

1. Материалы для монтажа (трубопроводы, воздухоотводчик, расширительный бак, циркуляционный насос, КИП, сбросной клапан и т. д.) необходимо подбирать из расчета на температуру 180–200 °С и соответствующий теплоноситель.

2. Выбранный незамерзающий теплоноситель должен обеспечивать многократные циклы вскипания в режиме стагнации и сохранять свои свойства при обратной конденсации.

3. После завершения монтажных работ необходимо проводить тепловизионное обследование для выявления дефектов целостности солнечных коллекторов и теплоизоляции. Особое внимание необходимо уделять мерам безопасности при эксплуатации.

### Литература

1. Рифкин, Д. Третья промышленная революция: как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом / Д. Рифкин; пер. с англ. В. Иванова. – 3-е изд. – М.: АНФ, 2016. – 409 с.

2. Покотилов, В. В. Гелиосистемы теплоснабжения жилых зданий для эксплуатационных условий Республики Беларусь: рекомендации по проектированию / Белорусский национальный технический университет, Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь; сост. Покотилов В. В., Рутковский М. А. – Минск: БНТУ, 2017.– 60 с.

3. Покотилов, В. В. Использование солнечной энергии для повышения энергоэффективности жилых зданий: справочное пособие / В. В. Покотилов, М. А. Рутковский. – Минск, 2015. – 64 с.

УДК 692.23

### **Некоторые результаты исследования теплопроводности пенополистирола при высоких значениях влажности**

Лешкевич В. В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены результаты исследований теплопроводности образцов пенополистирола, имеющих влажность выше максимальной сорбционной, при температуре около минус 10 °С.*

Традиционно в строительной науке исследуются свойства строительных материалов в сорбционной зоне увлажнения. Однако в практике встречаются случаи, когда в процессе многолетней эксплуатации ограждающей конструкции происходит накопление влаги внутри материалов.

Такая ситуация является еще более сложной при постоянной эксплуатации материала с высоким содержанием влаги в области отрицательных температур, что характерно для зданий промышленных холодильников.

Здания современных промышленных холодильников чаще всего проектируются и возводятся в виде несущего каркаса из металлоконструкций с самонесущими или навесными стенами из многослойных сэндвич-панелей с наружным и внутренним слоями из паронепроницаемых материалов (металла). Это позволяет предотвратить поступление влаги внутрь теплоизоляции и не допустить снижения теплозащитных качеств. Однако на практике часто возникает необходимость ремонта и модернизации ранее построенных находящихся в эксплуатации зданий промышленных холодильников, наружные конструкции которых представляют собой стены из паропроницаемых материалов с дополнительными слоями теплоизоляции. Разработка мероприятий для повышения теплозащитных качеств ограждающих конструкций таких объектов требует глубокого анализа, учитывающего тепловлажностное состояние.

В [1, 2] показано, что влажность пенополистирола теплоизоляционного слоя, расположенного со стороны холодной камеры под штукатурным слоем, может достигать значений, значительно превышающих максимальное сорбционное влагосодержание. Наличие существенного количества влаги может значительно изменить теплофизические характеристики материалов (в частности – их теплопроводности), что следует учитывать при выполнении проектных и строительных работ.

Получение информации о значениях коэффициентов теплопроводности при высокой влажности пенополистирола в лабораторных условиях связано с рядом трудностей, одной из которых является сложность доведения образца до требуемых значений влажности, так как ее фактические значения в условиях эксплуатации значительно превышают не только максимальное сорбционное влагосодержание данного материала, но и его водопоглощение.

В рамках данной работы образцы изъяты в условиях объекта из стены холодной камеры промышленного холодильника, рассмотренного в [1, 2] и упакованы непосредственно там же при температуре минус 20 °С. Транспортировка образцов осуществлялась в термоизолированной емкости в открытом кузове автомобиля при температуре наружного воздуха от минус 12 до минус 15 °С в течение одного часа. После доставки упакованные образцы были помещены на хранение в холодильную камеру с температурой минус 20 °С.

Определение коэффициентов теплопроводности выполнялось с помощью установки NETSCH HFM 436 Lambda при стационарном тепловом режиме. Перед началом измерений установка предварительно выводилась

на температурный режим – разность температуры между плитами 15 °С, средняя температура образца минус 10 °С. Таким образом температурный режим образцов был максимально приближен к их режиму эксплуатации в условиях объекта.

Полученные результаты представлены на рис.

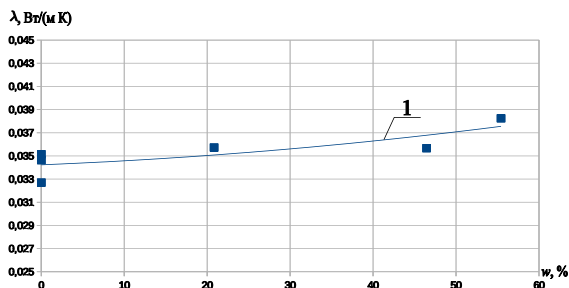


Рис. Теплопроводность пенополистирола при различных значениях влажности (по массе) при температуре минус  $10 \pm 0,5$  °С:

$$I - \text{аппроксимирующая кривая } \lambda = 5,555 \cdot 10^{-7} \cdot w^2 + 2,928 \cdot 10^{-5} \cdot w + 0,0342, \\ R^2 = 0,662; \blacksquare - \text{экспериментальные значения}$$

До и после определения теплопроводности контролировалась масса образца. Изменение влажности составило не более 0,4 % по массе. Средняя температура образца в процессе испытаний находилась в диапазоне от  $-9,5$  до  $-10,5$  °С.

Плотность исследуемых образцов находилась в пределах от 17,9 до 23,2 кг/м<sup>3</sup>, что соответствует марке ПСБ-С-25 [3].

Представленные результаты показывают, что не наблюдается существенного увеличения коэффициента теплопроводности пенополистирола при значительном увеличении влажности. Связано это с тем, что отдельные зерна полистирола после вспенивания представляют собой ячейки с закрытой пористостью. Кроме того, ввиду особенностей процесса накопления влаги при низкой температуре, пространство между ячейками заполняется рыхлым льдом, что влияет на увеличение коэффициента теплопроводности в меньшей степени, чем заполнение сообщающихся пор жидкой влагой или сплошным льдом.

## Литература

1. Тепловая защита и тепловлажностное состояние ограждающих конструкций зданий промышленных холодильников / А. М. Протасевич,

С. В. Сомова, А. Б. Крутилин, В. В. Лешкевич // Строительная наука и техника. – 2011. – № 6(39). – С. 42–45.

2. Особенности тепловлажностного режима ограждающих конструкций промышленного холодильника / А. М. Протасевич, С. В. Сомова, А. Б. Крутилин, В. В. Лешкевич // Научно-технический журнал Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 216–221.

3. Плиты пенополистирольные теплоизоляционные. Технические условия: ГОСТ 15588-86. – Введ. 1986-07-01. – Москва: Госстрой СССР, 1986. – 10 с.

УДК 697.3+697.9

### **Анализ возможностей применения аддитивных технологий в конструктивных элементах систем отопления и вентиляции**

Борухова Л. В., Летун Е. А.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Представлены результаты исследования возможностей аддитивного производства. Приведены результаты исследований в области применения аддитивного производства в элементах систем отопления и вентиляции*

Аддитивное производство (additive manufacturing) – это процесс изготовления деталей, который основан на создании физического объекта по электронной геометрической модели путем добавления материала, как правило, слой за слоем, в отличие от вычитающего (субтрактивного) производства (механической обработки) и традиционного формообразующего производства (литья, штамповки).

В настоящее время распространены различные технологии аддитивного производства имеющие свои достоинства и недостатки. Классификация и сравнение аддитивных технологий подробно рассмотрены в [1]. Далее приведены наиболее известные и развитые из них.

Нанесение термопластов (fused deposition modelling) – технология производства изделия путем выдавливания термопластичного материала и его послойной укладки. В технологии FDM используют различные пластики: ABS, PLA, поликарбонат, полиамид, полистирол, лигнин, а также композитные материалы на их основе. Достоинствами технологии является доступность и низкая стоимость, как и материалов, так и оборудования. Технология послойной фотополимеризации в ванной (Vat Photopolymerization) заключается в последователь-