

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЭКСТРУЗИОННОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛА ПОСЛЕ ДЕСЯТИ ЛЕТ ХРАНЕНИЯ

О.В. АВЕРЬЯНОВА, канд. техн. наук, доцент, **В.Я. ОЛЬШЕВСКИЙ**, канд. техн. наук, доцент, ВШГиЭС Санкт-Петербургский политехнический университет, **Ш.Т. СУЛТАНОВ**, инженер, **Д.Д. КУЛИГИН**, **Е.Ю. ИВАНОВ**, студенты, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, **Г.А. ЕМЕЛЬЯНОВ**, гл. инженер, «Фасадные технологии», г. Москва

Ключевые слова: здания и сооружения, энергетическая эффективность, многослойные ограждающие конструкции, наружные стены, фасады, теплоизоляционные материалы и изделия, экструзионный пенополистирол (XPS), старение, теплопроводность

Key words: buildings and structures, energy efficiency, multilayer enclosing structures, external walls, facades, thermal insulation materials and products, extruded polystyrene foam (XPS), aging, thermal conductivity



Выполнены теплотехнические испытания плит теплоизоляционных их экструзионного пенополистирола после десяти лет хранения. Теплопроводность изделий после десяти лет хранения оказалась на 17% выше значений, заявленных производителем. Показано, что основным причиной выявленного несоответствия является замещение вспенивающего агента воздухом. В результате теплопроводность плит увеличивается, а их теплоизоляционные свойства ухудшаются. Подчеркивается, что российские стандарты не учитывают старение материалов в процессе эксплуатации, что со временем может приводить к все большему несоответствию заявленных и фактических теплотехнических свойств ограждающих конструкций. Данное несоответствие следует учитывать при проектировании ограждающих конструкций, в составе которых применяются плиты полистирольные вспененные экструзионные, со сроком эксплуатации 10 и более лет.

The authors analyze changes in the properties of polystyrene foam extrusion plates that occur during operation or long-term storage. It is noted that the gas in such thermal insulation products can be replaced by air. As a result, the thermal conductivity of the plates increases, and their thermal insulation properties deteriorate. It is emphasized that the Russian standards do not take into account the aging of materials during operation, which over time can lead to an increasing discrepancy between the declared and actual thermal properties of enclosing structures. This discrepancy should be taken into account when designing enclosing structures, which include polystyrene foam extrusion plates with a service life of 10 years or more.

Введение

Величина энергопотребления и тепловой нагрузки зданий зависит от уровня теплоизоляции наружных ограждающих конструкций (стен, окон, покрытий, наружных входных дверей, перекрытий над подвалом и т.д.). Значительную часть наружной оболочки зданий составляют непрозрачные ограждающие конструкции, уровень теплоизоляции которых зависит от теплотехнической эффективности составных элементов конструкции. В основном уровень тепловой защиты непрозрачных конструктивных элементов теплозащитной оболочки здания зависит от теплопроводности теплоизоляционного слоя. Чем ниже теплопроводность теплоизоляционного слоя, тем выше его теплоизоляционные свойства при прочих равных условиях (толщины слоя теплоизоляции, количества теплопроводных включений в его составе и пр.).

Практика проведения натуральных испытаний ограждающих конструкций показывает, что фактические теплоизоляционные свойства ограждающих конструкций часто превышают проектные (расчетные) значения [1-4]. Одной из причин выявленного несоответствия может оказаться несоответствие заявленных и фактических значений теплопроводности строительных материалов и изделий.

В работах [1-3] приведены значения сопротивлений теплопередаче строительных конструкций вновь возведенных зданий, полученные на основании статистической обработки результатов натуральных измерений. Базируясь на выполненных натуральных испытаниях авторы выявили, что 99% панельных стен и более 90% стен с вентилируемым навесным фасадом (НФС) не соответствуют ни проектным значениям, ни нормативным требованиям [1].

В работе [4] представлены результаты испытаний наружных стеновых конструкций (кладок) в климатической камере. Авторами выполнены теплотехнические испытания четырех типов кладок из крупноформатных пустотелых керамических блоков, полнотелого обычного кирпича, из щелевых и полнотелых керамзитобетонных блоков. Результаты испытаний показали, что только одна из четырех испытанных типов кладок соответствует данным, указанным в сертификатах производителей.

В работах [5-9] показаны результаты сравнения заявленных производителями и фактических значений теплопроводности ячеистобетонных изделий автоклавного твердения. Расхождение заявленных и фактических значений теплопроводности ячеистобетонных изделий может достигать 20%, что является одной из причин несоответствия измеренных значений сопротивлений теплопередаче наружных стен из газобетонных блоков проектным показателям [10-12].

В последние 20 лет широкое распространение получили теплоизоляционные полимерные газонаполненные материалы и изделия. Поры таких материалов заполнены газами (вспенивающими агентами), теплопроводность которых ниже, чем у воздуха. Это обстоятельство позволяет достичь очень низких значений теплопроводности таких изделий, что дает им некоторые начальные преимущества по сравнению с материалами, поры которых заполнены воздухом, например, минераловатными. К газонаполненным теплоизоляционным материалам относятся изделия из экструзионного пенополистирола (XPS), вспененного полистирола (EPS), пенополиуретана (PUR) и пенополиизоцианурата (PIR) [13, 14].

Однако в условиях хранения или эксплуатации с течением времени газ может эмитировать из толщи изделия и замещаться воздухом. Теплопроводность изделий при этом возрастает, что приводит к уменьшению теплозащитных показателей (термического сопротивления) ограждающих конструкций, в состав которых они входят.

В российских нормах теплопроводность строительных материалов и изделий для условий эксплуатации учитывает влияние только влажности и температуры:

$$\lambda_i = f(\varphi, T). \quad (1)$$

Международные стандарты при определении расчетной (проектной) теплопроводности для ряда теплоизоляционных изделий, в том числе газонаполненных полимерных, учитывают также старение [15, 16]:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a, \quad (2)$$

где F_T , F_m , F_a – поправочные коэффициенты, используемые для преобразования теплотехнических характеристик из одних условий (λ_1) в другие (λ_2), соответственно по температуре (T), влажности (m) и старению (a).

Тем самым международные стандарты позволяют произвести более точную оценку расчетной теплопроводности теплоизоляционного материала или изделия в процессе эксплуатации.

Описание исследования

В рамках настоящего исследования было выполнено измерение теплопроводности шести образцов, вырезанных из плит полистирольных вспененных экструзионных. Изделия хранились в заводской упаковке в неотапливаемом чердачном помещении в течение 10 лет.

Ниже кратко перечислены начальные условия для проведения эксперимента:

- наименование продукции: плиты полистирольные вспененные экструзионные;

- область применения продукции: утепление внешних и внутренних ограждающих конструкций (теплоизоляция стен, перегородок, фасадных систем);

- год изготовления продукции: 2011;

- заявленная теплопроводность (в сухом состоянии) – $0,030 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ [17];

- условия хранения: в заводской упаковке, в неотапливаемом чердачном помещении;

- метод испытаний: ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме;

- средства испытаний:

- сушильный шкаф SNOL 67/350, зав. № 14474;

- штангенциркуль SANTOOL 050410-025-002 – $150 \times 0,02 \text{ мм}$, зав. № ZH20165178;

- калибровочный образец (КО) из оргстекла ($H=28,9 \text{ мм}$); $\Delta T=25,0^\circ\text{C}$; $\lambda=0,196 \pm 0,006 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

- прибор для измерения теплопроводности ПИТ-2.1, зав. № 037;

- размер образцов (длина×ширина×толщина): $250 \times 250 \times 50 \text{ мм}$;

- цель исследования: определение теплопроводности в сухом состоянии λ_{25} , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, после 10 лет хранения.

Результаты испытаний

Испытания выполнены в два этапа. На первом образцы испытывались в естественном состоянии (при естественной влажности изделий). На втором этапе образцы высушивались в сушильном электрошкафу

при температуре $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$ до постоянной массы. Затем снова подвергались испытаниям. Тестируемые образцы показаны на рис. 1. Процесс выполнения испытаний на рис. 2.



Рис. 1. Испытуемые образцы

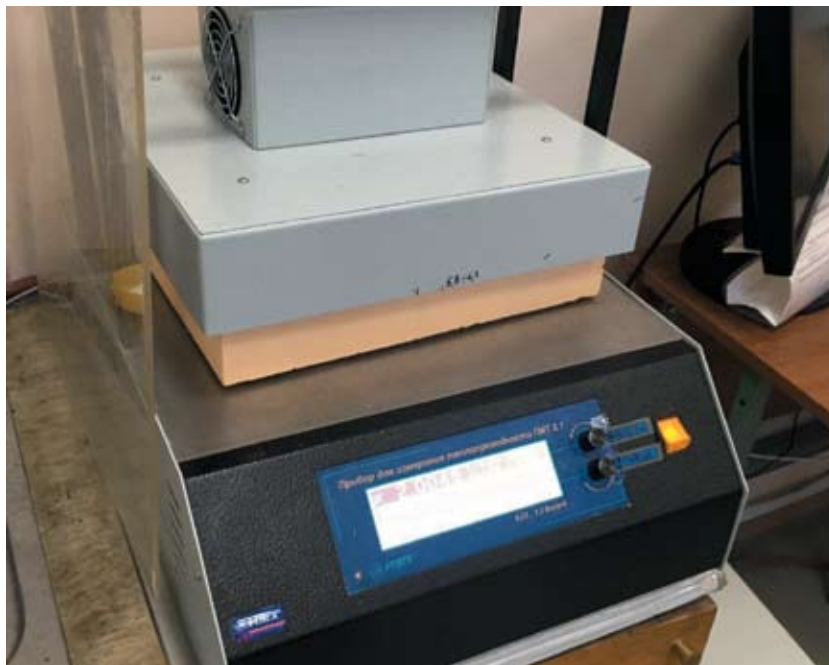


Рис. 2. Процесс выполнения испытаний

Результаты испытаний изделий при естественной влажности представлены в табл. 1, в сухом состоянии в табл. 2.

Таким образом, теплопроводность изделий из экструзионного пенополистирола в сухом состоянии после 10 лет хранения оказалась равной $0,035 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, что примерно на 20% выше заявленного производителем значения.

ТАБЛИЦА 1. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПЛИТ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ВСПЕНЕННЫХ ЭКСТРУЗИОННЫХ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ

Образец	Толщина, мм	Средняя толщина, мм	Масса в исходном состоянии, г	Средняя масса, г	Теплопроводность в исходном состоянии, Вт/(м·К)	Средняя теплопроводность λ_{25} , Вт/(м·К)
1	49,5	49,4	182,731	183,980	0,0359	0,036
2	49,2		185,519		0,0355	
3	49,5		182,798		0,0352	
4	49,7		182,876		0,0358	
5	49,3		184,860		0,0359	
6	49,3		185,097		0,0352	

ТАБЛИЦА 2. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПЛИТ ПОЛИСТИРОЛЬНЫХ ВСПЕНЕННЫХ ЭКСТРУЗИОННЫХ В СУХОМ СОСТОЯНИИ

Образец	Толщина, мм	Средняя толщина, мм	Масса в исходном состоянии, г	Средняя масса, г	Теплопроводность в исходном состоянии, Вт/(м·К)	Средняя теплопроводность λ_{25} , Вт/(м·К)
1	49,5	49,4	182,730	183,975	0,0357	0,035
2	49,2		185,516		0,0350	
3	49,5		182,788		0,0350	
4	49,7		182,871		0,0355	
5	49,3		184,855		0,0352	
6	49,3		185,087		0,0349	

Воспользуемся формулой влияния эксплуатационной влажности изделий на теплопроводность [18]:

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda \cdot w_3 = \lambda_0 \cdot \left(1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \cdot w_3 \right) = \lambda_0 \cdot (1 + \eta \cdot w_3)$$

где λ_0 – теплопроводность материала в сухом состоянии, Вт/(м·К);

$\Delta\lambda$ – приращение теплопроводности на 1% влажности; Вт/(м·К);

w_3 – эксплуатационная влажность материала по массе, %;

η – коэффициент теплотехнического качества, 1%. Для изделий из экструзионного пенополистирола принимается равным 0,035 [18].

Рассчитаем на ее основании формулы расчетные значения теплопроводности для условий эксплуатации А и Б соответственно. Получим:

– для условий эксплуатации А (при влажности 1%):

$$\lambda_A = \lambda_0 \cdot (1 + \eta \cdot w_3) = 0,035 \cdot (1 + 0,035 \cdot 1) = 0,036 \text{ Вт/(м·К);}$$

– для условий эксплуатации Б (при влажности 2 %):

$$\lambda_B = \lambda_0 \cdot (1 + \eta \cdot w_3) = 0,035 \cdot (1 + 0,035 \cdot 2) = 0,038 \text{ Вт/(м·К);}$$

Таким образом, при проектировании ограждающих конструкций со сроком эксплуатации более 10 лет следует учитывать приращение теплопроводности изделий из экструзионного пенополистирола, достигаемое за счет постепенного замещения газа из пор материала воздухом.

Выводы

1. Расчетная теплопроводность полимерных газонаполненных теплоизоляционных материалов и изделий зависит не только от эксплуатационной влажности и температуры, но и от срока их эксплуатации (старения).

2. Фактор старения теплоизоляционных материалов и изделий российскими нормами не учитывается.

3. Низкая теплопроводность изделий из экструзионного пенополистирола обеспечивается, в том числе наличием в порах материала вспенивающего агента (например, углекислого газа), который в процессе эксплуатации может эмитировать из ячеек материала и замещаться воздухом. При замещении газа воздухом теплопроводность изделий может увеличиваться, что приводит к возрастанию (ухудшению) теплоизоляционных свойств как самого материала, так и ограждающих конструкций, в составе которых он смонтирован.

4. Теплопроводность изделий из экструзионного пенополистирола после 10 лет хранения в неотапливаемом чердачном помещении (в заводской упаковке) оказалась на 17% выше исходной (заявленной производителем).

5. Данное обстоятельство следует учитывать при проектировании ограждающих конструкций с длительным сроком эксплуатации.

6. Для газонаполненных полимерных теплоизоляционных материалов следует

учитывать изменение теплопроводности со временем.

Библиографический список

1. Крышов С.И., Курилюк И.С. Проблемы экспертной оценки тепловой защиты зданий. *Жилищное строительство*, № 7, 2016, с. 3-5, URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26469098>
2. Крышов С.И., Курилюк И.С. Оценка теплозащиты наружных ограждающих конструкций. *Энергосбережение*, № 3, 2018, с. 12-19, URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6915
3. Крышов С.И., Курилюк И.С. О фактических показателях энергоэффективности зданий. Причины и пути устранения несоответствия нормативам. *Энергосбережение*, № 4, 2018, с. 38-45, URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6945
4. Васильев Г.П., Жолобецкий Я.Я., Личман В.А. Теплотехнические испытания кладок из различных строительных материалов. *Энергосбережение*, №3, 2016, с. 48-55, URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6389
5. Немова Д.В., Спиридонова Т.И., Куражова В.Г. Неизвестные свойства известного материала. *Строительство уникальных зданий и сооружений*, № 1 (1), 2012, с. 36-46, DOI: 10.18720/CUBS.1.4.
6. Ватин Н.И., Горшков А.С., Корниенко С.В., Пестряков И.И. Потребительские свойства стеновых изделий из автоклавного газобетона. *Строительство уникальных зданий и сооружений*, № 1 (40), 2016, с. 78-101, DOI: 10.18720/CUBS.40.7.
7. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Ольшевский В.Я., Пестряков И.И. Фактические теплотехнические характеристики стен из автоклавных газобетонных блоков. *Строительство уникальных зданий и сооружений*, № 5, (68), 2018, с. 75-104, DOI: 10.18720/CUBS.68.7.
8. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Ольшевский В.Я., Пестряков И.И. Расчетные теплотехнические характеристики стен из автоклавных газобетонных блоков. *Строительство уникальных зданий и сооружений*, № 6, (69), 2018, с. 35-58, DOI: 10.18720/CUBS.69.4.
9. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С., Ольшевский В.Я., Пестряков И.И. Теплотехническое качество наружных стен из автоклавных газобетонных блоков. *Строительство уникальных зданий и сооружений*, № 7, (70), 2018, с. 1-21, DOI: 10.18720/CUBS.70.1.
10. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С. Оценка теплозащиты эксплуатируемых жилых зданий из газобетонных блоков. *Энергосбережение*. № 6, 2016, с. 32-35, URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6474
11. Горшков А. С., Ватин Н. И., Корниенко С. В., Пестряков И. И. Соответствие автоклавного газобетона современным требованиям по тепловой защите зданий. *Энергосбережение*, № 2, 2016, с. 41-47, URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6361
12. Горшков А. С., Ватин Н. И., Корниенко С. В., Пестряков И. И. Соответствие автоклавного газобетона современным требованиям по тепловой защите. *Энергосбережение*, № 3, 2016, с. 62-69. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6387
13. Ватин Н.И., Величкин В.З., Горшков А.С., Пестряков И.И., Пешков А.А., Немова Д.В., Киски С.С. Альбом технических решений по применению теплоизоляционных изделий из пенополиуретана торговой марки «SPU-INSULATION» в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий. *Строительство уникальных зданий и сооружений*, № 3 (8), 2013, с. 1-264, DOI: 10.18720/CUBS.8.8.
14. Горшков А.С., Ватин Н.И., Дацюк Т.А., Безруков А.Ю., Немова Д.В., Какула П., Виштанен А. Альбом технических решений по применению теплоизоляционных изделий из пенополиуретана в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий. *Строительство уникальных зданий и сооружений*, № 5 (20), 2014, с. 71-441. DOI: 10.18720/CUBS.20.7.
15. Горшков А.С., Соколов Н.А. Несоответствие российских и международных стандартов при определении расчетных значений теплопроводности строительных материалов и изделий. *Инженерно-строительный журнал*, № 7 (42), 2013, с. 7-14. DOI: 10.5862/MCE.42.2.
16. Соколов Н.А., Горшков А.С. Теплопроводность строительных материалов и изделий: уровень гармонизации российских и европейских стандартов. *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*, № 6 (185), 2014, с. 27-31, URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22602475>
17. Заключение НИИСФ РААСН № 05/654-12 от 01.07.08.
18. СТО 54349294-001-2015. Раздел 1.

Проект выполнен при поддержке Российского научного фонда, соглашение 21-79-10283 от 29.07.2021