



УДК 697.137.2

РАСЧЕТ ПАРОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ АНАЛОГИИ

Афонин А.В.

Брестский государственный технический университет

В настоящее время разработано большое количество теоретических методов определения коэффициента теплопроводности пористых материалов [1,2]. Простейшие из них, основанные на рассмотрении моделей двухкомпонентной структуры и применении метода обобщенной проводимости, имеют вид зависимости эффективной теплопроводности $\lambda_{эфф}$ от теплопроводностей непрерывной λ_n и диспергированной λ_d компонент и пористости Π :

$$\lambda_{эфф} = F(\lambda_d, \lambda_n, \Pi), \quad (1)$$

При этом под пористостью понимается отношение объема V_n непрерывной компоненты к объему V_0 всего тела:

$$\Pi = \frac{V_n}{V_0}, \quad (2)$$

Как известно, между процессами теплопроводности и диффузии газов существует полная аналогия [3]. Таким образом, коэффициенту теплопроводности λ можно поставить в соответствие коэффициент паропроницаемости μ .

сти μ и получить соответствующее соотношение при сохранении геометрии модели:

$$\mu_{\text{эфф}} = F(\mu_n, \mu_0, V_n), \quad (3)$$

где $\mu_{\text{эфф}}$ — эффективный коэффициент паропроницаемости;

μ_n и μ_0 — коэффициенты паропроницаемости непрерывной и диспергированной компоненты;

$V_n = V_n/V_0$ — относительный объем непрерывной компоненты.

Важным частным случаем соотношения (3) будет модель, в которой под непрерывной компонентой понимается воздух с известным коэффициентом паропроницаемости $\mu_0 = 0.083$ г/(м·ч·мм рт. ст.), заполняющий поры, а под диспергированной компонентой — скелет тела с коэффициентом паропроницаемости, равным нулю. В этом случае величину V_n следует заменить на так называемую эффективную пористость $\Pi_{\text{эфф}}$, равную отношению объема $V_{\text{эфф}}$ взаимосоединяющегося (или эффективного) порового пространства к объему всего тела V_0 :

$$\Pi_{\text{эфф}} = \frac{V_{\text{эфф}}}{V_0}, \quad (4)$$

Далее вместо $\Pi_{\text{эфф}}$ будем писать просто Π .

Таким образом, учитывая соображения размерности, будем иметь формулы вида

$$\mu = F(\mu_0, 0, \Pi) = \mu_0 f(\Pi), \quad (5)$$

которые довольно просты и могут быть использованы для вычисления коэффициента паропроницаемости, исходя из значения эффективной пористости. Пористые тела, состоящие из материала однородной структуры будем называть гомогенными.

Предполагается, что для гетерогенных тел, состоящих из двух или более видов материалов, либо будут сначала использоваться формулы вида (5) для вычисления коэффициентов паропроницаемости каждого материала в отдельности, если известны значения эффективных пористостей, либо коэффициенты паропроницаемости будут найдены экспериментально. Затем полученные коэффициенты будут комбинироваться с помощью формул вида (3), исходя из величины относительного объема непрерывной компоненты.

Приведем примеры формул вида (3), аналогичных имеющимся в литературе [1,2] формулам вида (1), а также вытекающие из них формулы вида (5).

1. В качестве простейшей гетерогенной системы рассматривается система, состоящая из чередующихся друг с другом плоских слоев непрерывной и диспергированной компонент, причем слои могут быть расположены как перпендикулярно направлению диффузионного потока, так и параллельно ему. В первом случае эффективная паропроницаемость системы будет минимальной и определяется выражением

$$\mu_{\text{эфф}}^{\min} = \frac{\mu_{\delta}\mu_{\text{н}}}{v_{\text{н}}\mu_{\delta} + (1-v_{\text{н}})\mu_{\text{н}}}, \quad (6)$$

Во втором случае эффективная паропроницаемость системы будет максимальной и равной

$$\mu_{\text{эфф}}^{\max} = v_{\text{н}}\mu_{\text{н}} + (1-v_{\text{н}})\mu_{\delta}, \quad (7)$$

Для гомогенных пористых тел будем иметь в соответствии с (5):

$$\mu^{\min} = 0, \quad (8)$$

$$\mu^{\max} = \mu_{\text{в}}\Pi, \quad (9)$$

Эти соотношения ввиду исключительности описываемых ими предельных случаев и игнорирования характера структуры могут служить лишь для обозначения того диапазона, в котором должны лежать реальные значения коэффициентов паропроницаемости.

2. Максвелл получил соотношение, аналогичное следующему:

$$\mu_{\text{эфф}} = \mu_{\text{н}} \left[\frac{\mu_{\delta} + 2\mu_{\text{н}} - 2(1-v_{\text{н}})(\mu_{\text{н}} - \mu_{\delta})}{\mu_{\delta} + 2\mu_{\text{н}} + (1-v_{\text{н}})(\mu_{\text{н}} - \mu_{\delta})} \right], \quad (10)$$

предполагая, что частицы диспергированной компоненты имеют сферическую форму и расстояние между ними велико по сравнению с размерами частиц.

Соответствующая формула вида (5) для гомогенной системы имеет вид:

$$\mu = \mu_{\text{в}} \frac{2\Pi}{3-\Pi}, \quad (11)$$

3. Бругман вывел соотношение, которое применимо для расчета проводимости смесей, состоящих из сферических частиц:

$$1 - v_{\delta} = \frac{\mu_{\delta} - \mu_{\text{эфф}}}{\mu_{\delta} - \mu_{\text{н}}} \left(\frac{\mu_{\text{н}}}{\mu_{\text{эфф}}} \right)^{2/3}, \quad (12)$$

где $v_{\delta} = 1 - v_{\text{н}}$ - относительный объем диспергированной компоненты.

Для гомогенного пористого материала получаем

$$\mu = \mu_0 \Pi^3 \quad (13)$$

4. В модели с взаимопроникающими компонентами

$$\mu_{эфф} = \mu_0 c^2 + \mu_n (1-c)^2 + \frac{2\mu_0 \mu_n c(1-c)}{\mu_n c + \mu_0 (1-c)} \quad (14)$$

где c - геометрический параметр модели, связанный с относительным объемом непрерывной компоненты уравнением

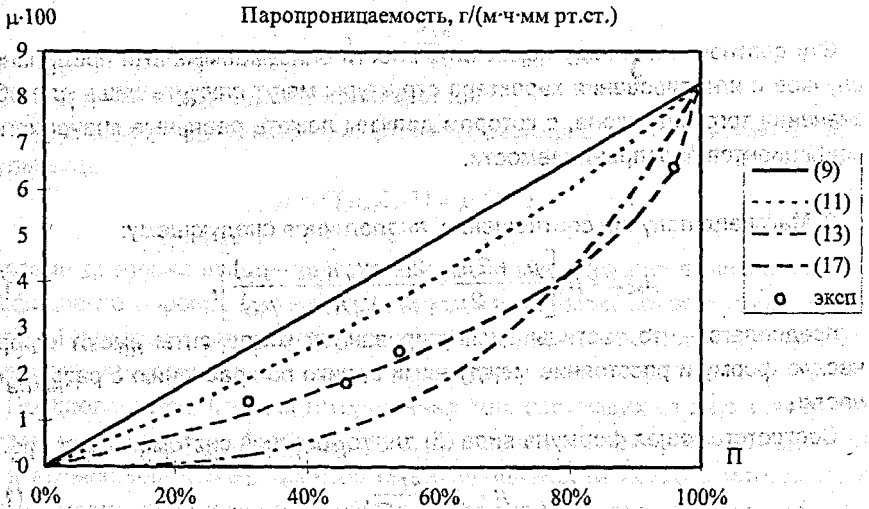
$$v_n = 2c^3 - 3c^2 + 1, \quad (15)$$

решение которого имеет вид

$$c = \frac{1}{2} - \sin \left[\frac{\arcsin(2v_n - 1)}{3} \right] \quad (16)$$

Для гомогенного материала будем иметь

$$\mu = \mu_0 \left\{ \frac{1}{2} + \sin \left[\frac{\arcsin(2\Pi - 1)}{3} \right] \right\}^2 \quad (17)$$



Рисунок

Для идентификации полученных моделей были использованы опытные данные [4] для материалов, которые можно характеризовать как материалы с взаимопроникающими компонентами. На рисунке показаны зависимости коэффициента паропроницаемости μ от пористости Π согласно формулам

(9), (11), (13) и (17); а также данные эксперимента. Численные значения экспериментальных данных и вычислений по формуле (17) для материалов с взаимопроникающими компонентами приведены в таблице.

Таблица

Материал	Пористость П	Коэффициент паропроницаемости $\mu \cdot 10^2$ г/(м·ч·мм рт.ст.)	
		Формула (17)	Эксперимент
Плотный машинный кирпич	31%	1,14	1,4
Слабопористый кирпич	46%	1,86	1,8
Пористый кирпич	54%	2,30	2,5
Стекланная вата	96%	6,42	6,5

Как видно из рисунка и таблицы, предложенная для расчета коэффициента паропроницаемости формула (17) достаточно точно предсказывает опытные данные и может быть использована для расчета коэффициента μ пористых строительных материалов при комнатных условиях. В дальнейшем предполагается обобщение моделей на случай различного температурного и влажностного состояния материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Л.Л., Танаева С.А. Теплофизические свойства пористых материалов. - Мн., "Наука и техника", 1971. - 268 с.
2. Лыков А.В. Тепломассообмен (Справочник). - М., "Энергия", 1971. - 560 с.
3. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. - Мн., Изд-во Академии Наук БССР, 1961. - 520 с.
4. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. - 4-е изд., М., Стройиздат, 1973. - 287 с.