

ОЦЕНКА

ДОЛГОСРОЧНЫХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ИЗ XPS

В развитых странах пластиковые пены уже более 50 лет используются как теплоизоляционные изделия в виде жестких плит. Долговременные теплотехнические показатели плит из экструдированного пенополистирола (XPS) совершенствовались по мере эволюции вспенивающих агентов (ВА). Изделия из полистирола вспенивались без фреонов (CFC, HCFC, HFC) до тех пор, пока в конце 1950-х гг. XPS не стали вспенивать с добавлением фреона CFC-12 как «вечного», долговременного компонента, улучшающего теплотехнические характеристики XPS. Было обнаружено, что скорость диффузии CFC-12 из плит XPS крайне низка. В то же время стало известно, что CFC-12 крайне негативно воздействует на озоновый слой Земли. В конце 1980-х гг. при вспенивании XPS фреон CFC-12 был заменен HCFC-142b, который эквивалентен CFC по теплотехническим показателям, однако менее вреден для озонового слоя.

Оказалось, что HCFC-142b обладает низким коэффициентом диффузии через пленку полистирола. Как следствие, плиты XPS, вспененные этим газом, демонстрируют такие же долгосрочные теплотехнические показатели, что и теплоизоляция, вспененная CFC-12 [1].

В настоящее время в развивающихся странах плиты из XPS производятся в основном с использованием HCFC-142b и HCFC-22 [2]. Эти же вспенивающие агенты пока (до 2010 г.) используются для производства плит XPS и в Северной Америке.

В связи с запретом использования фреонов группы HCFC стали разрабатываться различные его заменители. Одним из лучших заменителей по

долговременным теплотехническим показателям при производстве плит XPS оказался HFC-134a [3].

Группа фреонов HFC не содержит хлора. Они значительно менее опасны для озонового слоя и имеют незначительный период жизни в атмосфере.

В Европе, где введен запрет на использование HCFC-агентов, для вспенивания XPS применяют либо углекислый газ (CO₂) в чистом виде, либо CO₂ в сочетании с углеводородами, спиртами и т.д. Использование CO₂ для вспенивания – технически непростая задача, требующая существенных инвестиций в реконструкцию существующих производственных линий.

Тем не менее, принимая во внимание мировую тенденцию к снижению выбросов фреонов, источающих озоновый слой Земли, это направление считается очень перспективным.

В табл. 1 приведено сравнение основных ВА по воздействию на глобальное потепление. Потенциал глобального потепления (ПГП, или GWP) – коэффициент, который введен в Киотском протоколе (1997 г.). ПГП позволяет проводить равноценное сравнение различных парниковых газов с точки зрения их влияния на глобальное потепление и/или продолжительности их в атмосфере. За эталон принят углекислый газ: его ПГП равен единице.

Механизмы, отвечающие за теплопередачу в пластиковых пенах, в том числе в XPS, хорошо известны. По традиции принимается, что теплопроводность плит XPS складывается из четырех компонентов:

- теплопроводности твердой фазы материала (полистирола);

- теплопроводности газообразной фазы (ВА);

- передачи лучистой энергии;
- передачи тепла посредством конвекции.

В случае с XPS, где размер ячеек невелик (менее 2 мм), конвекционной составляющей можно пренебречь.

В плитах XPS (как и в любом вспененном материале) теплопередача через теплопроводность твердой фазы и через излучение неизменны во времени. Только компонента, связанная с теплопроводностью газовой фазы, со временем изменяется как результат диффузии ВА из ячеек и встречной диффузии воздуха (кислорода и азота).

Концентрация ВА, находящегося в плите XPS, определяется транспортными свойствами этого газа.

В табл. 2 приведены ключевые транспортные характеристики некоторых газов – проницаемость и эффективный коэффициент диффузии в полистироле [4].

Данные для этой таблицы получены в результате долговременных испытаний, поэтому они лучше отражают истинную диффузию ВА в течение очень длительного периода времени (десять лет).

Из табл. 2 видно, что HCFC-22 и HFC-152a обладают коэффициентом диффузии на два порядка большим, чем «долговечные» ВА, т.е. эти два газа не задерживаются надолго в ячейках XPS.

На рис. 1 сравнивается теплопроводность идентичных плит XPS (толщина 50 мм, плотность 32 кг/м³), вспененных различными газами. Плиты были «состарены» при 15 °С и нормальной влажности. Как видно из графика, скорости диффузии таких ВА, как CFC-12, HCFC-142b и HFC-134a, остаются

Таблица 1. Влияние основных ВА на процессы глобального потепления

Наименование ВА	Потенциал глобального потепления
CFC-12	10 720
HCFC-142b	2270
HCFC-22	1780
HFC-134a	1410
HFC-152a	122
CO ₂	1

Таблица 2. Эффективный коэффициент диффузии и коэффициент проницаемости

	Эффективный коэффициент диффузии, м ² /с	Коэффициент проницаемости, см ³ см/см ² см Нг с
CFC-12	5,10x 10 ⁻¹⁴	1,08 x 10 ⁻¹³
HCFC-142b	5,95x 10 ⁻¹⁴	1,26 x 10 ⁻¹³
HCFC-22	5,38x 10 ⁻¹²	1,14x 10 ⁻¹¹
HFC-134a	8,50x 10 ⁻¹⁴	1,80x 10 ⁻¹³
HFC-152a	2,55x 10 ⁻¹²	5,40x 10 ⁻¹²
N ₂	1,40x 10 ⁻¹⁰	2,90x 10 ⁻¹¹
O ₂	2,70x 10 ⁻¹⁰	2,10x 10 ⁻¹⁰

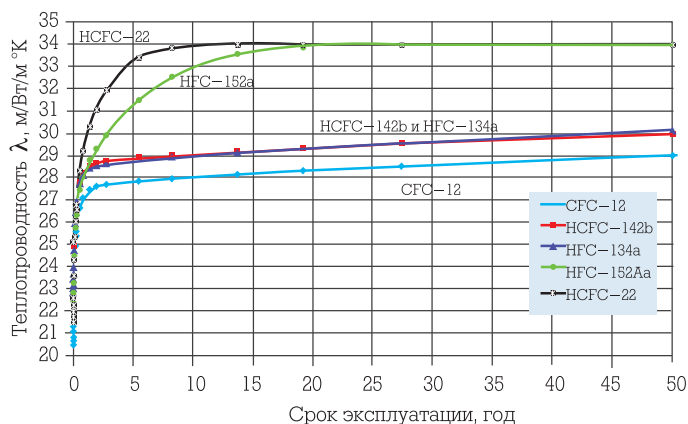


Рис. 1. Сравнительная диаграмма долгосрочных показателей теплопроводности плит XPS для различных типов ВА

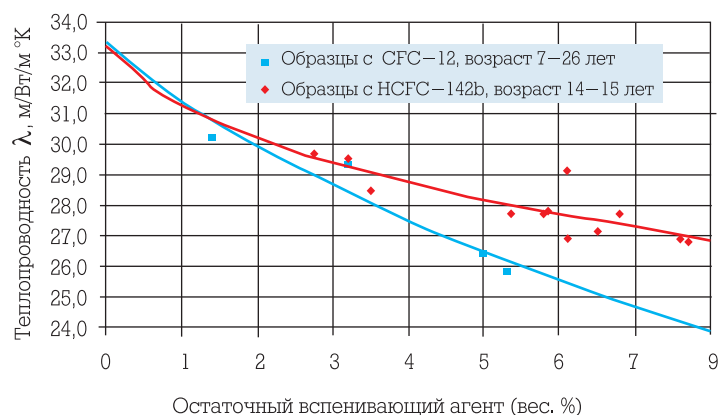


Рис. 2. Зависимость долгосрочной теплопроводности XPS от остаточной концентрации вспенивающего агента

очень близкими по значению в течение 50-летнего периода, однако CFC-12 обладает более низким значением теплопроводности.

CFC-12, HCFC-142b и HFC-134a, как видно из рисунка, прекрасно удерживаются в материале в течение десятилетий в результате низкой скорости диффузии этих газов (менее 1 % в год).

Транспортные характеристики газов, приведенные в табл. 2, использовались для создания компьютерной модели, позволяющей довольно точно прогнозировать термическое сопротивление плит XPS, вспененных различными ВА и находящимися в эксплуатации продолжительное время.

Несколько образцов XPS, вспененных с помощью CFC-12, были выбраны из разных приложений (крыш, стен и перекрытий).

Плиты были изготовлены в разное время в период между 1972 и 1989 г. одним из известных производителей XPS. Образцы обладали различной плотностью (32–36 кг/м³) и толщиной (25–100 мм). Концентрация ВА измерялась дважды (1997 и 2003 г.)

Плиты, вспененные с помощью HCFC-142b, были изготовлены в 1989 г. и хранились на складе предприятия – изготовителя.

По теории, чем больше концентрация ВА, тем меньше теплопроводность плит XPS. Экспериментальные кривые (рис. 2), подтверждают это.

Снижение концентрации ВА не является линейной функцией времени (возраста XPS). Непосредственно после изготовления скорость потери ВА оказывается очень высокой, однако со временем она снижается и стабилизируется. Скорость потери ВА в соответствии с физическими законами зависит от толщины материала и от транспортных свойств ВА. Например, чем тоньше материал или (и) выше коэффициент проницаемости вспенивающего агента, тем быстрее происходит потеря ВА из плит XPS.

В конце 1980-х гг. Национальный исследовательский совет Канады (NRC) разработал методологию оценки долгосрочных теплотехнических

характеристик вспененной теплоизоляции [5]. Целью проекта – разработка лабораторной экспресс-процедуры, в результате которой стало бы возможным предсказать долговременные теплотехнические показатели полимерной теплоизоляции, в частности, изготовленной из XPS, с использованием любого ВА. Подобная лабораторная процедура помогла бы сильно сократить время и стоимость разработки новых вспененных продуктов. Проект применялся для проверки компьютерной модели сплошной среды с распределенными параметрами, которую использовали для оценки жесткой кровельной теплоизоляции.

Испытательные конструкции были смонтированы с участием образцов различных вспененных продуктов, которые подвергались воздействию основных природных факторов в течение 2,5 лет. Образцы периодически снимались с кровли для измерения термического сопротивления в лабораторных условиях. В дальнейшем на ряде образцов термическое сопротивление измерялось и в полевых условиях.

Для разработки методологии оценки долговременных теплотехнических показателей, которая бы могла применяться ко всем видам XPS, независимо от условий их эксплуатации, типа используемого ВА, необходимо учитывать следующие аспекты оценки:

1. Систематические вариации физических свойств ячеистых пластиков, производимых промышленно. Из-за них характеристики материала, полученные на малых образцах, могут неверно характеризовать продукт.
2. Систематическая разница в характеристиках материала, измеренных на образцах, взятых с поверхности или «в глубине» исследуемого материала. Из-за неоднородной структуры материала характеристики, определенные на образце, взятом в «ядре» материала, могут неадекватно представлять продукт в целом.

3. Возможное воздействие факторов окружающей среды на процесс старения вспененной теплоизоляции. Из-за этого эффекта теплотехнические характеристики, измеренные в изотермических условиях, могут неверно представлять реальные характеристики материала, находящегося в полевых условиях. Таким образом, факторы окружающей среды могут вызвать еще большую разницу между теплотехническими показателями XPS, прогнозируемыми компьютерной моделью, и показателями, измеренными в процессе натуральных испытаний.

Результаты исследования показали, что факторы окружающей среды не оказали заметного влияния на процесс старения плит XPS.



Литература

1. Suh K., Killingbeck G. Styrene Polymer Foam and Preparation Thereof // Patent GB 1, 537, 421 (1978),
2. Harvey L.D. Net Climatic Impact of Solid Foam Insulation Produced with Halocarbon and Non-halocarbon Blowing Agents // Building and Environment, vol. 42, p. 2860–2879 (2007).
3. Gendron R., Huneault M., Tatibouet J., Vachon C. Foam Extrusion of Polystyrene Blown with HFC-134a // J. Cellular Polymers, vol. 21, p. 315–341 (2002),
4. Vo C.V., Paquet A.N. An Evaluation of the Thermal Conductivity of Extruded Polystyrene Foam Blown with HFC-134a or HCFC-142b // J. Cellular Plastics, vol. 40, p. 205–228 (2004).
5. Bomberg M., Kumaran M. Procedures to predict long-term thermal performance of boardstock foam insulations // NRC-IRC (1995).