

ОБЗОР МЕТОДОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Фаткулина-Яськова Л.М., Волков А.Н.,
научный руководитель д-р техн. наук Назиров Р.А.
Инженерно-строительный институт
Сибирский федеральный университет**

Широко распространенным и эффективным методом теоретического исследования теплопроводности капиллярно-пористых материалов является принцип обобщенной проводимости, основывающийся на аналогии между дифференциальными уравнениями потока тепла и массы, электрического тока, магнитной и электрической индукции. Решение материаловедческих задач с использованием данного принципа оказывается наиболее эффективным, если оно сопровождается рассмотрением структуры материалов. Для легких бетонов это означает необходимость изучения пористости вяжущего и заполнителя, состава и свойств фаз, заполняющих эти поры; свойств и размеров заполнителя, его количества и расположения к направлению теплового потока; оценку влияния кондуктивной, конвективной и радиационной составляющих на эффективную теплопроводность бетона. Учет всех этих факторов, а также значительная их вариабельность вызывает интерес исследователей к теоретическому анализу и математическому описанию тепловых потоков многокомпонентных строительных материалов.

Подробный анализ моделей теплопроводности капиллярнопористых и дисперсных тел представлен в работе [1]. Автор в качестве простейшей модели для исследования теплопроводности рассматривает системы, состоящие из плоскопараллельных (рис. 1а) и перпендикулярных (рис. 1 б) слоев материала, имеющих различные коэффициенты теплопроводности. В [2, 3] рассмотрены реальные системы, в которых элементарные слои материала могут располагаться под углом к направлению теплового потока (рис. 1в). По данным авторов средняя ошибка между расчетом по этой модели и экспериментальными данными не превышает 5% .

В практических расчетах нашла применение модель эффективной теплопроводности (ЭТП) двухкомпонентных систем с полностью случайным распределением компонентов. Авторы [4] рассматривают расчет ЭТП двухфазных композиций, который согласуется с экспериментальными результатами оценки эффективной теплопроводности дисперсных систем и моделью двухфазных, дисперсных гранулированных материалов, которые модифицируется для твердой фазы.

Максвелл [5] рассматривает модель для оценки теплопроводности системы, состоящей из изотропной среды, в которую вкраплены частицы сферической формы (рис. 1г).

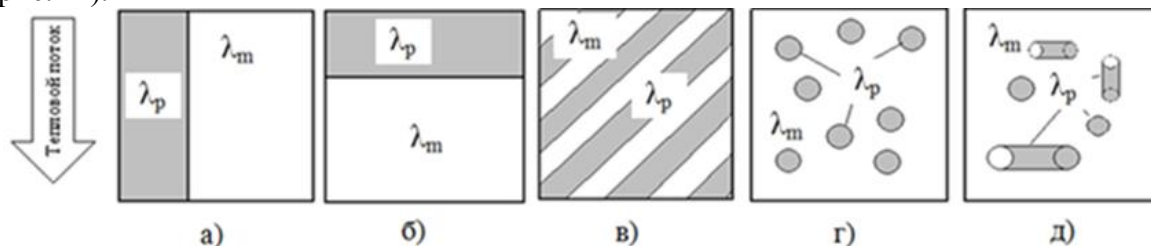


Рис. 1. Системы для исследования теплопроводности материалов

Модель Максвелла получена в предположении случайного распределения сферических частиц малых размеров вдали друг от друга в пределах непрерывной матричной фазы так, чтобы местные искажения теплового потока вокруг каждой из частиц не оказывали взаимного влияния. Эта модель стала основой для разработки моделей, учитывающих искажения изолиний теплового потока вокруг теплоизоляционных частиц, а также их формы. В связи с этим интересна модель Hamilton-Crosser [6], который рассматривает частицы среды в форме цилиндров (рис. 1д). Для расчета теплопроводности твердой фазы материала, можно использовать формулу Максвелла – Эйкена.

Известна формула В.И. Оделевского, полученная для расчета проводимости матричной двухфазной гетерогенной системы. Эта формула получена для двухфазной системы, имеющей включения в виде правильных кубов с параллельными ребрами, центры которых образуют кубическую решетку. Также автор описывает системы, в которых частицы распределены хаотически, без образования регулярных структур.

Р.И. Гаврильевым [7, 8] предложен метод расчета для двухфазных систем. Значения теплопроводности материала, полученные при использовании данного метода расчета близки со значениями проводимых экспериментов.

Зависимость теплопроводности бетона от теплопроводности его составляющих и содержания заполнителя исследована С.М. Ицковичем [9] на примере кубических моделей раствора и заполнителя. Модель представляла собой кубическую ячейку из цементного раствора, внутри которой находится заполнитель такой же формы.

Авторы [10], вывели формулу для расчета теплопроводности бетона, рассматривая элементарную ячейку бетона в виде сферы (рис. 2).

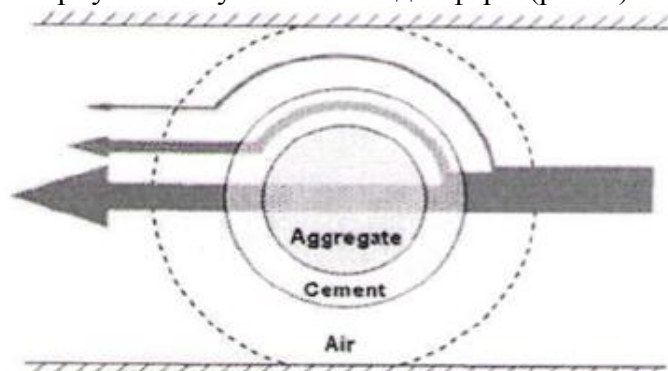


Рис. 2. Модель движения теплового потока упрощенной структуры бетона [10]

В работе показано, что результаты расчета имеют высокую точность, что подтверждено экспериментальным путем.

Б.И. Кауфман в своей работе [11] эмпирическим путем вывел формулу зависимости ЭТП от плотности и диаметра пор, которая также позволяет получить точные значения теплопроводности.

Таким образом, решение материаловедческих задач с использованием методов теоретического анализа и математического описания тепловых потоков многокомпонентных строительных материалов можно получить расчетным путем по приведенным выше методам с высокой точностью получаемых результатов, что подтверждается экспериментальным путем. При теоретическом расчете теплопроводности материалов сложной структуры можно использовать простейшую модель в виде элементарной ячейки. Авторами определены зависимости теплопроводности материалов от различных параметров, благодаря чему стало возможным предсказывать изменение теплофизических свойств материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лыков А.В. Тепломассообмен (Справочник). – М., «Энергия», 1971. – 550 с.
2. Verma L.S., Shrotriya A.K., Singh R., Chaudhary D.R. Prediction and measurement of effective thermal conductivity of three-phase systems // J. Phys. D: Appl. Phys. 24, 1991. – P. 1515-1526. Printed in the UK.
3. Jagjiwanram, Singh R. Effective thermal conductivity of highly porous two-phase systems // Applied Thermal Engineering 24, 2004. – P. 2727-2735.
4. Goual M.S., Bali A., Queneudec M. Effective thermal conductivity of clayey aerated concrete in the dry state: experimental results and modeling // J. Phys. D: Appl. Phys. 32, 1999. – P. 3041-3046. Printed in the UK.
5. Wang M., Pan N. Predictions of effective physical properties of complex multiphase materials // Materials Science and Engineering R 63, 2008. – P. 1-30.
6. Hamilton R.L., Crosser O.K. Thermal conductivity of heterogeneous two component systems // Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals 1, 1962. – P. 187-191.
7. Гаврильев Р.И. Особенности изучения теплофизических свойств грунтов с крупнообломочными включениями // Инж. геология, 1986, № 5. С. 60-71.
8. Гаврильев Р.И. Теоретические оценки теплопроводности сегрегационного льда // Научный журнал Криосфера Земли, т. XII, № 2, 2008. – С. 40-46.
9. Ицкович С.М., Чумаков Л.Д., Баженов Ю.М. Технология заполнителей бетона // Учеб. Пособие для строительных вузов. – М., Высш. шк., 1991. – 272 с.
10. Wong J.M., Glasser F.P., Imbabi M.S. Evaluation of thermal conductivity in air permeable concrete for dynamic breathing wall construction // Cement & Concrete Composites 29, 2007. – P. 647-655.
11. Кауфман Б.И. Теплопроводность строительных материалов // Государственной изд-во по строительству и архитектуре. – М., 1955. – 157 с.