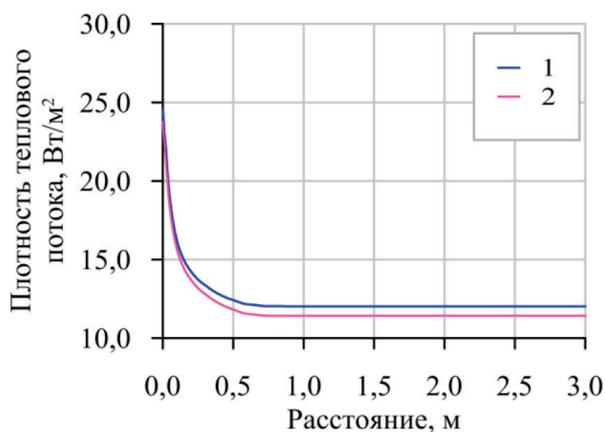


Рис. 11. Распределение полей тепловых потоков для стеклопластиковых коннекторов вдоль стены: 1 — по коннекторам по ЦПР, 2 — без коннекторов по ЦПР

Fig. 11. Distribution of heat flux fields for fiberglass connectors along the wall: 1 — on connectors on the SHCP, 2 — without connectors on the SHCP

Заключение

Проведенные численные исследования фрагмента ограждающей конструкции позволили сделать следующие выводы:

- на границе бетонного слоя с утеплителем возникает максимальный перепад температур между наружной поверхностью стены и утеплителем;
- на торцах стеклопластикового и металлического коннекторов со стороны внутренней поверхности стены температура практически совпадает, а на наружной поверхности конструкции разница температур составляет около 5,0 °С. Это объясняется большим коэффициентом теплопроводности металла;
- металлические коннекторы оказывают влияние на температурное поле конструкции даже на поверхности цементно-песчаного раствора. Изменение температурного поля при металлических коннекторах происходит не только вблизи боковой поверхности коннектора, но и за ее границами;
- не только наличие коннектора, но и материал, из которого он изготовлен, влияет на поведение температуры в ограждающей конструкции. Присутствие металлических коннекторов в ограждении влечет за собой понижение температуры и увеличение плотности теплового потока в местах их расположения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарин В. Г. Учет теплотехнических неоднородностей ограждений при определении тепловой нагрузки на систему отопления здания / В. Г. Гагарин, А. Ю. Неклюдов // Жилищное строительство. 2014. № 6. С. 3-7.
2. Горшков А. С. Принципы энергосбережения в зданиях / А. С. Горшков // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 7 (186). С. 26-36.
3. Данилов Н. Д. Стык стен и цокольного перекрытия без теплопроводных включений для зданий с проветриваемыми подпольями / Н. Д. Данилов, П. А. Федотов // Жилищное строительство. 2017. № 11. С. 39-42.
4. Ермоленко Б. В. Возобновляемая энергетика и устойчивое развитие экономики / Б. В. Ермоленко, Г. В. Ермоленко, И. В. Гордеев, Н. В. Богородицкая // Энергетический вестник. 2012. № 13. С. 57-101.
5. Козлобродов А. Н. Исследование влияния термовкладышей на тепловое состояние теплонапряженных элементов многослойных ограждающих конструкций / А. Н. Козлобродов, Е. А. Иванова, А. В. Головки // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 4. С. 155-169.
6. Николаев В. Н. Новый уровень панельного домостроения: композитные диагональные гибкие связи и петли монтажные для трехслойных бетонных панелей / В. Н. Николаев, В. Ф. Степанова // Жилищное строительство. 2019. № 10. С. 14-20.

7. Харитонова Е. А. Исследование конструктивных решений стеновых ограждающих конструкций здания из CLT-панелей в климатических условиях Пермского края / Е. А. Харитонова, С. И. Вахрушев // *Master's Journal*. 2019. № 2. С. 80-93.
8. Хуторной А. Н. Оценка влияния глубины заложения и теплопроводности коннекторов на теплозащитные свойства кирпичных и керамзитобетонных наружных стен / А. Н. Хуторной, А. В. Колесникова // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2004. № 10 (550). С. 4-8.
9. Цветков Н. А. Сравнительный анализ теплозащитных характеристик стен из профилированного утепленного бруса с коннекторами / Н. А. Цветков, А. Н. Хуторной, А. В. Толстых, Ю. Н. Дорошенко // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2018. Том 20. № 2. С. 124-136.
10. Chang S. Thermal bridging analysis of connections in cross-laminated timber buildings based on ISO 10211 / S. Chang, S. Wi, S. Kim // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 213. Pp. 709-722.
11. Gorgolewski M. Developing a simplified method of calculating U -values in light steel framing / M. Gorgolewski // *Building and Environment*. 2007. Vol. 42. Iss. 1. Pp. 230-236.
12. Real S. Contribution of structural lightweight aggregate concrete to the reduction of thermal bridging effect in buildings / S. Real, G. Gomes, M. Rodrigues, A. Bogas // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 121. Pp. 460-470.
13. Santos G. H. Numerical analysis of thermal transmittance of hollow concrete blocks / G. H. Santos, M. A. Fogiatto, N. Mendes // *Journal of Building Physics*. 2017. No. 1. Pp. 7-24.
14. Stonkuvienė A. The impact of connector's thermal and geometrical characteristics on the energy performance of facade systems / A. Stonkuvienė, R. Bliūdžius, A. Burlingis, J. Ramanauskas // *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 35. Art. 102085.
15. Ximei Z. Thermal performance of precast concrete sandwich walls with a novel hybrid connector / Z. Ximei, W. Yonghui, W. Xueming // *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 166. Pp. 1393-1411.

Elena A. IVANOVA¹
Nikita V. MESCHEULOV²

UDC 536:21:674.038:699.86

STUDY OF SPATIAL HEAT TRANSFER IN A CORNER FRAGMENT OF AN EXTERNAL FENCE WITH CONNECTORS

¹ Senior Lecturer, Department of Heat and Gas Supply
and Engineering Systems in Construction,
Tomsk State University of Architecture and Building
energosber_e@mail.ru

² Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
Department of Applied Mathematics,
Tomsk State University of Architecture and Building
nikita.mesheulov@mail.ru

Abstract

Increasing energy efficiency and reducing heat loss in buildings are the main challenges of the modern construction sector. For this reason, it is recommended to design buildings using modern energy-saving materials and technologies. When using multilayer walls in housing construction, the problem of thermal bridges arises. Therefore, you need to understand how the thermal behavior of the enclosing structure changes when thermal engineering inhomogeneities are included in it.

The aim of this work is to study the effect of heat-conducting inclusions located in external enclosing structures on the change in the values of temperature and heat flux density.

The paper considers the importance of increasing the energy efficiency of outdoor fences. A numerical study of the heat transfer process for corner fragments of enclosing structures used in housing construction using the VELOX technology has been carried out. The influence of the design features of the considered corner fragments on the characteristics of temperature fields is shown.

Citation: Ivanova E. A., Mescheulov N. V. 2021. "Study of spatial heat transfer in a corner fragment of an external fence with connectors". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 7, no. 4 (28), pp. 46-61.
DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-4-46-61

Mathematical modeling of spatial heat transfer in the corner fragment of the outer enclosure is carried out using a nonlinear system of differential equations of heat conduction with specified boundary conditions using the finite element method. The problem was solved using the ANSYS software package.

The influence of metal and fiberglass connectors on the change in the fields of temperature and heat flux density in the enclosing structure has been investigated. The change in the thermal state is considered both in the thickness of the outer wall and along the inner surface of the fence from the corner area and along the smooth surface of the wall. Analysis of the calculations showed that the maximum disturbance is introduced by the connector made of metal, and the minimum — from fiberglass. The presence of highly heat-conducting inclusions in the thickness of the structure leads to a distortion of the density field of the heat flux of the fence.

Keywords

Thermal conductivity, heat transfer, wall temperature, numerical simulation, heat loss, energy efficiency, connector.

DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-4-46-61

REFERENCES

1. Gagarin V. G., Neklyudov A. Yu. 2014. "Consideration of heat engineering inhomogeneities of fences when determining the heat load on the heating system of a building". Housing construction, no. 6, pp. 3-7. [In Russian]
2. Gorshkov A. S. 2014. "Energy saving principles in buildings". Building materials, equipment, technologies of the 21st century, no. 7 (186), pp. 26-36. [In Russian]
3. Danilov N. D., Fedotov P. A. 2017. "Joint of walls and basement without heat-conducting inclusions for buildings with ventilated underground". Housing construction, no. 11, pp. 39-42. [In Russian]
4. Ermolenko B. V., Ermolenko G. V., Gordeev I. V., Bogorodickaya N. V. 2012. "Renewable energy and sustainable economic development". Energy Herald, no. 13, pp. 57-101. [In Russian]
5. Kozlobrodov A. N., Ivanova E. A., Golovko A.V. 2018. "Investigation of the influence of thermal liners on the thermal state of heat-stressed elements of multilayer walling". Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering Herald, no. 4, pp. 155-169. [In Russian]
6. Nikolaev V. N., Stepanova V. F. 2019. "New level of panel construction: composite diagonal flexible ties and assembly hinges for three-layer concrete panels". Housing construction, no. 10, pp. 14-20. [In Russian]
7. Haritonova E. A., Vahrushev S. I. 2019. "Investigation of constructive solutions for wall cladding structures of a building made of CLT panels in the climatic conditions of the Perm Territory". Master's Journal, no. 2, pp. 80-93. [In Russian]
8. Hutornoj A. N., Kolesnikova A. V. 2004. "Assessment of the effect of the depth and thermal conductivity of connectors on the heat-shielding properties of brick and expanded clay concrete exterior walls". Proceedings of higher educational institutions. Construction, no. 10 (550), pp. 4-8. [In Russian]

9. Cvetkov N. A., Hutornoj A. N., Tolstyh A. V., Doroshenko Yu. N. 2018. "Comparative analysis of the heat-shielding characteristics of walls made of profiled insulated timber with connectors". Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering Herald, vol. 20, no. 2, pp. 124-136. [In Russian]
10. Chang S., Wi S., Kim S. 2019. "Thermal bridging analysis of connections in cross-laminated timber buildings based on ISO 10211". Construction and Building Materials, vol. 213, pp. 709-722.
11. Gorgolewski M. 2007. "Developing a simplified method of calculating U -values in light steel framing". Building and Environment, vol. 42, iss. 1, pp. 230-236.
12. Real S., Gomes G., Rodrigues M., Bogas A. 2016. "Contribution of structural lightweight aggregate concrete to the reduction of thermal bridging effect in buildings". Construction and Building Materials, vol. 121, pp. 460-470.
13. Santos G. H., Fogiatto M. A., Mendes N. 2017. "Numerical analysis of thermal transmittance of hollow concrete blocks". Journal of Building Physics, no. 1, pp. 7-24.
14. Stonkuvienė A., Bliūdžius R., Burlingis A., Ramanauskas J. 2021. "The impact of connector's thermal and geometrical characteristics on the energy performance of facade systems". Journal of Building Engineering, vol. 35, art. 102085.
15. Ximei Z., Yonghui W., Xueming W. 2018. "Thermal performance of precast concrete sandwich walls with a novel hybrid connector". Energy and Buildings, vol. 166, pp. 1393-1411.