

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ НЕКОНСОЛИДИРОВАННЫХ ПОРИСТЫХ СРЕД

В. И. СЕСЬ, В. С. КАРИХ

(Представлена научным семинаром НИИ ЭИ)

Использование формулы коэффициента фильтрации вида [1]

$$k = \frac{\varepsilon^2}{5 S_0 (1 - \varepsilon)^2},$$

в основе вывода которой лежит понятие гидравлического радиуса, приводит к большим погрешностям (до 100%), здесь ε — пористость, S_0 — удельная поверхность.

Величина погрешности объясняется тем, что математическая модель фильтра отражает свойства случайной упаковки сфер одного диаметра. Плотность такой модели, отношение объема твердой фазы v_r ко всему объему упаковки не может быть более 0,74... при систематической укладке и для случайных упаковок — не более 0,63 [3]. Для реальных структур с произвольным распределением гранул по размерам плотность может как угодно близко приближаться к единице.

Для изучения коэффициента фильтрации может использоваться цифровая модель, в которой внутренняя структура фильтра моделируется случайной упаковкой сфер, размеры которых имеют ту же функцию распределения, что и гранулы фильтра.

Такая модель конструируется на ЦВМ и затем на ней рассчитываются необходимые параметры упаковки. Основным недостатком цифровой модели является ограниченность памяти вычислительных машин и значительное количество машинного времени, необходимого для конструирования модели.

В работе [4] предлагается для ускорения расчета заменить исходную упаковку, заданную размерами и частотой фракций, системой тетраэдров. Такая система получится при соединении отрезками центров контактирующих между собой сфер в исходной упаковке.

В настоящей работе описывается эксперимент по определению зависимости скорости фильтрации воздуха через слой золы от гранулометрического состава золы и проводится сравнительный анализ результатов эксперимента с расчетными данными, полученными по методике, описанной в работе [5].

Эксперимент

Фильтрация воздуха осуществлялась через навеску золы в 100 г заданного гранулометрического состава. Навеска помещалась в ци-

цилиндрический контейнер с постоянным диаметром и уплотнялась поршнем до получения слоя одной высоты во всех наблюдениях. Затем воздух из резервуара ограниченного объема с начальным давлением p_0 выпускался в атмосферу через описанный фильтр. При наблюдениях измерялось время, в течение которого давление в резервуаре снижалось до p_t . Во всех наблюдениях p_0 и p_t были постоянными. Давление в резервуаре изменяется со временем приблизительно по экспоненциальному закону [5]:

$$p_t = p_0 e^{-kt}, \quad (2)$$

где k — коэффициент фильтрации, t — время; или $t = ck^{-1}$, здесь $c = \lg p_t / \lg p_0$ — постоянное для всех наблюдений. Следовательно, экспериментально оценивалось время, величина которого обратно пропорциональна коэффициенту фильтрации.

Условия наблюдений приведены в табл. 1, где r_i — средний размер гранул порошка i -й фракции в $\mu\text{к}$ а f_i — относительная частота этих гранул в штуках.

Таблица 1

Средний размер гранул r_i , $\mu\text{к}$	Относительные частоты f_i			
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4
25	140	70	140	280
56	37,5	6,5	12,5	12,5
81	20	—	4	—
130	1	1	1	1

Эксперимент планировался для построения градуировочной кривой, а не из условий оптимальности его проведения, поэтому выбраны соответствующие составы.

Результаты измерений и расчетные приведены в табл. 2. В графе 1 табл. 2 приведены номера опытов, условия которых заданы в табл. 1. Во 2-й и 3-й приведены расчетные удельная поверхность и плотность, t — наблюдаемое время фильтрации.

Таблица 2

Номер опыта	S_0	ρ	t	σ_t	T	Δ
1	3,96	0,8068	1,67	0,08	1,64	0,03
2	4,56	0,8380	1,92	0,07	1,98	0,06
3	4,81	0,8219	2,27	0,10	2,14	0,13
4	6,44	0,8145	3,03	0,09	3,06	0,03

Дисперсионный анализ эксперимента позволил пренебречь вторым параметром структуры, плотностью ρ для данных условий. Следует отметить, что степень уплотнения порошка во всех наблюдениях была одна и та же, поэтому изменение плотности и удельной поверхности объясняется гранулометрическим составом. Плотность упаковки зависит лишь от относительных размеров гранул в данном эксперименте и не может служить однозначной оценкой фильтрационных способностей материала.

По результатам эксперимента построено уравнение регрессии S_0 на T , которое имеет следующий вид:

$$T = 0,238 S_0^{1,4}, \quad (4)$$

где T — время фильтрации, S_0 — удельная поверхность, рассчитанная на цифровой модели. Время фильтрации, найденное из выражения (4), и отклонение его от наблюдаемого Δ приведены в графе 6 и 7 табл. 2. Отклонение наблюдаемых значений от расчетных не превышает 6%, результаты регрессионного анализа и величина отклонений показывают, что между временем фильтрации и удельной поверхностью, вычисленной на цифровой модели, существует тесная регрессионная зависимость.

Обсуждение результатов эксперимента

Результаты эксперимента показывают, что метод тетраэдров можно успешно использовать для оценки величины удельной поверхности. Экспериментальное обоснование применения данного метода для расчета плотности структуры приведено в работе [6].

На основании этого можно сделать заключение о корректности использования метода тетраэдров [4] для оценки геометрических параметров случайных структур и особенно для нахождения оптимального по какому-либо параметру структуры (по плотности, удельной поверхности, числу соседей и т. п.).

Данному методу присущи все преимущества цифровых моделей: незначительная трудоемкость эксперимента, короткий срок его проведения, возможность получения любой информации о геометрии структуры и при моделировании другого объекта нет необходимости в координальной перестройке модели.

Недостатком модели является абстрагирование ее от формы минералогического состава и состояния поверхности гранул, образующих структуру и получение смещенных оценок параметров. Эти недостатки требуют в некоторых случаях введения коэффициентов, необходимость которых отпадает при нахождении относительных значений параметров структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Э. Шейдеггер. Физика течения жидкостей через пористые среды. М., Гос. научно-техническое изд-во нефтяной и горнотопливной литературы, 1960.
2. Л. Ф. Тот. Расположение на плоскости, на сфере и в пространстве. М., Госиздат физико-математической литературы, 1958.
3. Scott C. D., Nature, vol. 188, N 4754, p. 908, 1960.
4. В. А. Воробьев, В. И. Сесъ. Известия ТПИ, т. 251, Томск, Изд-во Томского университета, 1970.
5. Л. С. Лейбензон. Собрание трудов. Т. II, М., АН СССР, 1953.
6. В. А. Воробьев, И. Э. Наац, В. И. Сесъ. Известия вузов, «Архитектура и строительство», Новосибирск, № 10, 1970.