

по теплофизическим характеристикам сыпучих строительных материалов, можно оценить интенсивность контактного нагрева в рациональной зоне сушильного барабана, решить вопросы надежности и долговечности лопаток и определить оптимальный диаметр барабана.

Л и т е р а т у р а

1. Неусихин И.Я., Зарецкая А.Д. Рациональное заполнение сушильных барабанов смесителей и оптимальная система эвакуации дымовых газов. — В кн.: Всесоюз. производств.-техн. семинар "Повышение качества материалов, применяемых при строительстве и ремонте город. дорог": Тез. докл. М., 1979, с. 33–34. 2. Гарбер М.Р. Основные направления в современном зарубежном асфальтосмесителестроении: обзорная информация ЦНИИТЭстроймаш. — М., 1978. — 47 с. 3. Процессы тепло- и массопереноса в кипящем слое/Под ред. А.П. Баскакова. — М., 1978. — 248 с. 4. Гарнашев И. Г.С. Исследование процесса теплопроводности строительных сыпучих материалов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Минск, 1974. — 25 с. 5. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. — М., 1973. — 552 с. 6. Botterill I.S.M., Williams I.R. The mechanism of heat transfer to gas-fluidised beds. — Trans. Instn. Chem. Engrs., 1963, Vol. 41, p. 217–230. 7. Комбинированный численный метод определения проводимости составных тел/ Г.Н. Дульнев, М.А. Еремеев, Ю.П. Заричняк, Е.Н. Колтунова. — ИФЖ, 1977, т XXXII, № 2, с. 284–289.

УДК 536.2

И.Я. Неусихин, *канд.техн.наук*,
А.Д. Зарецкая, *мл.науч.сотр.*
(БПИ)

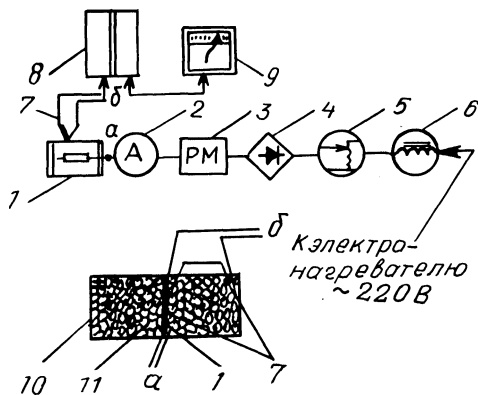
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЫПУЧИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Целый ряд аппаратов работает по принципу кратковременного контакта зернистого слоя с поверхностью нагрева. При теплотехнических расчетах таких аппаратов, например барабанных сушилок заполнителей горячих бетонов, промышленных печей и др., необходимо знать коэффициенты переноса засыпок в нестационарном режиме. В связи с малым временем контакта частиц с поверхностью ($Fo_1 < 0,1 - 0,2$) толщина граничного слоя отличается от принятой в [1] для стационарных условий. Поэтому возникает необходимость экспериментально определить коэффициенты теплопереноса сыпучих строительных материалов при нестационарном режиме как для основного, так и граничного слоя, причем последний определяющий. Необходимость экспериментального исследования объясняется также тем, что имеющиеся в литературе данные по теплофизическим характеристикам крупнодисперсных материалов отличаются большим разбросом и в сильной степени зависят от метода их определения. Это было отмечено рядом авторов [1,2 и др.] и мо-

жет быть объяснено двухслойной конструкцией сыпучей системы. Экспериментально получаемые теплофизические характеристики зависят как от продолжительности опыта, так и от толщины исследуемой засыпки. Разделение сыпучих материалов на граничный и основной слои позволяет упорядочить опытные данные.

При комплексном экспериментальном определении теплофизических характеристик сыпучих строительных материалов нами был применен метод плоского источника постоянной мощности [3]. Этот метод выбран потому, что разработанный для него математический аппарат позволяет по температуре нагревателя определять λ , c , ρ граничного и b основного слоев [4]. Для реализации метода была собрана экспериментальная установка (рис. 1).

Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования контактного нагрева сыпучей системы: 1 – электронагреватель; 2 – амперметр; 3 – ступенчатый регулятор мощности; 4 – выпрямитель; 5 – лабораторный автотрансформатор; 6 – стабилизатор; 7 – батарея дифференциальных термопар; 8 – усилитель постоянного тока измерительный И-37; 9 – самописец И-37; 10 – форма для сыпучего материала; 11 – сыпучий материал.



Плоский нагреватель был изготовлен из нихромовой проволоки толщиной 0,2 мм, прошитой поперек стеклонитью. На нагревателе была размещена батарея дифференциальных хромель-копелевых термопар с толщиной проводов $\delta = 0,1$ мм. Холодные спаи термопар были размещены на противоположном от нагревателя конце засыпки. Для жесткости нагреватель пропитан кремнийорганическим лаком. Засыпки нагревались в течение 2–3 мин, так как при дальнейшем нагревании начинают сказываться боковые утечки тепла и результаты имеют большую погрешность. Для различных фракций это соответствует значению $Fo < 1,0$. На засыпку подавался постоянный тепловой поток плотностью $q = 100$ Вт/м². При этом учитывалась собственная теплоемкость нагревателя, определенная по формуле

$$m_H c_H = \sum m_i c_i, \quad (1)$$

где $m_H c_H$ – масса и теплоемкость нагревателя; $m_i c_i$ – масса и теплоемкость отдельных компонентов, т.е. на основании аддитивности вкладов всех компонентов $c_H = 1,33$ кДж/(кг·К).

Для создания постоянного теплового потока на засыпку с учетом теплоемкости нагревателя было осуществлено ступенчатое регулирование подавае-

мой на нагреватель мощности. Ступени силы тока рассчитывались по формуле [5]:

$$I_i = \sqrt{\frac{2qS}{R} \left(\frac{A}{\sqrt{\tau_{i-1}} + \sqrt{\tau_i}} + 1 \right)}, \quad (2)$$

где I_i – ступени силы тока; q – плотность теплового потока; S – площадь поверхности нагревателя; R – электрическое сопротивление нагревателя; τ – время; A – параметр, $A = \frac{m\eta c\eta}{bS\sqrt{\pi}}$; b – коэффициент тепловой активности.

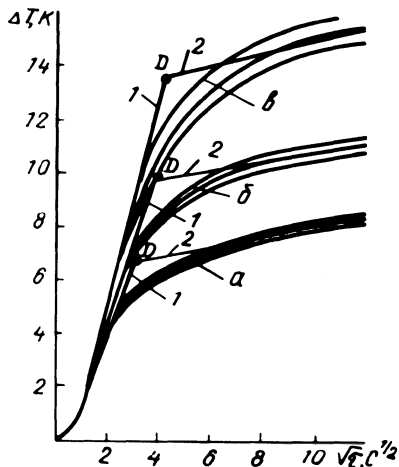


Рис. 2. Зависимость температуры нагревателя от времени при контакте с засыпкой гравия:

а – фракция 2,5–5; б – 5–10; в – 10–20; 1 и 2 – аппроксимирующие двухслойную конструкцию прямые.

Результаты эксперимента представлены на рис. 2. Как видим, для различных фракций экспериментальные данные характеризуются различным разбросом. Это объясняется количеством контактов частиц с нагревателем. У фракций меньших размеров (2,5–5,0) число контактов больше, чем у фракций 5–10 и 10–20. Поэтому случайное формирование контактов сказывается здесь меньше. Экспериментальные данные обрабатывались на основании зависимостей для двухслойных конструкций [4]. Температура поверхности при граничных условиях 2-го рода с постоянным тепловым потоком определяется по формуле

$$T(0, \tau) = \frac{2q\sqrt{\tau}}{b_1} \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-h)^n \operatorname{ierfc} \frac{n}{\sqrt{Fo_1}} \right], \quad (3)$$

где T – температура; Fo_1 – критерий Фурье, $Fo_1 = \frac{\lambda_1 \tau}{\rho_1 \delta_1^2}$; λ_1 , ρ_1 , δ_1 ,

b_1 – коэффициент теплопроводности, объемная теплоемкость, толщина и коэффициент тепловой активности граничного слоя; $h = \frac{b_2 - b_1}{b_2 + b_1}$; b_2 – коэффициент тепловой активности основного слоя; d – диаметр частицы.

Исходя из этого, были определены значения b_1 по наклону аппроксимирующей прямой 1 (рис. 2)

Таблица 1

Фракция, мм	$d_{cp} = \frac{d_{max} + d_{min}}{2}$, мм	δ_1 , мм	λ_1 , $\frac{Вт}{(м \cdot К)}$	$c\rho_1$, $\frac{кДж}{(м^3 \cdot К)}$	b_1 ,	b_2 ,
					$\frac{Вт}{(м^2 \cdot К \cdot с^{0,5})}$	$\frac{Вт}{(м^2 \cdot К \cdot с^{0,5})}$
2,5-5	3,7	1,1	0,03	112,0	58	632
5-10	7,5	1,95	0,034	62,2	46	664
10-20	15,0	3,75	0,039	33,2	37	730

$$b_1 = \frac{2q\sqrt{\tau}}{T\sqrt{\pi}} \quad (4)$$

Значения b_2 получены по формуле

$$b_2 = b_1 \frac{1+h}{1-h} \quad (5)$$

Параметр h определен по углу наклона прямой 2 (рис. 2) с помощью номограммы [4]. Используя характерную точку D (пересечение прямых 1 и 2), определялись значения $c\rho_1$ и λ_1 граничного слоя:

$$c\rho_1 = \frac{4q\tau^D}{\pi T D \delta_1}; \quad (6)$$

$$\lambda_1 = \frac{q \delta_1}{T D} \quad (7)$$

Все теплофизические характеристики определялись для усредненных по каждой фракции кривых. При этом были оценены случайная и систематическая погрешности метода. Результаты обработки опытных данных приведены в табл. 1. Полученные данные можно использовать для расчетов контактного нагрева исследованных сыпучих материалов.

Литература

1. Гарнашевич Г.С. Исследование процесса теплопроводности строительных сыпучих материалов. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Минск, 1974.—25 с. 2. Сигалова З.В. Анализ экспериментальных данных по теплопроводности зернистых систем. — В кн.: Исследования по теплопроводности. Минск, 1967, с. 245—255. 3. Вержнская А.Б., Новиченок Л.Н. Новый универсальный метод определения теплофизических коэффициентов. — ИФЖ, 1960, т. III, № 9, с. 65—69. 4. Неусихин И.Я. Определение теплофизических характеристик двухслойных конструкций методом плоского нагревателя постоянной мощности. — ИФЖ, 1979, т. XXXVI, № 6, с. 1110—1111. 5. Неусихин И.Я., Чичкин А.М. Учет теплоемкости нагревателя при определении теплофизических характеристик исследуемого материала в начальной стадии развития теплового режима. — В кн.: Исследование явлений переноса в сложных системах. Минск, 1974, с. 198—203.