

УДК 697.1:536.2

**ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИХ КОНВЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА**

*канд. техн. наук, доц. Д.Н. ШАБАНОВ;
Е.Г. БРЯНЦЕВ; А.Н. ЯГУБКИН; И.В. КРУПЕНЧИК; С.Ю. ЗМИТРОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассматривается сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий как главная характеристика при их проектировании, т.е. определении толщины сечения, выбора соответствующих теплоизоляционных материалов, их энергосберегающей и экономической обоснованности. Показано, что все мероприятия по утеплению наружных стен должны соотноситься с предельными значениями удельных единовременных затрат, при которых эти мероприятия окупаются. Изложены предложения по уточнению методики назначения нормативных величин сопротивления теплопередаче, рекомендованных ТКП 45-2.04-196-2010 «Тепловая защита зданий». В основу предложений положены нормативные региональные санитарно-гигиенические требования, являющиеся прямым следствием теории теплопередачи и характеристики тепловой инерционности ограждающих конструкций.

Ключевые слова: *сопротивление теплопередаче, удельные единовременные затраты, окупаемость, тепловая инерционность.*

Введение. Повышение энергоэффективности жилых зданий, продиктованное энергетическим кризисом, потребовало значительного увеличения нормативных требований к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций этих зданий и разработки комплекса энергосберегающих мероприятий. В работах [5; 6 и др.] указывается на необходимость согласованного уточнения этих требований с инвестиционными затратами на создание и модификацию новых производств при условии окупаемости этих затрат. Весомым аргументом такого уточнения является то, что зависимость теплотерь от приведенного сопротивления теплопередаче имеет ярко выраженный убывающий экспоненциальный вид, из анализа которого можно сделать вывод, что увеличение сопротивления теплопередаче не приводит к заметному уменьшению тепловых потерь.

Цель данного исследования – разработать конструктивное решение теплоизоляционного слоя для трёхслойных стеновых панелей КПД и колодезной кладки, при котором учитываются условия нестационарной теплопередачи (конвекция), повышающие теплозащитные функции ограждающих конструкций зданий.

Постановка проблемы. Основным резервом энергосбережения является снижение потребления энергоресурсов объектами жилищно-общественного назначения, доля которых в общем потреблении строительной отрасли составляет свыше 80%. Приведение теплотехнических свойств объектов к современному европейскому уровню позволит кроме сбережения энергоресурсов решить проблему обеспечения нормативного уровня комфорта жилой среды, отсутствие которого стало существенной социальной проблемой многоквартирных жилых домов и зданий социального назначения.

Анализ предварительных исследований. Проведенный анализ материалов исследований и публикаций [1–4] свидетельствует о наличии проблем использования современных теплоизоляционных материалов. В частности, *пенополистирол*, обладая низкой теплопроводностью, имеет ряд отрицательных свойств: недолговечность, горючесть и экологическая опасность. Как показывает опыт его использования в строительной отрасли, заложенный в стены пенополистирол через 10–15 лет разрушается. Такие же недостатки характерны и для *минераловатных изделий* – через 7–9 лет они переходят в пылевидное состояние, что небезопасно с экологической точки зрения. Таким образом, использование пенополистирола и минераловатных изделий в строительстве ведет к тому, что уже через 7–10 лет ограждающие конструкции не будут обеспечивать требуемое термическое сопротивление.

Ячеистые бетоны, несмотря на преимущества в сравнении с другими теплоизоляционными материалами, имеют существенные недостатки: высокое водопоглощение (приводит к низкой влаго- и морозостойкости); повышенная их гидрофобность (снижает адгезию к поверхности и затрудняет штукатурные работы); низкая прочность в сочетании с большой плотностью и недостаточными теплоизоляционными свойствами (сужает область применения таких бетонов) [5].

Материалы и методы исследования. Проектирование тепловой защиты зданий начинается с анализа климатических условий района будущего строительства. В первом приближении теплотери пропорциональны снижению температуры и длительности периода с низкими температурами, что характеризуется величиной «градус-суток» отопительного периода. Однако применяются и иные схемы подсчета, в частности по характеристике тепловой инерции ограждения (D_d), где может использоваться более одного значения D_d [7; 8]. В работах авторов [9; 10] введено понятие «эквивалентная температура»,

которое отражает степень суровости климата – совместное влияние температуры воздуха и ветра в зависимости от приспособленности объекта к каждому из факторов. Одновременно с этим предлагается использовать понятие «стандартные условия» и вводить индекс суровости климата, соответствующий максимально возможному отклонению от своего стандартного значения.

По существующей методике требуемыми теплозащитными свойствами служат два показателя: величина сопротивления теплопередаче R_0^p и теплоустойчивость, которую оценивают по характеристике тепловой инерции ограждения D . Параметр R_0^p определяет сопротивление ограждения передаче тепла в стационарных условиях, а теплоустойчивость характеризует сопротивляемость ограждения передаче изменяющихся во времени периодических температурных колебаний, т.е. нестационарных условий теплопередачи. Важно, чтобы соблюдалось условие, при котором расчетное сопротивление теплопередаче R_0^p , определяемое как сумма термических сопротивлений отдельных слоев ограждения R_i и сопротивлений теплообмену на внутренней R_e и наружной R_n поверхностях ограждения, было больше минимально допустимого санитарно-гигиенического сопротивления теплопередаче R_0 :

$$R_0^p \geq R_0, \quad (1)$$

где $R_0^p = R_e + \sum R_i + R_n$; $R_i = \delta / \lambda_c$; $R_0 \geq n(t_e - t_n) / \Delta t_n \alpha_e$, δ – толщина отдельного слоя в сечении ограждения, м; λ_c – коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м °С); n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху; t_e – расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая по нормам проектирования соответствующих зданий, °С; t_n – расчетная зимняя температура, °С, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92; Δt_n – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С.

«В строительной теплотехнике большое значение имеют вопросы, связанные с периодическими колебаниями температур и тепловых потоков» [8]. В естественных условиях адаптационного периода режим теплопередачи через ограждения в большей степени является нестационарным, что отражается на их теплонакопительной способности. «Эта способность зависит от плотности материала ограждений, и у тяжелых стен она выше, чем у легких конструкций. Зимой помещения с большей теплонакопительной способностью при отключении отопления охлаждаются с меньшей скоростью, а летом избыточная энергия в дневное время может накапливаться для того, чтобы передать ее в воздух помещения в прохладные ночные часы» [9]. Наиболее холодные и жаркие периоды года отмечены особенно резкими изменениями температуры и солнечной радиации. Эти периоды наибольшего охлаждения и наибольшего нагрева при проектировании ограждений и систем отопления являются экстремальными, поэтому основные теплотехнические расчеты должны выполняться с учетом нестационарности условий. Расчет переменных процессов необходим для замены сложного нестационарного явления простым стационарным. При этом надо находить такие условия замены, при которых точность упрощенного расчета не выйдет за пределы допустимых погрешностей [10]. В связи с этим для инженерных расчетов значения R_n предлагается следующее условие: $R_n \geq R_0 + \varepsilon R_0$, (6) где εR_0 – поправка, учитывающая нестационарность теплопередачи и инерционность конструкции.

Тепловая инерция также характеризует степень затухания амплитуды колебаний температуры наружного воздуха и её влияние на амплитуду колебаний температуры воздуха внутри помещения: чем больше величина теплонакопительной способности ограждающей конструкции, тем менее значимо влияние колебания наружного воздуха. При медленном понижении температуры, до начала периода резкого похолодания, распределение температуры в ограждении в каждый момент времени практически соответствует стационарному. В период резкого похолодания в каждый момент времени распределение температуры заметно отличается от стационарного. Амплитуда изменения температуры на внутренней поверхности ограждения $A_{тв}$ будет отставать от изменений наружной амплитуды $A_{тн}$. Для стационарного режима теплопередачи отношение между амплитудами соответствует

$$A_{тв} / A_{тн} = R_e / R_0. \quad (2)$$

В условиях нестационарной теплопередачи периода резкого похолодания, для ограждения определенной тепловой инерции выражение (2) записывается в виде

$$A_{тв} / A_{тн} = R_e / \psi R_0, \quad (3)$$

откуда

$$\psi = \nu R_e / R_0, \quad (4)$$

где ν – показатель сквозного затухания в ограждении разового отклонения $A_{тн}$ температурной волны, зависящей от тепловой инерции конструкции; $\nu = A_{тн} / A_{тв}$.

Результаты исследования и их обсуждение. Коэффициент теплоинерционности ограждающих конструкций зданий можно оценить экспериментально по результатам длительных натуральных наблюдений, фиксирующих нестационарность теплопередачи с последующей статистической обработкой полученных данных по амплитудам колебаний температуры наружного воздуха и на внутренней поверхности ограждения. Нами предложена *методика ускоренного определения характеристик теплопередачи на моделях*, в которых менялись конструктивные характеристики утеплителя.

Для проведения эксперимента создана установка и модель трёхслойной стеновой конструкции (рисунок 1). Конструктивная система четырёх её боковых стенок следующая: картон 3 мм; пеноплекс 20 мм (плотность 35 кг/м³); пенополистирол 30 мм (плотность 35 кг/м³); панель ПВХ 10 мм (в которой воздушные каналы направлены вертикально); фольга. Основание установки: картон 3 мм; пеноплекс 20 мм (плотность 35 кг/м³); пенополистирол 30 мм (плотность 35 кг/м³); фольга. В середине основания установки расположена инфракрасная лампа.

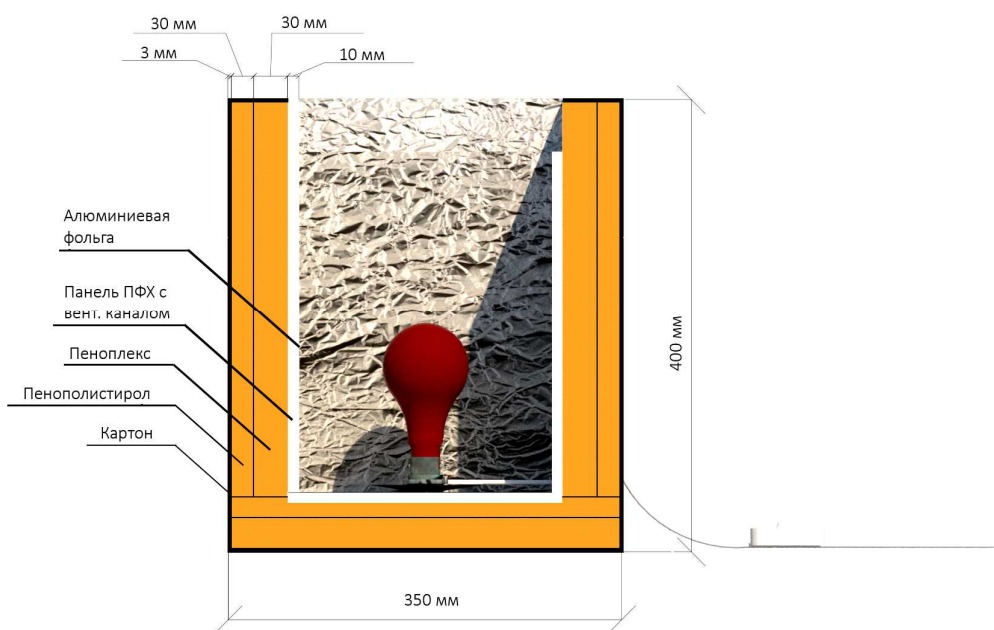


Рисунок 1. – Разрез установки

Таким образом, имея два вида утеплителя: трёхслойную стеновую панель и сочетание пеноплекса и пенополистирола, возможно с использованием созданной нами установки и модели стеновой конструкции выполнить сравнение теплоизоляционных показателей и выбрать наиболее оптимальный из них.

Модель состоит из двух сотобразных панелей (по 15 мм каждая), в которых вертикально расположенные воздушные каналы обернуты в фольгу и помещены в картонный короб (рисунок 2).

В основании короба расположены рёбра высотой 15 мм, которые образуют воздушные каналы.

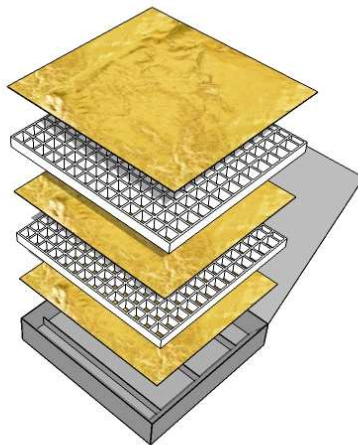


Рисунок 2. – Модель трёхслойной стеновой конструкции

Поместив модель в установку, на которой для измерения температуры утеплителя разместили четыре датчика (рисунок 3): датчик № 1 располагался на внешней стороне испытываемой модели; датчик № 2 – внутри боковой стенки на глубине 100 мм от верха стенки; датчик № 3 – на внешней стороне боковой стенки; датчик № 4 – на внутренней стенке установки.

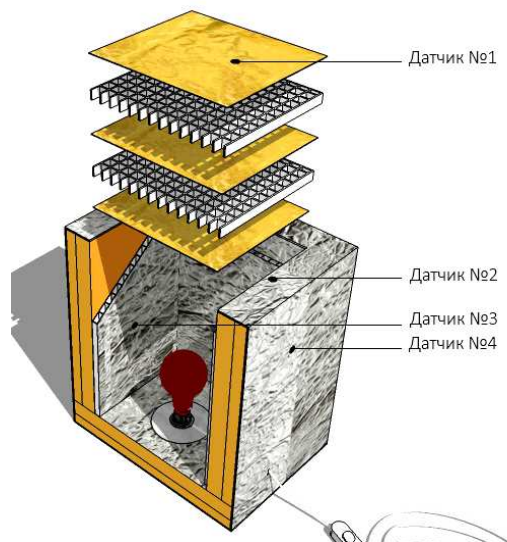


Рисунок 3. – Расположение датчиков

Для определения значений температуры использовалась система измерения физических величин PhyZModule (датчики B57164-K 222-J и B57164-K 103J). По достижении внутренним пространством температуры 60 °С снимались показания датчиков в течение 30 минут. Полученные результаты отображены на графике (рисунок 4).

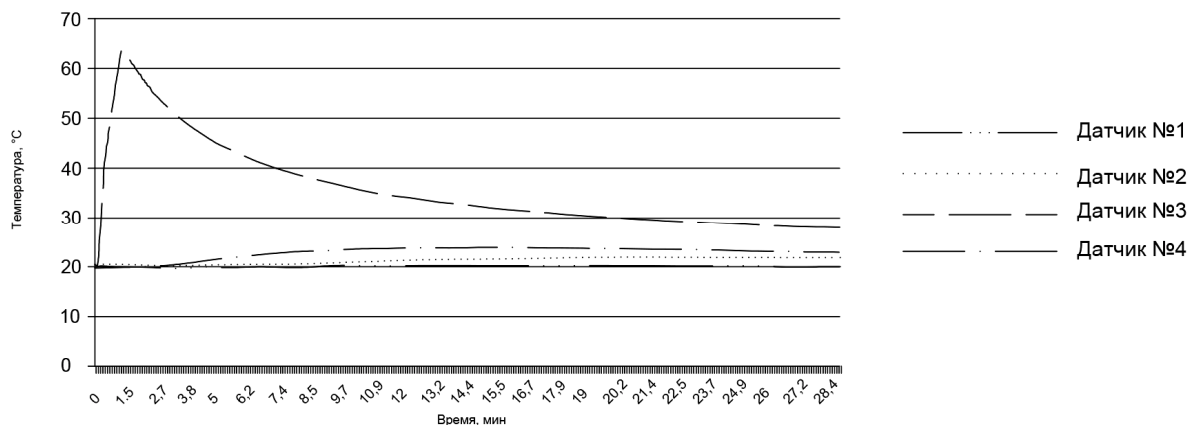


Рисунок 4. – Динамика изменения температуры

Из рисунка 4 видно, что тепло через модель уходит медленнее, чем через боковые стенки установки. Это можно объяснить тем, что большая часть тепла отражается от модели в замкнутое пространство установки.

Закключение. Представляется, что лучшим вариантом утеплителя, исходя из проведенного эксперимента, будет конструкция с применением алюминиевой фольги, уложенной в средней части ограждающей конструкции (алюминиевая фольга отражает до 97% лучистого теплового инфракрасного излучения). Такое решение требует комплексного подхода при устройстве отопления зданий, а именно применения высокотехнологичной и экономичной электрической лучистой системы (ПЛЭН) в виде устанавливаемой в потолке резистивной греющей (пожаробезопасной) алюминиевой фольги с минимальным расходом электроэнергии (КПД выше 95%, расход 10...20 Вт/ч на 1 м² общей площади). В этом случае имеет место равновесие излучаемого и отражаемого в наружных стенах и перекрытиях инфракрасного тепла. В результате можно отказаться от водяного отопления из-за большого расхода металла и значительных

теплопотерь в подающих уличных сетях, что также значительно улучшит комфорт проживания людей и дизайн интерьеров всех помещений, а главное позволит значительно снизить материалоемкость и сметную стоимость возводимых зданий. Кроме того, предлагаемая конструкция может быть задействована на вводимой белорусской АЭС, что позволит максимально использовать её мощность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будівельне матеріалознавство на транспорті : підручник для вузів / О.М. Пшінько [та ін.]. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – 624 с.
2. Кривенко, П.В. Будівельне матеріалознавство : підручник / П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова, В.Б. Барановський. – К. : ТОВ УВПК «ЕксОб», 2004. – 704 с.
3. Пшінько, А.Н. Модифицированный теплоизоляционный неорганический материал на основе алюмосиликатного сырья как альтернатива существующим утеплителям / А.Н. Пшінько, А.В. Краснюк, А.С. Щербак // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Вып. 61. – Д. : ПГАСА, 2011. – С. 344–349.
4. Теплоизоляционные материалы и конструкции : учебник / Ю.Л. Бобров [и др.]. – М. : Инфра-М, 2003. – 265 с.
5. Основы энергоресурсосбережения в жилищной и коммунальной сфере / П.Г. Грабовый [и др.] ; под общ. ред. Л.Н. Чернышова. – Иркутск : Байкальский филиал «Сосновгеология» ФГУП «Урангеологоразведка», 2008. – 429 с.
6. Грызлов, В.С. Технично-економическая оценка повышения теплозащиты ограждающих конструкций в регионе / В.С. Грызлов // Вестн. Череповец. гос. ун-та. – 2010. – № 3 (26). – С. 74–78.
7. W. Blasi. Ваuphysik. Verlag Europa Lehrmittel. Nourney. Vollmer GmbH & Co. 2001. – 480 p.
8. Ливчак, В.И. Градусо-сутки отопительного периода как инструмент сравнения уровня энергоэффективности зданий в России и других странах / В.И. Ливчак // Энергосбережение. – 2015. – № 6. – С. 20–25.
9. Гагарин, В.Г., Чжоу Чжибо. О нормировании тепловой защиты зданий в Китае / В.Г. Гагарин, Чжоу Чжибо // Жилищное строительство. – 2015. – № 7. – С. –18–22.
10. Мاستрюков, С.И. Оценка степени суровости климата Севера Евразии в зимний период / С.И. Мастрюков, Н.В. Червякова // Навигация и гидрография. – 2014. – № 38. – С. 66–714.

Поступила 20.06.2019

INSULATION MATERIAL AND THEIR CONVECTIVE PROPERTIES

**D. SHABANOV, E. BRIANTSEV, A. YAGUBKIN,
I. KRUPENCHIK, S. ZMITROVICH**

The heat transfer resistance of building envelopes is considered as the main characteristic in their design, i.e. determining the thickness of the section, the choice of appropriate heat-insulating materials, their energy-saving and economic feasibility. It is shown that all measures for the insulation of external walls should be correlated with the limit values of specific lump-sum costs at which these measures pay off. Proposals are made to clarify the methodology for assigning standard values for heat transfer resistance recommended by ТКР 45-2.04-196-2010 “Thermal protection of buildings”. The proposals are based on regulatory regional sanitary and hygienic requirements, which are a direct consequence of the theory of heat transfer and the characteristics of the thermal inertia of building envelopes.

Keywords: *heat transfer resistance, specific lump sum costs, payback, thermal inertia.*