

УДК 691

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Жаркенова Гүлнүр Есентайқызы

uralsk_gulnur88@mail.ru

Докторант 1-го курса кафедры «Проектирование зданий и сооружений»

ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – д.т.н., профессор Т.Т. Мусабиев

Зависимость теплопроводности от температуры становится практически значимой лишь при воздействии высоких температур. Теплопроводность в газовой фазе материала наименьшая и самая высокая в твёрдом состоянии. Теплопроводность в твёрдой фазе происходит за счёт транспортировки энергии потоком электронов и через молекулярных вибраций. В стабильном состоянии, теплопроводность является хорошим индикатором прохождения тепла через материал, а в нестационарном (переходном) состоянии распространение тепла через материал происходит быстрее. В нестационарном (переходном) состоянии данные по теплопроводности материала нужны, так как диффузия является функцией проводимости и объёмной теплоемкости. Теплопроводность обычно измеряется в установившемся состоянии, однако процесс является трудоемким и сложным, особенно в случае материалов с более высокой теплоемкостью. Более быстрый метод требует измерения теплопередачи в нестационарном состоянии, так как стационарное состояние не может быть достигнуто за короткий промежуток времени [1].

Количество тепла Q_x (в ккал), распространяющееся путем теплопроводности в направлении x , в течение единицы времени составит:

$$Q_x = -\lambda \partial t / \partial x \quad (1)$$

Знак минус (-) в выражении (1) означает, что для получения положительной величины Q_x температура в направлении x должна уменьшаться, а не возрастать. Величина $\partial t / \partial x$, называемая градиентом температуры, выражается в град/м; λ - коэффициент теплопроводности материала в ккал/м*ч*град.

В самом общем виде, при неустановившемся распространении тепла по всем трем осям координат, дифференциальное уравнение теплопроводности приобретает трехмерный вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left[\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right] = a \nabla^2 t \quad (2)$$

где $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - оператор Лапласа.

Методы. Измерение теплового потока и теплопроводности [3]:

Абсолютный метод: При определении теплопроводности, когда тепловой поток измеряется непосредственно на входе питания;

Сравнительный метод: При косвенном измерении теплового потока при определении теплопроводности.

Разность температур и проводимости:

Стационарное состояние: Когда градиент температуры не меняется во времени;

Не стационарное состояние: Когда градиент температуры меняется во времени.

Методы измерения теплопроводности в стационарном состоянии. Горячий бокс (hotbox) [4]. Методы калибровочного и защищенного горячего бокса используются в соответствии со стандартом BS EN ISO 8990:1996 (1998). Теплопроводность и сопротивление рассчитываются на основе входной мощности в измерительном боксе и полученной разницы температур между горячими и холодными сторонами бокса. Температуру воздуха можно использовать вместо температуры окружающей среды, когда нет существенной разницы между температурой воздуха и температурой излучения.

Откалиброванный горячий бокс (calibrated hotbox). Как показано на рисунке 1 слева, в откалиброванном горячем боксе оболочка горячего бокса состоит из материалов с высоким термическим сопротивлением, что обеспечивает минимальные потери тепла (Φ_3) через стенку измерительного прибора.

Стенки измерительного бокса теплоизолированные, воздуха- и паронепроницаемы. Термопилы используются для определения потерь тепла через стенки измерительных стенок, термопары - для измерения температуры поверхности образца, для подачи тепла рекомендуется использовать нагреватели электрического сопротивления. Температура в холодной камере контролируется холодильной установкой [4].

Защищенный горячий бокс. В защищенном горячем боксе, на рисунке 1, справа, измерительная камера окружена защитным слоем. Окружающая среда защищенного бокса контролируется для минимизации теплового потока через стенку ящика и бокового теплового потока в образце.

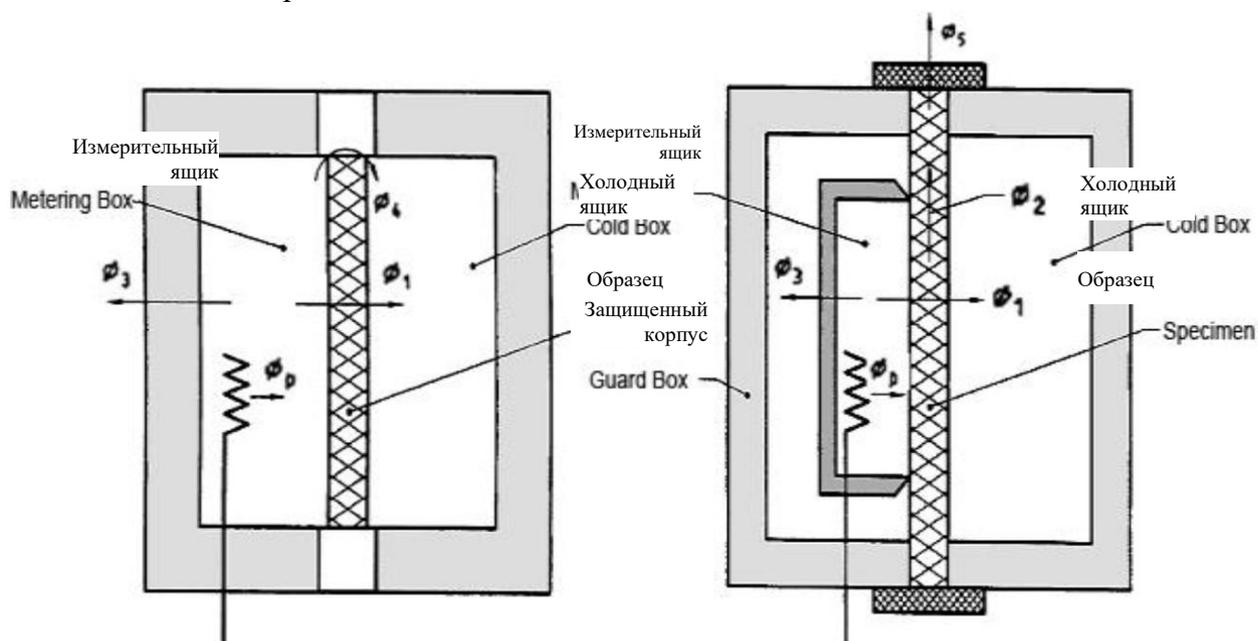


Рисунок 1 – Калиброванная и защищенная горячая коробка (BS EN ISO 8990:1996, 1998)

Определение разницы температур может быть затруднено. Если термическое сопротивление образца намного выше, чем его поверхностное термическое сопротивление, или если принудительная конвекция используется таким образом, что h_c больше, чем Eh_p , то разница температур воздуха в горячей и холодной боковых камерах приводит к незначительным погрешностям в измерениях. Во всех остальных случаях необходимо учитывать разницу температур окружающей среды [5].

Защищенная горячая пластина и измеритель теплового потока. Горячие и холодные поверхности горячей пластины и измеритель теплового потока находятся в непосредственном контакте с изоляционными поверхностями, которые устраняют

необходимость измерения теплоты излучения. Критический вопрос заключается в том, как расходы тепла и температурные перепады точно измерены. Горячая плита и расходомер тепла используют различные методы для измерения расхода тепла в соответствии со стандартом BSEN 12667: 2001(2002) [3].

Защищенный аппарат с горячей пластиной. В данном случае расход тепла определяется от мощности, потребляемой нагревателем. В защищенной горячей плите два образца зажаты между центральным нагревательным устройством плоской плиты и двумя периферийными охлаждающими устройствами плоской плиты. Нагревательный блок имеет в центре измеритель и два защищенных блока с обеих сторон. Охлаждающий блок аналогичен по размерам нагревательному блоку. Расход тепла определяется путем измерения средней мощности электроснабжения, подаваемой в зону измерения. Разница температур может измеряться с помощью поверхностных термопар нагревательных и охлаждающих агрегатов [6].

Аппарат для измерения теплового потока. Здесь плотность потока тепла вычисляется путем измерения теплового потока через изоляционные материалы с помощью счетчиков теплового потока. Затем измеренный тепловой поток умножается на калибровочный коэффициент для получения плотности потока тепла [6].

Нестационарные (переходные) методы. Нестационарный метод горячей проводки используется для измерения тепловой проводимости жидкостей и низкой теплоемкости материала по проводимости. Здесь проводимость может быть получена как функция температуры, времени и тепла, без коэффициента диффузии и расстояния. Математическая модель метода горячего провода основан на предположении, что горячая проволока является источником непрерывной линии и по обеспечению постоянной тепловой мощности за счёт тепловых импульсов генерируются цилиндрические коаксиальные изотермы в бесконечно гомогенном виде [7].

Теплопроводность строительных материалов определяется стационарными и нестационарными (переходными) методами. Приборы "Горячий бокс", "Горячая пластина" и приборы измерения теплового потока требуют много времени, требуют большего количества образца и не очень точны в измерении влагозависимой проводимости. Однако эти методы надежны при измерении сухой теплопроводности. Данные стационарных методов являются более быстрыми. Нестационарные методы удобны для регулярного измерения проводимости; влагозависимая проводимость может быть измерена без серьезного влияния на градиент влажности, однако этот метод не подходит для неоднородных материалов.

Список использованных источников

1. Строительная теплофизика/ Под ред. В.М.Ильинский, Изд-во Высшая школа 1974.
2. BSEN 12429, "Теплоизоляционные изделия для применения в строительстве: Соотношение влажности и равновесия при заданных температурных и влажностных условиях." BritishStandardInstitute, 1996.
3. BSEN 12667:2001, "Тепловые характеристики строительных материалов и изделий при определении термического сопротивления с помощью метода защищенных горячих пластин и счетчика теплового потока - Сухие и влажные изделия с высоким и средним термическим сопротивлением", BritishStandardsInstitute, 2002.
4. BSENISO 8990:1996, "Теплоизоляция - Определение стационарных теплопередающих свойств - Калиброванный и охраняемый горячий ящик", BritishStandardsInstitute, 1998.
5. Clarke, J. A., Yaneske, P. P. "Рациональный подход к гармонизации тепловых свойств строительных материалов." BuildingandEnvironment, 44, 2009, pp. 2046-2055.
6. Xamán, J., Lira, L., Arce, J., "Анализ распределения температуры в аппарате с защищенной горячей пластиной для измерения теплопроводности", AppliedThermalEngineering, 29, 2009, pp. 617-623.

7. Lei, Z., Zhu, S., Pan, N., “Нестационарные (переходные) методы измерения тепловых свойств на волокнистых материалах”, *Journal of Heat Transfer*, 132, 2010, pp. 1-7.
8. BS EN 12429, “Thermal insulating products and Guarded hot box”, British Standards