

2. Котляр, Л. М. Организация самостоятельной работы по математике с помощью современных информационных технологий / Л. М. Котляр, Ж. И. Зайцева, Л. Б. Фоменко // *Фундаментальные исследования*. — 2004. — № 5. — С. 15—18.

3. Еришова, А. П. Концепция использования средств вычислительной техники в сфере образования: Информатизация образования. — Новосибирск, 1990. — 58 с.

4. Темуров, С. Ю. Методика организации самостоятельной работы студентов по курсу математического анализа с использованием информационных технологий / С. Ю. Темуров // *Молодой учёный*. — 2012. — № 6. — С. 428—431.

Материал поступил в редакцию 27.07.2013 г.

А. А. Сеницын, И. А. Суханов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вологодский государственный технический университет», Вологда, Российская Федерация

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ВЛАЖНОСТИ

Представлены зависимости теплопроводности от относительной влажности минеральной ваты на основе проведённых экспериментальных исследований и математических вычислений. Сопоставляются результаты исследования с данными зависимости теплопроводности от влажности, полученного в работе Б. Н. Кауфмана.

In this article the thermal conductivity depending on the relative humidity of mineral wool on the basis of experimental studies and mathematical calculations. We performed a comparison of the results with data on the thermal conductivity depending on the humidity, resulting in the BN Kaufman. The results of the work used to evaluate the effectiveness of the integrated thermal discharge areas with high humidity during the energy audit of the university buildings.

Ключевые слова: коэффициент теплопроводности, измеритель теплопроводности, теплоизоляционные материалы, термическое сопротивление, теплофизические параметры.

Key words: thermal conductivity, thermal conductivity meter, insulation materials, thermal resistance, thermal parameters.

Введение. Коэффициент теплопроводности является основным показателем теплоизоляционных материалов, он указан в государственных стандартах и паспортах к каждому материалу, но ввиду особенностей производственных процессов изготовления материалов, их хранения и монтажа возможны изменения физических свойств в связи с воздействиями различных факторов внешней среды. Таким образом, значение фактической теплопроводности в сравнении с проектной, может значительно отличаться, что может привести к увеличению теплотерь.

К. Ф. Фокин [1] считал, что самой трудной и ответственной частью теплотехнических расчётов ограждающих конструкций является правильный выбор расчётных значений теплопроводности материалов, входящих в конструкцию. При этом важную роль играет влажность материала. При эксплуатации теплоизоляционных плит из минеральной ваты влажность плиты может быть изменена в ходе неправильного хранения, транспортировки, монтажа, а также воздействия условий окружающей среды (осадки, влажность воздуха). Поэтому при проведении энергообследований эффективности теплозащиты ограждающих конструкций зданий и сооружений требуются достаточно точные методики определения теплопроводности материала, в том числе экспресс-методы определения теплопроводности материала в зависимости от его влажности.

Основная цель работы — выявление зависимостей теплопроводности волокнистых теплоизоляционных материалов от их влажности. Механизм распространения тепла теплопроводностью зависит от физических свойств тела. Отметим, что теплопроводность минераловатных изделий складывается из трёх составляющих: теплопроводности волокон, теплопроводности воздушной среды и влаги, находящихся между волокнами, а также передачи тепла лучеиспусканием [2].

Обзор исследований. Теплопроводность теплоизоляционных материалов увеличивается при увеличении влажности. Причиной этого является то, что в процессе увлажнения материала воздух в его поровом пространстве замещается водой, теплопроводность которой значительно больше теплопроводности воздуха. При этом при одной и той же влажности теплопроводность может быть различной, так как различно распределение воды в поровом пространстве материала и механизмы увлажнения [2].

Г. Н. Дульнев [3] предложил модели увлажнения пористых тел, однако вычисление по формулам практически не представляется возможным, так как применяются параметры, численные значения которых для реальных теплоизоляционных материалов не известны, а также не известны методы их определения.

Теоретическое моделирование процесса теплопереноса через влажные пористые материалы представляет собой весьма сложную задачу и, как правило, в практике проектирования не применяется. Поэтому очень важными являются экспериментальные исследования зависимости теплопроводности теплоизоляционных материалов от влажности, что оказывает существенное влияние на теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий и сооружений.

Измерение теплопроводности влажных строительных материалов представляет собой сложную научно-техническую задачу. В. Н. Богословский [4] теоретически исследовал процесс измерения теплопроводности влажных строительных материалов при стационарном тепловом режиме. Им доказано, что при высоких влажностях образца (выше максимально сорбционной)

ошибка измерения уменьшается с увеличением его влажности. При этом Б. Н. Кауфман [5] экспериментально показал, что основная потеря влаги испытываемым образцом происходит на стадии установления стационарного температурного поля и рабочие замеры плотности теплового потока можно проводить до окончания процесса перераспределения влаги в образце.

В заключение обзора отметим, что многие исследователи в работах [3—5] настоятельно рекомендуют проводить измерение теплопроводности приборами, принцип действия которых основан на применении стационарного теплового режима.

Методика испытаний. Для определения теплопроводности воспользуемся измерителем теплопроводности ИТС-1 «150», в котором заложен метод стационарного теплового потока по ГОСТ 7076-99.

Для определения теплопроводности были заготовлены образцы — параллелепипеды с линейными размерами 150 × 150 мм и толщиной 5...25 мм. Определение геометрических размеров образцов выполнялось по ГОСТ 17177-94. Основной целью эксперимента стало выявление зависимости теплопроводности образцов, изготовленных из каменной ваты на основе базальтовых пород фирмы ROCKWOOL ЛАЙТ БАТТС® от их относительной влажности.

Экспериментальное оборудование лабораторного стенда для испытаний теплоизоляционных материалов включало в себя: линейку металлическую по ГОСТ 427-75, штангенциркуль по ГОСТ 166-89, весы ТУ 64-1-44-76, железные ножницы, нож с длинным лезвием, распылитель, пакеты типа «ziplock» с контролем вскрытия и измеритель теплопроводности ИТС-1 «150».

В качестве опытных образцов взята изоляция ROCKWOOL ЛАЙТ БАТТС® ТУ 5762-004-45757203-99. Образцы имели правильную геометрическую форму, однородную структуру, на них отсутствовали загрязнения и посторонние включения.

Образцы предварительно просушены при температуре 50°C в течение 24 часов. Увлажнение осуществлялось при помощи распылителя, равномерно смачивая водой все поверхности образцов, после чего каждый упаковывался в полиэтиленовые пакеты типа «ziplock» и укладывались в сушильную установку с температурой 50°C на 24 часа. Вследствие герметично закрытого контура пакета и теплового потока вода, испаряясь, пропитывала равномерно весь образец. Непосредственно перед началом определения теплопроводности увлажнённого образца он извлекался из пакета, взвешивался на весах, при этом определялась его относительная влажность. Для каждого образца проводилось три измерения и один контрольный.

Результаты расчётно-экспериментальных исследований. Были соотнесены сводные результаты измерений и вычислений по определению

зависимости теплопроводности от относительной влажности минеральной ваты. На основании этих данных определена зависимость теплопроводности минеральной ваты от относительной влажности.

Для математического описания результатов эксперимента в диапазоне влажности 0...25% можно предложить степенную функцию типа $\lambda = 0,03 W^{0,36}$ с величиной достоверности аппроксимации 0,87. Возрастание теплопроводности минеральной ваты при возрастании её влажности объясняется тем, что влага замещает воздух, расположенный между волокнами ваты, а теплопроводность воды гораздо больше, чем у воздуха.

Сопоставление результатов исследования выполнено с данными графика зависимости теплопроводности от влажности, полученного Б. Н. Кауфманом в работе [5]. При этом полученные зависимости практически полностью совпадают. Прогноз показал, что даже при достижении 50% влажности материала расхождение в значениях теплопроводности не превышает 0,01 Вт / (м · К).

Полученная зависимость была применена для комплексной оценки эффективности теплоизоляции бытового сооружения при проведении энергетического обследования учебного корпуса университета. Были определены контрольные точки замеров, с помощью влагомера измерены значения влажности минеральной ваты ROCKWOOL, температура наружного и внутреннего воздуха в помещении, и по укрупнённым показателям через уравнения теплопередачи многослойной стенки рассчитаны тепловые потоки, теряемые оранжереей в окружающую среду.

Заключение. Полученная зависимость может быть применена для определения теплопроводности минеральной ваты ROCKWOOL по экспериментальным данным измерения влажности в диапазоне 0...25% в качестве экспресс-метода оценки эффективности теплоизоляции эксплуатируемого здания и сооружения.

Список цитируемых источников

1. *Фокин, К. Ф.* Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин. — Изд. 4-е перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 1973. — 287 с.
2. *Киселев, И. Я.* Зависимость теплопроводности современных теплоизоляционных строительных материалов от плотности, диаметра волокон или пор, температуры // Строит. материалы. — 2003. — № 7. — С. 17—19.
3. *Дульнев, Г. Н.* Теплопроводность влажных пористых материалов / Г. Н. Дульнев, Д. П. Волков, В. И. Маларев // Инж.-физ. журн. — 1989. — Т. 56. — № 2. — С. 281—291.
4. *Богословски, В. Н.* Строительная теплофизика / В. Н. Богословский. — М. : Госиздат, 1970. — 376 с.
5. *Кауфман, Б. Н.* Теплопроводность строительных материалов / Б. Н. Кауфман. — М. : Стройиздат, 1955. — 207 с.

Материал поступил в редакцию 29.07.2013 г.