

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ СМЕСИ ПОРИСТЫХ СРЕД И ИХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА СОПРЯЖЕННЫХ ЗАДАЧ РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА НА ЕЕ ОСНОВЕ.

*Степанова Э.В., Грэбе А.К. Хоменко О.И.
(Одесса)*

В работе приводятся результаты исследования теплопроводности модельного слоя смеси пористых материалов и непрерывной фазы наполнителя. Результаты исследования применены к решению задач скоростных методов переноса тепла при радиационном теплообмене в системе с подвижной границей фазового перехода во внутрь слоя на заданную глубину за заданное время обработки.

В различных отраслях промышленного производства, в том числе в производстве строительных материалов, широкое применение находят различные дисперсные материалы – гравий, керамзиты, угли, руды и т.д. При производстве, складировании, транспорте и в технологических процессах они образуют пористые среды, во внутрь объема пор которых попадают различного рода наполнители. При этом образуется смесь пористого материала и непрерывной фазы наполнителя. Последний может пребывать как в твердой, жидкой и газообразной фазах. С целью разделения смесей они подвергаются различным видам термообработки. Частным случаем такого разделения может являться – оттаивание и размораживание. Эти процессы широко применяются при перевалке грузов большой тоннажности (порты, базы, электростанции) с целью разгрузке вагонов в единой технологической цепи.

Учитывая нарастание грузовых потоков, здесь внедряется высокоинтенсивные скоростные методы термообработки, обеспечивающие повышение технического уровня и качества транспортно-погрузочных технологий. В основе их лежит радиационный теплообмен.

Опуская описание постановки задач одномерного процесса переноса теплоты в системе, состоящей из твердой стенки (борт вагона), пористого слоя материала и непрерывной фазы наполнителя, укажем только, что она относится к сопряженным задачам нестационарного теплообмена с фазовым переходом и подвижной границей фазовых превращений.

Одним из фундаментальных понятий при этом является сопротивление переноса энергии, в основе которого лежит теплопроводность смеси пористых материалов и непрерывной фазы наполнителя. Понятие теплопро-

водности смесей, $\lambda_{см}$, само по себе условно, поскольку смесь не представляет сплошную среду в классическом понимании. Тем не менее, отсутствие экспериментальных данных по конкретным техническим смесям заставляет обратиться к теоретическим и эмпирическим зависимостям. Для решения задачи был выбран модельный слой пористого материала (уголь), средний по физическим данным различных месторождений. Физические параметры слоя и наполнителя следующие:

Материал: Плотность, $\rho_{нас} = 560,0 \text{ кг/м}^3$

Порозность, ϵ ,

(объем пустот в слое) = 0,5

Теплоемкость, $C_m = 1,30 \text{ Вт/кгК}$

Теплопроводность, $\lambda_{см} = 0,6704 \text{ Вт/мК}$

Влажность, $W, \%$

(массовые) = 15,5 %

Заполнитель: Вода, H_2O , в фазовых состояниях.

Смеси:

$M + S$ – лед (тв).

$M + L$ – жидкое (ж).

$M + П$ – пары (H_2O)

Заполнитель: Воздух

$M + G$ – газ (воздух)

Физические параметры образовавшихся смесей, плотность, $\rho_{см}$, теплоемкость, $C_{см}$, теплопроводность $\lambda_{см}$, определялись по закону аддитивности:

$$X_{см} = \sum_1^2 X_i g_i \quad X_{см} = \sum_1^2 X_i r_i$$

где состав g, r_i – массовый, объемный.

Теплопроводность смеси затем рассчитывалась по теоретическому уравнению Рассела [1], а для систем $M + G(П)$ – по уравнению Якоба [1].

Согласно уравнению Рассела теплопроводность смеси составляет:

$$\frac{\lambda_{см}}{\lambda_{н.ф}} = \frac{\nu \cdot \epsilon^{2/3} + 1 - \epsilon^{2/3}}{\nu \left(\epsilon^{2/3} - \epsilon \right) + 1 - \epsilon^{2/3} + \epsilon}$$

где $\lambda_{см}, \lambda_{н.ф}$ – коэффициенты теплопроводности смеси и непрерывной фазы, Вт/мК

$V = \frac{\lambda_{пор}}{\lambda_{н.ф}}$ – относительный коэффициент теплопроводности собственно материала (перегородок);

ϵ – порозность, объемная доля пустот.

Для систем M + G – формула может быть упрощена:

$$\frac{\lambda_{см}}{\lambda_{н.ф}} = \frac{1}{1 - \epsilon^{2/3}}$$

По эмпирической зависимости Якоба теплопроводность пористого тела, заполненного воздухом, определяется:

$$\lambda_{см} = \lambda_{тв} \frac{1 - \epsilon}{1 + \epsilon/2}$$

	$\lambda_{см}, \text{Вт/Мк}$		
	M + S	M + L	M + G
По Расселу (от 6% - 15%)	1,4152	0,6655	0,2590
По Якобу	–	–	0,2682
По закону аддитивности: $g_1 = 0.45$ $g_2 = 0.55$	1,4125	0,6572	0,3807
$\frac{\Delta \lambda_{см}}{\lambda_{см}} \cdot 100\%$	+0,19	+1,25	- 28,0

Полученные значения коэффициентов теплопроводности позволили рассчитать определяющие величины процесса радиационного теплообмена, реализуемого в технических производственных устройствах. Опуская математическую формулировку конкретной задачи (нестационарного радиационного теплообмена в указанной системе со смещающейся вглубь слоя границы фазового перехода) приведем конечный результат интегрирования:

$$\Delta \bar{t}_{(\tau)} = \frac{r \cdot \rho_{л} \cdot \epsilon_{см} \cdot L_{к}^2}{\lambda_{(\tau)см} \cdot \tau \cdot 2}$$

где $\rho_{л}$, r – плотность и скрытая теплота фазового перехода заполнителя, кг/м^3 , кДж/кг ;

ε - порозность модельной смеси;

L_k – глубина термообработки слоя, м;

τ - время термообработки, с.

При интегрировании использованные в расчете данные по коэффициентам теплопроводности позволили вычислить коэффициент теплопроводности модельной смеси с фазовым переходом заполнителя и провести осреднение по формуле:

$$\bar{\lambda}_{(\tau)см} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \lambda(\tau) d\tau$$

Это позволило проинтегрировать расчетное дифференциальное уравнение и вычислить $\Delta \bar{t}_{(\tau)}$, средний по времени термообработки рабочий температурный напор развиваемый на стенке для передачи тепла фазового перехода на заданную глубину, $L_{см}$, в течении заданного времени, τ . Так для толщины слоя $L_{см} = 0,02$ м, $t = 1200$ с = 20 мин, $\Delta \bar{t}_{(\tau)} = 49,8^\circ\text{C}$. Так же определялось распределение $\Delta t = f(\tau)$ Укажем также, что набор при указанных выше данных составляет $t_{\tau_{н}} = 94^\circ\text{C}$, $t_{\tau_{к}} = 136,0^\circ\text{C}$.

Литература

1. Дж. Перри. Справочник инженера-химика, т. 1. Перевод с англ. Л: Химия, 1969. С640
2. Степанова Э.В. Обобщение данных по исследованию массообмена в различных процессах при обработке материалов в неподвижном и псевдооживленном слое в системе твердое тело – газ. //Весці АН БССР. Сер. Физ-энерг.наук. 1986. №4 с.90-95
3. Степанова Э.В. Проблемы интенсификации процессов тепломассообмена в дискретных средах двухфазных потоков. Вісник ОДАБА. Збірник наукових праць. Випуск №1 Одеса, “Місто майстрів” 2000
4. Степанова Э.В., Мостовой Г.В., Лавецкий С.К. Радиационный теплообмен и методы расчета прогрессивных технологий на его основе. Сборник материалов 59 ежегодной научн-техн. конференции. Секция ТГСВ. Одесса: ОГАСА, 2001 с.12-13.