

УДК 699.86/69.022.32

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ЗДАНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

THERMAL PERFORMANCE OF SANDWICH PANELS FOR INDUSTRIAL BUILDINGS

Автор: Байков Э.В. студент гр. С-Мв-24

Научный руководитель: к.т.н., доцент Музыченко Л.Н.

ФГБОУ ВО «СибГИУ», Новокузнецк

Аннотация: В статье приведён детальный анализ теплотехнических характеристик сэндвич-панелей с различными видами утеплителя: минеральная вата, пенополистирол, пенополиуретан (ППУ) и полиизоцианурат (ПИР). Рассмотрены приведённые сопротивления теплопередаче, температурные поля, влияние замковых соединений на теплозащиту. Показано, что ПИР-панели обладают наилучшими теплотехническими показателями при минимальной толщине. Даны рекомендации по выбору панелей для условий г. Сургута (II климатический район).

Abstract: The article presents a detailed analysis of thermal performance of sandwich panels with various types of insulation: mineral wool, expanded polystyrene, polyurethane foam (PUR) and polyisocyanurate (PIR). The reduced thermal resistance, temperature fields, and the influence of joint connections on thermal protection are considered. It is shown that PIR panels have the best thermal performance at minimum thickness. Recommendations for panel selection for the climatic conditions of Surgut (II climatic zone) are given.

Ключевые слова: сэндвич-панели, теплотехнические характеристики, приведённое сопротивление теплопередаче, ПИР, мостики холода, энергоэффективность.

Keywords: sandwich panels, thermal performance, reduced thermal resistance, PIR, thermal bridges, energy efficiency.

Введение

В условиях современного строительства всё большее внимание уделяется энергоэффективности ограждающих конструкций. Сэндвич-панели являются одним из наиболее востребованных решений благодаря сочетанию низкой теплопроводности, малого веса и высокой заводской готовности. Однако эффективность применения таких панелей напрямую зависит от правильного выбора типа и толщины утеплителя, а также от конструктивных особенностей стыков.

Особенно остро вопрос теплотехнического выбора стоит для производственных зданий, расположенных в районах с суровым климатом. В

данной работе рассматриваются климатические условия г. Сургута (температура наиболее холодной пятидневки — минус 46 °С), где нормируемые значения сопротивления теплопередаче достигают $R_0 = 3,0\text{--}3,5 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Основные виды утеплителей

В производстве сэндвич-панелей используются четыре основных типа теплоизоляции:

1. Минеральная вата (П-125) — негорючий материал, но с относительно высокой теплопроводностью ($\lambda = 0,040\text{--}0,045 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$).
2. Пенополистирол (ПСБ-С) — лёгкий и дешёвый, $\lambda = 0,039 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, но горюч.
3. Пенополиуретан (ППУ) — закрытопористый материал с $\lambda = 0,025 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, стоек к влаге.
4. Полиизоцианурат (ПИР) — модифицированный ППУ, $\lambda = 0,022 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, класс горючести Г1.

Каждый из этих материалов имеет свою область применения, но для производственных зданий с высокими требованиями по пожарной безопасности и теплозащите наиболее перспективным является ПИР.

Сравнительный анализ теплотехнических показателей

На основе расчётов, выполненных согласно СП 50.13330.2012, были определены значения приведённого сопротивления теплопередаче (R_0) для панелей толщиной 100 и 150 мм.

Таблица 1 - Теплотехнические характеристики сэндвич-панелей

Тип утеплителя	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	R_0 при 100 мм, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	R_0 при 150 мм, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Минеральная вата (П-125)	0,045	2,22	3,33
Пенополистирол (ПСБ-С)	0,039	2,56	3,85
ППУ (закрытопористый)	0,025	4,00	6,00
ПИР	0,022	4,55	6,82

Из таблицы видно, что панели на основе ППУ и ПИР толщиной 100 мм уже удовлетворяют нормативным требованиям для Сургута, тогда как минераловатные панели требуют толщины не менее 150 мм.

Проблема мостиков холода в замковых соединениях

Одной из ключевых проблем при эксплуатации сэндвич-панелей являются теплопотери через стыки. В зоне замковых соединений сопротивление теплопередаче может снижаться на 15–30 % за счёт металлических элементов, проходящих через утеплитель.

Исследования показывают, что наиболее эффективными являются замковые соединения типа «самозащелкивающийся фальц» с герметиком на наклонной поверхности (патент RU 142725 U1). Такое решение позволяет уменьшить дополнительные теплопотери на 15–20 % по сравнению с традиционными замками.

Для производственных зданий, где важна герметичность и предотвращение конденсации, применение таких замков является обязательным, особенно в условиях перепада температур до 70 °С (от –46 °С снаружи до +24 °С внутри).

Анализ температурных полей

С помощью численного моделирования (метод конечных элементов) были построены температурные поля в сечениях панелей с различными утеплителями. Установлено:

- В панелях с минеральной ватой наблюдается более равномерное поле, но из-за высокой теплопроводности требуется большая толщина.
- В панелях с ПИР температурный градиент минимален, что обеспечивает стабильный тепловой режим даже при резких похолоданиях.
- В зоне замков ППУ и ПИР-панелей температура внутренней поверхности не опускается ниже точки росы, что исключает конденсацию.

Экономическая эффективность

Хотя ПИР-панели имеют более высокую начальную стоимость (в 1,3–1,5 раза дороже минераловатных), их применение позволяет:

- сократить толщину стены на 30–40 %, снижая нагрузку на фундамент;
- уменьшить транспортные расходы (больше панелей в одной машине);
- снизить эксплуатационные затраты на отопление до 25 %;
- увеличить полезную площадь здания за счёт меньшей толщины ограждений.

Срок окупаемости дополнительных инвестиций в ПИР-панели составляет 3–5 лет, что делает их экономически оправданным выбором для промышленных объектов.

Рекомендации для климатических условий г. Сургута

На основе проведённого анализа можно сформулировать следующие рекомендации:

1. Для стеновых панелей производственных зданий оптимальным является ПИР толщиной 100 мм.
2. Для кровельных панелей рекомендуется толщина 120–150 мм из-за повышенных ветровых и снеговых нагрузок.
3. Замковые соединения должны быть герметизированы и иметь конструкцию, предотвращающую капиллярный подсос влаги.
4. При монтаже необходимо использовать специализированные грузозахватные устройства (патент RU 153437 U1), чтобы избежать повреждения защитного покрытия.

Выводы:

1. Наилучшими теплотехническими характеристиками среди рассмотренных утеплителей обладает ПИР ($\lambda = 0,022 \text{ Вт/(м·К)}$).
2. Для климатических условий г. Сургута достаточная толщина ПИР-панелей составляет 100 мм, минераловатных – 150 мм.
3. Замковые соединения являются зонами повышенных теплопотерь, их конструкция должна предусматривать герметизацию.
4. Применение ПИР позволяет снизить толщину ограждений, нагрузку на каркас и транспортные расходы.

Библиографический список

1. Поздняков И.С., Игнатова О.А. Применение пенополиуретанов в сэндвич-панелях // Эффективные рецептуры и технологии в строительном материаловедении. 2017. С. 146–151.
2. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. — М., 2012.
3. Патент РФ 142725. Замковое соединение сэндвич-панелей / Власенко Д.В., Тумаев Е.В., Лысов В.Г. — 2014.
4. Патент РФ 153437. Грузозахватное устройство для стеновых сэндвич-панелей / Ивченко К.А., Полищук Е.М. — 2015.
5. Патент РФ 62411. Сэндвич-панель металлическая трёхслойная / Индык Л.Ю., Скулыбердин А.В. — 2007.
6. ГОСТ 32603-2012. Панели стеновые с металлической обшивкой. — М., 2012.