

УДК. 536:21:674.038:699.86

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОАПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В МАЛОЭТАЖНОМ ДОМОСТРОЕНИИ

Козлобродов А.Н., Иванова Е.А., Козлобродов В.А.

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск

Малоэтажное строительство – это возведение жилых объектов небольшой этажности, как правило, от 1 до 3 этажей. Малоэтажное домостроение является одним из самых современных и динамично развивающихся направлений жилищного строительства [1]. Развитие индивидуального домостроения может содействовать не только решению проблемы доступного жилья в России, но и обеспечить формирование качественно новой среды обитания, включающей не только комфортное жилье, но и всю необходимую инфраструктуру.

Можно выделить основные преимущества малоэтажного строительства:

- индустриальность дает возможность при использовании современных технологий без применения тяжелой строительной техники возводить жилье с более низкой себестоимостью и эксплуатационными затратами в более короткие сроки;
- энергоэффективность позволяет при использовании современных экономичных конструктивных решений, строительных материалов и технологий, уменьшить потребление топливно-энергетических ресурсов в соответствии с современными нормативными требованиями.

По вышеперечисленным факторам можно судить о больших перспективах развития малоэтажной застройки, как одного из интенсивно развивающихся секторов экономики.

Существует несколько типов малоэтажного строительства, которые нашли широкое распространение.

Традиционное для нашей страны деревянное домостроение обусловлено достаточным количеством строительных ресурсов в наших широтах. Основным достоинством строительства из дерева является привлекательный внешний вид готовой конструкции. Важно также, что дерево является экологически чистым материалом природного происхождения. Современные технологии позволили сделать этот материал также огне- и водостойким.

В деревянном домостроении применяются, в основном, три известные архитектурно-строительные формы:

- дома из массивной древесины, которые включают оцилиндрованное бревно, рубленое бревно, цельный брус и клееный брус;
- каркасные дома;
- панельные дома.

На долю кирпичных индивидуальных домов приходится около трети существующего малоэтажного фонда. Основным недостатком кирпичного домостроения является трудоемкость процесса строительства и как следствие более продолжительные сроки возведения объектов. Сегодня существует много вариантов классического кирпича, обладающего различными свойствами. Оптимизировать затраты в кирпичном домостроении и повысить энергоэффективность ограждающих конструкций позволяет применение кладки с использованием современных утеплителей.

Наряду с кирпичным домостроением одним из самых востребованных видов малоэтажного строительства является строительство из пеноблоков. Пеноблок выполняет как функцию несущей конструкции, так и обладает хорошими теплоизоляционными характеристиками. При постройке дом из пеноблока необходимо лишь незначительно утеплить. Непрезентабельный внешний вид блоков является единственным недостатком, который решается с помощью наружной облицовки.

Самый быстрый из существующих способов малоэтажного домостроения – это строительство из панельных конструкций. Такой вид строительства не находит широкого применения, но обладает такими преимуществами как хорошая тепло- и звукоизоляция. Также к преимуществам нужно отнести невысокую цену таких домов благодаря высокой автоматизации производства и быстрому монтажу.

Также в малоэтажном домостроении широкое применение получили монолитные дома со съемной или несъемной опалубкой. Такие конструкции требуют основательных фундаментов и утепления ограждающих конструкций. В настоящее время в практике современного монолитного домостроения применяются различные варианты конкурентоспособных энергоэффективных ограждающих конструкций. Их совершенствование направлено на повышение качества и долговечности, как в техническом, так и в экономическом аспекте, учитывающем фактор «цена – качество».

Одно из главных требований к малоэтажному домостроению – применение современных экономичных конструктивных решений, строительных материалов и технологий, направленных на снижение использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), поскольку около 50 % всей потребляемой энергии народным хозяйством относится к отоплению зданий и сооружений.

Одним из эффективных путей экономии ТЭР в строительстве является повышение теплотехнических свойств ограждающих конструкции и снижение теплопотерь через них.

В современном домостроении применяются различные варианты энергоэффективных наружных ограждающих конструкций, которые позволяют более экономно использовать энергетические ресурсы. Но, остро возникает проблема теплотехнической неоднородности конструкций. Это происходит из-за так называемых в зарубежной литературе тепловых мостов, в нашей стране – мостиков холода, или, другими словами, теплонапряженных элементов (ТНЭ).

Известно, что ТНЭ оказывают большое влияние на теплотехнические характеристики ограждающих конструкций и способствуют увеличению теплопотерь здания. ТНЭ – это участки сопряжения конструктивных элементов с пониженным термическим сопротивлением. Существуют геометрические ТНЭ, которые возникают вследствие архитектурно-конструктивных особенностей здания и материальные, обусловленные различной теплопроводностью строительных материалов. Основным последствием ТНЭ является понижение температуры на внутренней поверхности ограждений, примыкающих к проблемной области. Кроме увеличения теплопотерь здания, ТНЭ повышают вероятность образования конденсата на внутренней поверхности ограждений, что приводит к возникновению плесени. Также разница в температурных режимах может явиться причиной возникновения разрушения конструкций.

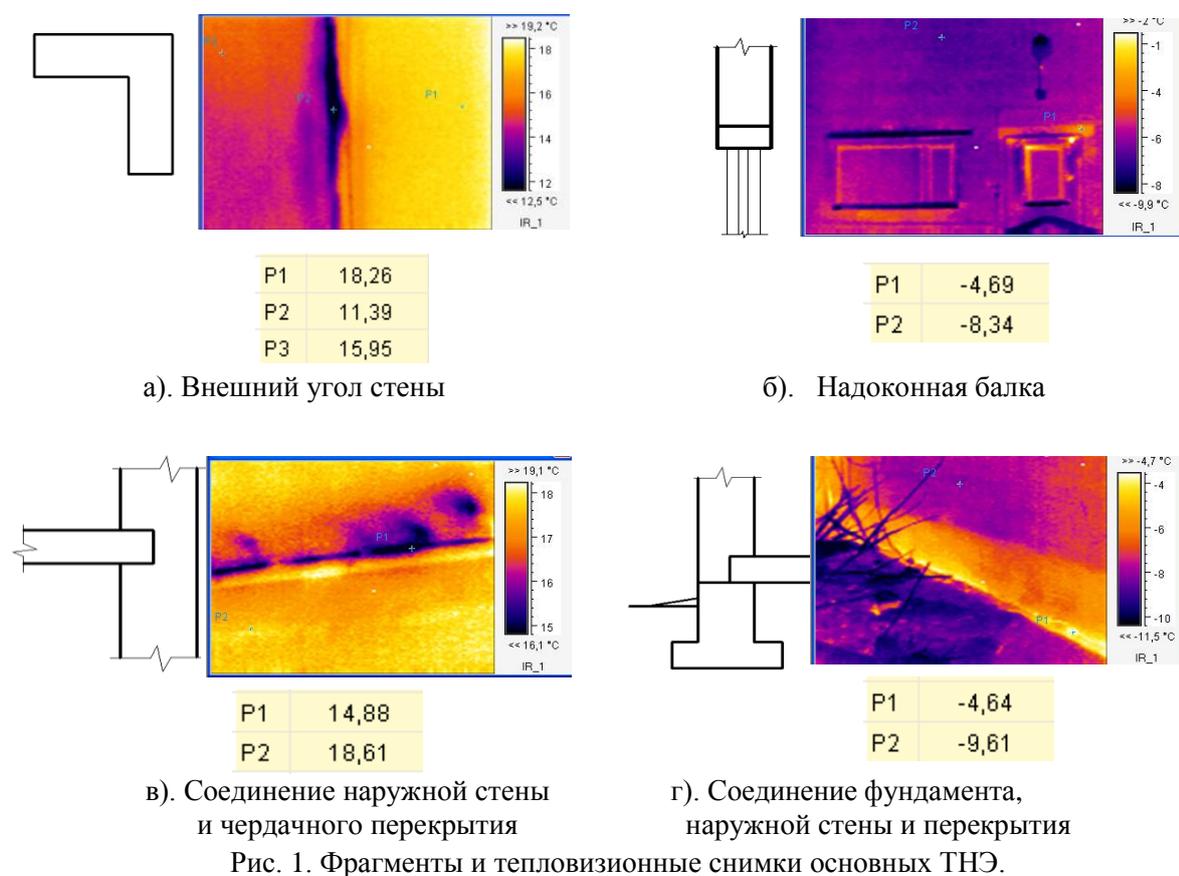
Конденсации в ТНЭ можно избежать, если температура внутренней поверхности ограждающей конструкции будет выше температуры точки росы. Добавление изоляции в части здания, затронутой конденсацией, без правильного анализа может усугубить положение. Это одна из причин, которая показывает, что моделирование ТНЭ очень важный этап проектирования.

ТНЭ присутствуют во всех зданиях и их основное влияние – это увеличение теплового потока, то есть увеличение скорости теплопотерь через ограждающие конструкции.

Здания, которые отличаются сложностью конфигурации и имеют различные ребристые элементы, обладают большим количеством ТНЭ.

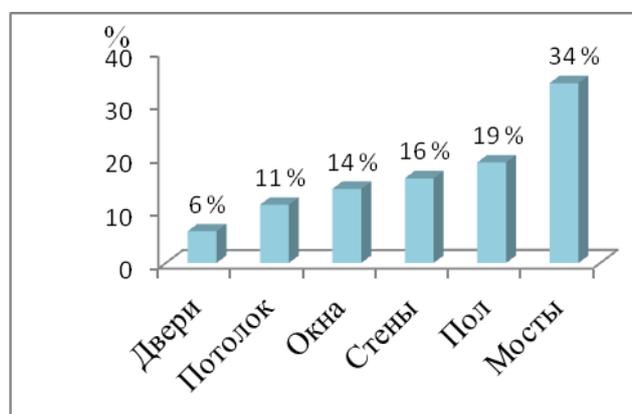
Каждый дом имеет в конструкции около 20 ТНЭ. Основные из них – это сопряжение фундамента наружной стены и перекрытия; сопряжение фундамента внутренней стены и перекрытия; горизонтальные и вертикальные откосы окна; сопряжение наружной стены и чердачного перекрытия; внешний угол стены; сопряжение наружной стены и внутренней; связи в стене; неизолированные балки чердачного перекрытия; верхний торец наружной стены.

Фрагменты основных ТНЭ и их тепловизионные снимки представлены на рис. 1.



Анализ различных составляющих суммарных теплопотерь коттеджа, рассмотренного в работе [2], представлен на рис. 2.

К ТНЭ, которые оказывают незначительное влияние на суммарные теплопотери, можно отнести горизонтальные и вертикальные откосы окна, сопряжение наружной стены и внутренней стены, и неизолированные балки чердачного перекрытия. В этих элементах теплопотери составляют около 5% от общих теплопотерь ТНЭ.



Наибольшие теплотери происходят в сопряжении фундамента, наружной стены и перекрытия и составляют около 40 %. Некоторые ТНЭ опасны тем, что они охватывают весь периметр здания.

Тепловые потоки через ТНЭ являются существенными и не зависят от размеров здания. Казалось бы, хорошо утепленное здание может не соответствовать требованиям энергосбережения.

Для более полного анализа теплозащитных свойств ограждающих конструкций необходимо рассматривать такие конструктивные элементы, как угловые фрагменты зданий, оконные и дверные проемы. Эти элементы, особенно внешние или наружные углы, являются наиболее теплонапряженными областями любой ограждающей конструкции. Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования показали, что в окрестности угла температура заметно меньше, чем на глади стены. Поэтому именно в углах возрастает риск образования конденсата.

Окна обычно рассматриваются как крупнейший ТНЭ, однако открытые бетонные края плит перекрытия и балконных плит имеют второй по величине крупнейший источник утечек тепла в здании. Для уменьшения воздействия ТНЭ используют различные методы, одним из них является использование внешней непрерывной изоляции в ограждающих конструкциях.

Такие архитектурные решения являются очень популярными, но, к сожалению, про ТНЭ в виде плит перекрытия и балконных плит часто забывают. Этому способствуют следующие причины:

- убеждение в том, что такие элементы не имеют значительного влияния на общие теплотери здания, так как они составляют их небольшую часть;
- для количественной оценки необходимо производить сложные расчеты, так как ТНЭ часто имеют сложные трехмерные траектории тепловых потоков;
- отсутствие систематизированных данных коэффициентов теплопередачи для типичных деталей ограждающих конструкций.

В настоящей работе количественная оценка теплопереноса через ограждающие конструкции в зоне ТНЭ рассматривается на примере монолитной наружной стены с несъемной опалубкой, выполненной по технологии «VELOX» и представляющей собой фрагменты угла и сопряжения наружной стены с балконной плитой. Угловой фрагмент конструкции стены рассмотрен в двух вариантах, отличающихся различным расположением угла.

Плиты «VELOX» состоят из древесной щепы – 90%, цемента, жидкого стекла. Две щепоцементные плиты VELOX, наружная с приклеенным к ней утеплителем и внутренняя без утеплителя, вручную с помощью гвоздей или саморезов устанавливаются параллельно на готовый фундамент с помощью специальных металлических стяжек, обеспечивающих надежное крепление и вертикальную устойчивость. Выставленную и закрепленную соответствующим образом несъемную опалубку заполняют бетоном.

Многослойная конструкция стены по технологии «VELOX», включает в себя щепоцементную плиту, с внутренней и внешней стороны, толщиной 0,035 м, пенополистирол толщиной 0,15 м и бетон – 0,15 м.

При математической постановке задачи считаются заданными геометрические размеры элементов ограждающей конструкции и их теплофизические характеристики, которые в общем случае могут зависеть от температуры. Задаются температуры наружного t_{ext} и внутреннего t_{int} воздуха, коэффициенты теплоотдачи на наружной α_{ext} и внутренней α_{int} поверхностях. В соответствии со СНиП принимаются температуры внутреннего и наружного воздуха +22 и –40 °С, а коэффициенты теплоотдачи наружных и внутренних сторон конструкции соответственно $\alpha_{ext}=23$ Вт/(м²·°С) и $\alpha_{int}=8,7$ Вт/(м²·°С).

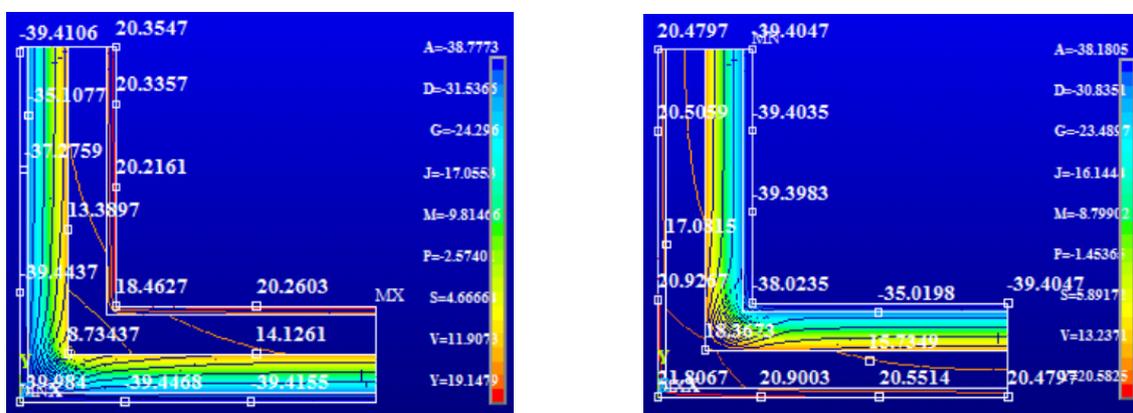
Коэффициенты теплопроводности принимаем для бетона $\lambda=1,63$ Вт/(м·°C), для пенополистирола $\lambda=0,041$ Вт/(м·°C), для щепоцементной плиты $\lambda=0,11$ Вт/(м·°C).

Стационарный пространственный теплоперенос в рассматриваемых фрагментах конструкции в декартовой системе координат описывается системой нелинейных стационарных трехмерных уравнений теплопроводности, количество которых равно числу всех элементов (n), в нее входящих с соответствующими граничными условиями [3,4].

Для численной реализации математической модели использовался метод конечных элементов, являющийся основой программного комплекса ANSYS [5, 6].

Первоначально рассматривался стационарный пространственный теплоперенос. Также рассматривался фрагмент конструкции в двухмерном пространстве. Расхождение в значениях получилось незначительное, поэтому в силу симметрии в дальнейших расчетах мы используем поперечное сечение плоской формы.

На рис. 3 показаны результаты расчета температурных полей для заданных элементов конструкций.

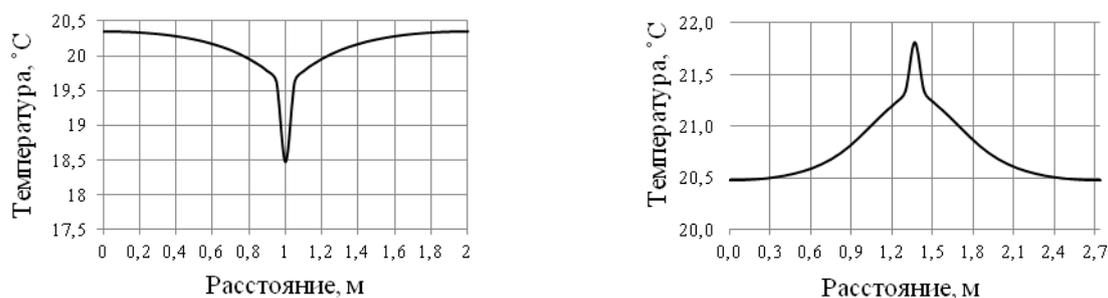


а). Наружный угол

б). Внутренний угол

Рис. 3. Распределение температурных полей в конструкции.

Распределение температуры в угловых фрагментах ограждающих конструкций, выполненных по технологии Velox, иллюстрирует (рис. 4).



а). Наружный угол

б). Внутренний угол

Рис. 4. Распределения температуры по внутренней поверхности стены.

Сравнение результатов расчета показывает, что изменение расположения конструкции угла приводит к изменению распределения температуры на внутренней поверхности стены. Например, наружный угол будет являться наиболее теплонапряженной областью конструкции. Минимальная температура в этом случае достигает значений $+18,5$ °C. Для жилых помещений при $t_{int}=+22$ °C и $\phi=50\%$ температура точки росы составляет $t_p=+10,5$ °C. Это говорит о том, что оба варианта конструкции обеспечивают создание оптимальных параметров микроклимата в

помещении (вероятность образования конденсата на внутренней поверхности ограждений исключена).

На рис. 5 показаны результаты расчета тепловых потоков в рассматриваемых фрагментах наружных ограждений.

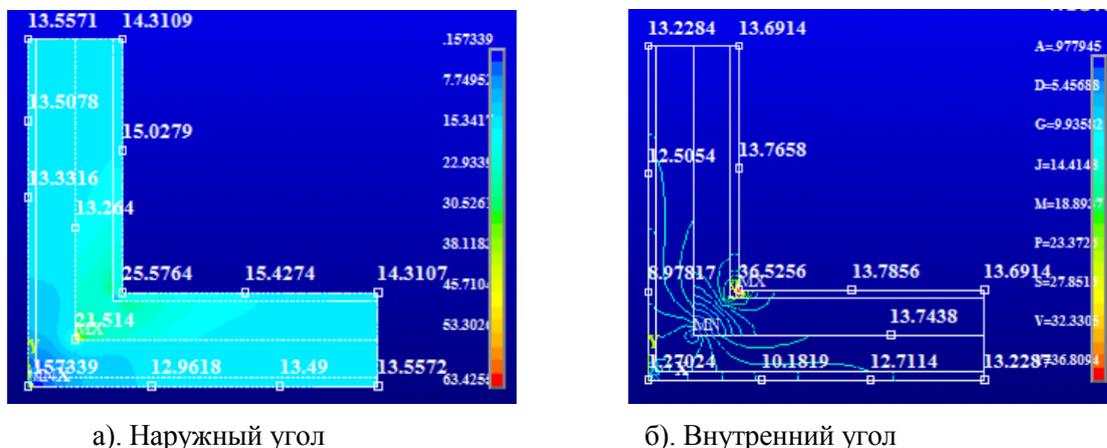


Рис. 5. Распределения тепловых потоков в конструкции.

Распределение тепловых потоков в угловых фрагментах ограждающих конструкций показано на рис. 6.

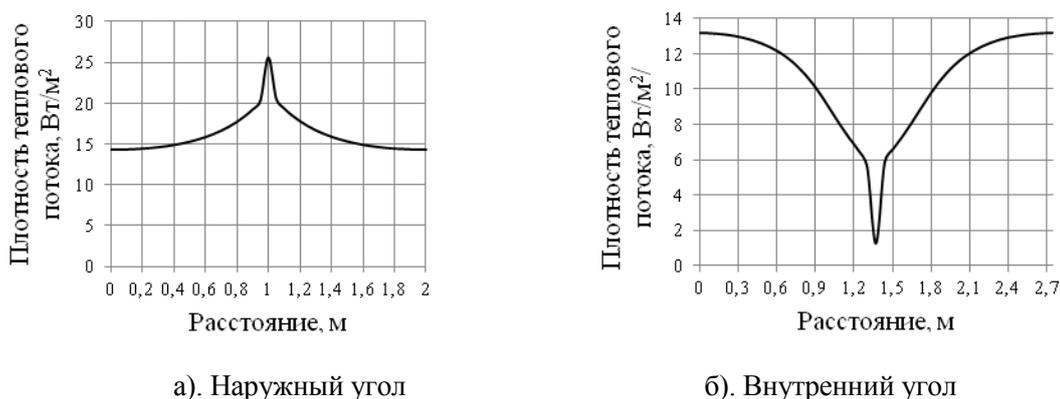


Рис. 6. Графики распределения тепловых потоков в конструкции.

Из представленных рисунков видно, что тепловой поток достигает своих максимальных значений в конструкции варианта (а) и составляет $25,6 \text{ Вт/м}^2$. При этом в случае внутреннего угла наблюдаются минимальные значения теплового потока равные $1,3 \text{ Вт/м}^2$.

В рамках данного исследования также оценивалось влияние балконных плит на температуру внутренних поверхностей ограждений, так как ТНЭ, возникающий в области сопряжения наружной стены с балконной плитой приводит к потерям тепловой энергии и как следствие создает дискомфорт в районе термического разрыва.

Распределение температуры в конструкции стыка наружного ограждения, перекрытия и балконной плиты представлены на рис. 7.

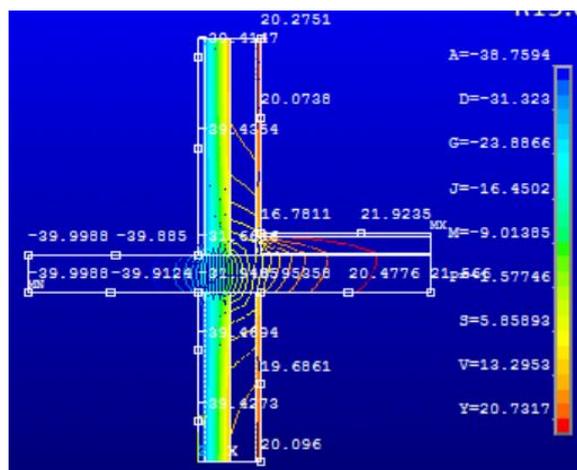


Рис. 7. Распределение температурных полей в стыке стены с плитой перекрытия и балконной плитой

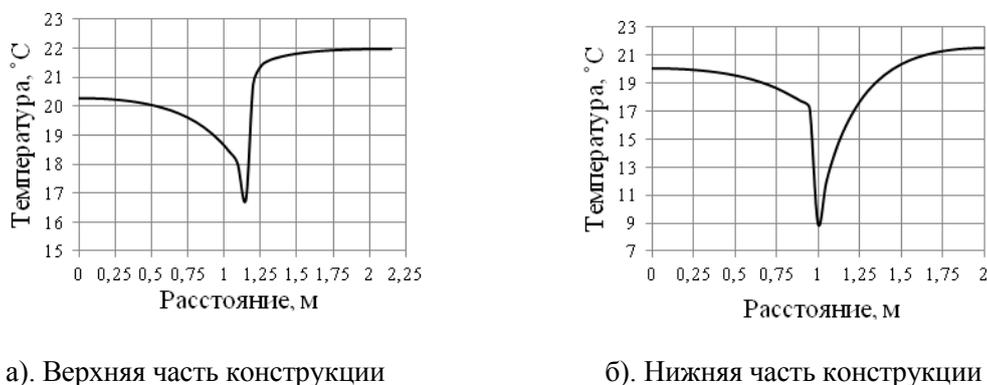


Рис. 8. Графики распределения температуры по внутренней поверхности конструкции

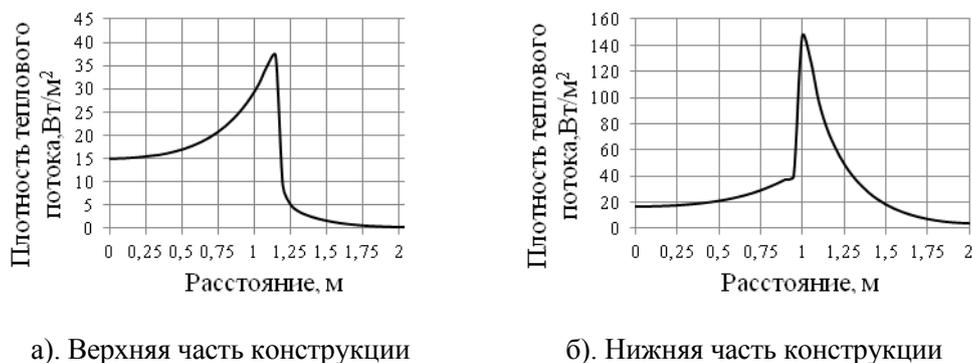
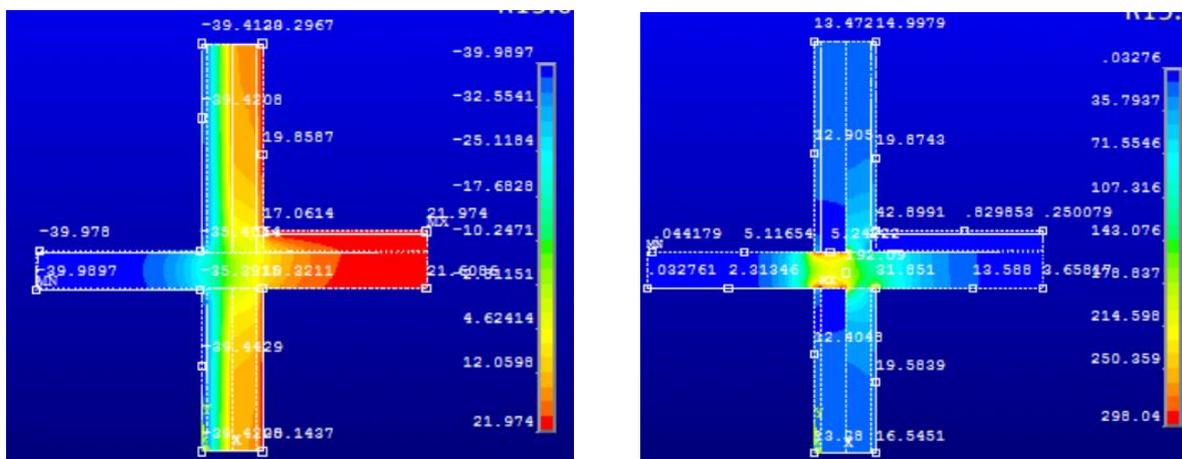


Рис. 9. Графики распределение температуры по внутренней поверхности конструкции

Анализ результатов расчета показывает, что стык неутепленной балконной плиты и межэтажного перекрытия с наружной стеной является ярко выраженным ТНЭ, который приводит к перестройке как поля температур, так и поля плотности теплового потока. Из представленных рисунков видно, что в углу, образованным наружной стеной и полом второго этажа, температура падает до $16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в углу между стеной и плитой перекрытия первого этажа температура опускается до $9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такое значение температуры ниже температуры точки росы, что может привести к образованию конденсата в области угла. Для того, чтобы уменьшить влияние балконной плиты на температуру угла была предпринята попытка его теплоизоляции. Для этого вся

поверхность плиты была покрыта слоем изоляции толщиной 0,01 м с коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,11$ Вт/(м·°С). На рис. 10 показаны теплограммы температурных полей и тепловых потоков для этого случая.



а). Поле температур

б). Поле тепловых потоков

Рис. 10. Теплограммы температурных полей и тепловых потоков

Анализ результатов показывает, что такой тонкий слой изоляции позволил повысить температуру в углу первого этажа до 10,3 °С.

Таким образом, численное исследование ТНЭ, проведенное с помощью программного комплекса ANSYS, позволяет выяснить влияние как геометрических, так и теплофизических характеристик конструкции и сделать рекомендации по созданию энергоэффективных ограждающих конструкций, удовлетворяющих современным требованиям.

Литература

1. Выступление Председателя Правительства Российской Федерации В.В. Путина в Ступино [Электронный ресурс]. – Условия доступа: <http://premier.gov.ru>, <http://vladimirputin.in>.
2. Bernard Cash. Thermal Bridging: An Investigation of the Heat Loss Effects of Thermal Bridges common in Irish Construction Practice. – 1997.
3. Козлобродов А.Н. Нестационарный теплоперенос в пространственных элементах наружных ограждений на примере технологии «ВЕЛОКС» /А.Н. Козлобродов, Р.А. Жаркой, О.И. Недавний. // Вестник ТГАСУ. – 2011, № 3. – С. 164-175.
4. Козлобродов А.Н., Иванова Е.А. Теплоперенос в элементах современных наружных ограждений // Сборник трудов VI Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы в строительстве», Изд-во НГАСУ, Новосибирск, 2013.
5. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
6. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах. М.: Компьютер Пресс, 2002. – 224 с.