

вие накопления влаги в толще утеплителя, может быть рекомендован к использованию для утепления наружных стен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианов, К. А. Пенополистирол для ограждающих конструкций / К. А. Андрианов, В. П. Ярцев // Жилищное строительство. – 2004. – № 2.

2. Патент РФ № 205735, МПК E04F 13/08(2006.01) БИ №25 10.09.07. Способ утепления наружной стены здания / М. М. Титов, Е. В. Хатина.

3. Хатина, Е. В. Определение коэффициента теплопроводности различных теплоизоляционных материалов в процессе эксплуатации / Е. В. Хатина // Ползуновский альманах. – № 3. – 2016. – С 223-226.

4. Хатина, Е. В. Исследование эксплуатационных свойств засыпного утеплителя в наружных стенах / Е. В. Хатина // Ползуновский альманах. – № 1. – 2016. – С. 211-214.

Хатина Е.В. – старший преподаватель кафедры «Технология и механизация строительства», ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: katrin210180@mail.ru.

УДК 699:86.004.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ НАВЕСНЫХ ФАСАДОВ

Е. В. Хатина

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Для эффективного утепления существующего жилищного фонда необходим теплоизоляционный материал, обладающий высокой паропрооницаемостью, долговечностью и ремонтпригодностью. Таким материалом может являться засыпной утеплитель из гранул вспененного пенополистирола, обеспечивающий эффект динамической теплоизоляции и имеющий возможность самостоятельно вентилироваться круглый год. В нашей работе мы исследовали влияние на термическое сопротивление материала или диаметра фракции утеплителя, влияние на термическое сопротивление мощности теплового потока и скорости обдува для всех материалов и диаметров фракции утеплителя, определили долю каждого из трех способов теплопередачи во всех материалах утепления (лучистый, конвективный, теплопроводность).

Ключевые слова: термическое сопротивление утеплителя, теплопроводность, теплопередача.

Эффективность и долговечность любой строительной конструкции, прежде всего, определяется корректностью метода расчета и свойствами входящих в нее материалов. В общем случае методика теплотехнического расчета и принципы выбора теплоизоляционного материала должны учитывать архитектурно-строительные особенности здания, климатические воздействия и внешние нагрузки.

К архитектурно-строительным особенностям относятся такие факторы, как: форма и высота здания; остекленность – процент остекления и ширина простенков; форма утепляемой поверхности – плоская или криволинейная; качество утепляемой поверхности – отклонение от плоскостности, наличие выпуклостей или швов; степень огнестойкости здания, класс ответственности здания; влаж-

ностный режим помещения – сухой, нормальный, влажный, мокрый.

К климатическим воздействиям, учет которых необходим при выборе теплоизоляции, помимо расчетных температур относятся ветровые воздействия.

С внешними нагрузками на теплоизоляцию все просто – они сведены к минимуму. Внешних сил к утеплителю в условиях эксплуатации не приложено. Собственный вес отдельной плиты воспринимается механическим крепежом, например стержнями из стеклопластика с нейлоновым дюбелем. Количество точек крепления на одну плиту определяется проектом. В условиях эксплуатации и монтажа при обеспечении плотного контакта (прижатия) утеплитель подвергается сжатию, изгибу и кручению, обусловленными геометрией утепляемой поверхности.

Все перечисленные факторы и воздействия однозначно позволяют определить критерии выбора теплоизоляционного материала для навесного фасада. Выбор же конкретной марки теплоизоляции проводится по этим критериям на основе сравнительного анализа физико-механических свойств, предполагаемых к использованию материалов [1].

Недостатки минеральной ваты и листового пенополистирола:

- Недолговечность – листовый пенополистирол деструктурирует, а у минеральной ваты разрушается связующее под влиянием внешних воздействий.

- Значительное увеличение теплопроводности при незначительном увеличении влажности. Также минеральная вата и листовый пенополистирол накапливают влагу, которая приводит к разрушению структуры материала в результате периодического замерзания-оттаивания.

- Сложность замены утепляющего материала в конструкции утепления.

- Образование пустот между утеплителем и поверхностью стены, что снижает эффективность утепления.

- Уплотнение пенополистирола со временем приводит к значительному снижению термического сопротивления конструкции.

- Увеличение теплопередачи за счет инфильтрации при разрушении связующего минеральной ваты (образование так называемых «карманов холода»).

Задачи исследований и экспериментов:

1. Исследовать влияние на термическое сопротивление материала или диаметра фракции.

2. Исследовать влияние на термическое сопротивление мощности теплового потока и скорости обдува для всех материалов и диаметров фракции утеплителя.

3. Определить долю каждого из трех способов теплопередачи во всех материалах утепления (лучистый, конвективный, теплопроводность).

Схема и принцип действия экспериментальной установки

Для проведения эксперимента была собрана испытательная установка, имитирующая различные варианты воздействия природно-климатических факторов на слой насыпного утеплителя. Установка представляет собой емкость в форме параллелепипеда размером 1200×315×280 мм, стенки которой выполнены из пенополистирольных плит толщиной 40 мм. Емкость разбита на два равных объема плоским нагревательным

элементом размером 1120×200 мм (площадь 0,224 м²).

После засыпки утеплителя по торцам установки вплотную к слою засыпки устанавливались рамки-ограничители, представляющие собой жесткий каркас из деревянных реек сечением 15×10 мм с натянутой на него сеткой.

Для имитации ветрового потока установка размещалась в блок из ДВП по деревянному каркасу так, чтобы между боковыми торцами установки и боковыми поверхностями блока оставался зазор 50мм. В нижней части блока было вырезано отверстие диаметром 50мм, через которое подавался воздушный поток, скорость которого регулировалась трансформатором. Поверхность утеплителя обдувалась потоком воздуха скоростью $V_1 = 1$ м/с ($U = 150$ В) и $V_2 = 2$ м/с ($U = 195$ В).

Для контроля равномерности обдува поверхности утеплителя в верхнем торце установки были прикреплены листы бумаги, которые поднимались под действием набегающего потока воздуха. По высоте их подъема можно оценить скорость потока воздуха в каждом зазоре. Скорость обдува поверхности утеплителя измерялась анемометром Skywatch Xplorer2. Для получения данных о температуре в трех сечениях по высоте и в восьми сечениях по ширине испытательной установки были установлены датчики температуры – хромель-копелевые термодатчики. Так же две термодатчики были установлены в воздушных зазорах, и одна – за пределами установки для измерения температуры наружного воздуха.

План и ход эксперимента

- Установка мощности нагревателя.
- Установка скорости обдува утеплителя.
- Получение данных о температурах в сечениях.
- Выход установки в стационарный режим.
- Запись данных о температурах в сечениях.
- Анализ и обработка данных.
- Выводы.

Методика определения границы излучения

Цель: определить долю каждой составляющей теплового потока на свойства утеплителя.

Граница излучения определяется в следующей последовательности.

Определяется коэффициент теплопроводности материала утеплителя

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ НАВЕСНЫХ ФАСАДОВ

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{(t_1 - t_2) \cdot F}, \frac{Вт \cdot м}{°C \cdot м}, \quad (1)$$

где Q – мощность нагревателя, Вт; δ – толщина утеплителя, м; t_1 – температура на поверхности нагревателя, °C; t_2 – температура на поверхности утеплителя, °C; F – площадь поверхности нагревателя, м².

Вычисляется сопротивление теплопередаче

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \frac{°C \cdot м^2}{Вт}, \quad (2)$$

где δ – толщина утеплителя, м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(°C м).

Рассчитывается приведенный коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_{np} = \frac{1}{R}, \frac{Вт}{°C \cdot м^2}, \quad (3)$$

где R – сопротивление теплопередаче, (°C м²)/Вт.

Вычисляется плотность теплового потока

$$q = \frac{Q}{F}, \frac{Вт}{м^2}, \quad (4)$$

где Q – мощность нагревателя, Вт; F – площадь поверхности нагревателя, м².

Определяется значение избыточной температуры между температурой на поверхности нагревателя и температурой воздуха в воздушном зазоре

$$\Delta t_c = t_c - t_{ж}, °C, \quad (5)$$

где t_c – температура на поверхности нагревателя, °C; $t_{ж}$ – температура воздуха в воздушном зазоре, °C.

Рассчитывается конвективная составляющая теплового потока

$$q_k = \alpha_{np} \cdot \Delta t_c, \frac{Вт}{м^2}, \quad (6)$$

где α_{np} – приведенный коэффициент теплоотдачи, Вт/(°C м²); Δt_c – значение избыточной температуры между температурой на поверхности нагревателя и температурой воздуха в воздушном зазоре, °C.

Рассчитывается плотность теплового потока, обусловленная тепловым излучением

$$q_u = q - q_k, \frac{Вт}{м^2}, \quad (7)$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²; q_k – конвективная составляющая теплового потока, Вт/м².

Определяется абсолютная температура на границе излучения (окружающих тел)

$$T_{окр} = 100 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{T_c}{100}\right)^4 - \frac{q_u}{c_{np}}}, K, \quad (8)$$

где $T_c = t_c + 273$ – абсолютная температура нагревателя, K; t_c – температура на нагревателе, °C; q_u – плотность теплового потока, обусловленная тепловым излучением, Вт/м²; c_{np} – приведенная излучательная способность, Вт/(м² K⁴).

Вычисляется температура на границе излучения

$$t_{окр} = T_{окр} - 273, °C, \quad (9)$$

где $T_{окр}$ – абсолютная температура на границе излучения (окружающих тел), K.

Определяется расстояние от нагревателя до границы излучения по графику распределения температур по высоте и по сечению (в мм). Итог: в связи с динамикой лучистой составляющей лучшие свойства утеплитель проявляет при меньшем температурном напоре и меньшей скорости движения воздуха.

Выводы

1. Термическое сопротивление слоя теплоизоляции одинаковой толщины при одинаковой мощности источника зависит от увеличения скорости обдува следующим образом: с увеличением скорости обдува термическое сопротивление уменьшается.

Термическое сопротивление при любой скорости обдува в зависимости от материала утепления уменьшается в следующей последовательности:

- Пенополистирол мелкой фракции;
- Минеральная вата;
- Пенополистирол крупной фракции.

2. Термическое сопротивление слоя теплоизоляции одинаковой толщины при одинаковой скорости обдува зависит от увеличения мощности источника следующим образом: с увеличением мощности источника термическое сопротивление увеличивается.

Таблица 1 – Доли способов теплопередачи в пенополистироле крупной фракции

| Пенополистирол крупной фракции | | | | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------------|-----|-----|----------------------|
| Скорость обдува, м/с | | Мощность источника Вт/м ² | | | Способ теплопередачи |
| | | 22 | 33 | 45 | |
| 0 | | 66% | 51% | 53% | К |
| | | 33% | 48% | 46% | И |
| | | <1% | <1% | <1% | Т |
| 1 | | 62% | 63% | 58% | К |
| | | 37% | 36% | 41% | И |
| | | <1% | <1% | <1% | Т |
| 2 | | 59% | 63% | 52% | К |
| | | 40% | 36% | 47% | И |
| | | <1% | <1% | <1% | Т |

Таблица 2 – Доли способов теплопередачи в пенополистироле мелкой фракции

| Пенополистирол мелкой фракции | | | | | |
|-------------------------------|--|--------------------------------------|-----|-----|----------------------|
| Скорость обдува, м/с | | Мощность источника Вт/м ² | | | Способ теплопередачи |
| | | 22 | 33 | 45 | |
| 0 | | 82% | 82% | 84% | К |
| | | 17% | 17% | 15% | И |
| | | <1% | <1% | <1% | Т |
| 1 | | 90% | 86% | 86% | К |
| | | 9% | 13% | 13% | И |
| | | <1% | <1% | <1% | Т |
| 2 | | 88% | 85% | 87% | К |
| | | 11% | 14% | 12% | И |
| | | <1% | <1% | <1% | Т |

Таблица 3 – Доли способов теплопередачи в минеральной вате

| Минеральная вата | | | | | |
|----------------------|--|--------------------------------------|-----|-----|----------------------|
| Скорость обдува, м/с | | Мощность источника Вт/м ² | | | Способ теплопередачи |
| | | 22 | 33 | 45 | |
| 0 | | 75% | 70% | 71% | К |
| | | 24% | 29% | 28% | И |
| | | <1% | <1% | <1% | Т |
| 1 | | 75% | 69% | 68% | К |
| | | 24% | 30% | 31% | И |
| | | <1% | <1% | <1% | Т |
| 2 | | 75% | 68% | 66% | К |
| | | 24% | 31% | 33% | И |
| | | <1% | <1% | <1% | Т |

Примечание: К – конвекция, И – излучение, Т – теплопроводность.

Термическое сопротивление при любой мощности источника в зависимости от материала утепления уменьшается в следующей последовательности:

- пенополистирол мелкой фракции;
- минеральная вата;

- пенополистирол крупной фракции.

3. Доля излучения в пенополистироле крупной фракции находится в диапазоне 33-48%, конвекции – 51-66% (таблица 1).

Доля излучения в пенополистироле мелкой фракции находится в диапазоне 9-17%, конвекции – 82-90% (таблица 2).

Доля излучения в минеральной вате находится в диапазоне 24-33%, конвекции – 75-66% (таблица 3).

Во всех материалах утепления доля теплопроводности составляет менее 1%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарин, В. Г. Продольная фильтрация воздуха в современных ограждающих конструкциях / В. Г. Гагарин, В. В. Козлов, А. В. Садчиков, И. А. Мехнецов // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). – № 8. – 2005. – С. 60.

Хатина Е.В. – старший преподаватель кафедры «Технология и механизация строительства», ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: katrin210180@mail.ru.