

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ О ПАРАМЕТРАХ ФОРМУЛЫ ЭРГАНА

В. Г. АЙНШТЕЙН, Г. А. ДАВТЯН и Р. В. ГРИГОРЯН

Институт общей и неорганической химии АН Армянской ССР, Ереван

Поступило 26 V 1977

Исследовано сопротивление неподвижного слоя зернистого материала при различных температурах процесса в диапазоне от 20 до 500°C в условиях ламинарного течения воздуха через слой. Обнаружено, что с ростом температуры уменьшается численный множитель формулы Эргана. Сделана попытка качественного объяснения отмеченного явления на основе изменения активной поверхности трения с температурой.

Рис. 1, библи. ссылок 3.

Широкое распространение имеют химико-технологические процессы, в которых зернистый материал используется в виде неподвижного, движущегося и взвешенного слоя (аппараты с псевдооживленным слоем, смесители, питатели и дозаторы, бункеры, барабанные аппараты, пневмо- и гидротранспорт и др.).

Наряду с тепловыми, массообменными и другими технологическими характеристиками данные о гидродинамических характеристиках зернистого материала необходимы также при математическом моделировании химико-технологических процессов.

В настоящее время для расчета скорости начала псевдооживления зернистого материала представляется предпочтительной формула Тодеса с сотр. из-за большей общности и отсутствия различных поправочных множителей для различных режимов движения оживающего агента (при выводе формулы авторы воспользовались уравнением Эргана [1] для перепада давления при движении газа через неподвижный зернистый слой в широком диапазоне изменения числа Рейнольдса, охватывающем ламинарный и турбулентный режимы). Однако ее применимость для ряда промышленных зернистых материалов (в данном случае для алюмосиликата) требует экспериментальной проверки.

Одной из гидродинамических характеристик неподвижного слоя является зависимость модифицированного коэффициента сопротивления $f_m \equiv g \Delta P d \varepsilon_0^3 / H_0 \gamma w (1 - \varepsilon_0)$ от числа Рейнольдса $Re \equiv wd/\nu$, которая в соответствии с формулой Эргана [1] может быть представлена в виде

$$f_m \equiv A \frac{1 - \varepsilon_0}{Re} + B \quad (1)$$

где g —ускорение силы тяжести; H_0 —высота рабочего участка неподвижного слоя, на котором измеряется сопротивление ΔP ; d —диаметр частиц; ε_0 —порозность неподвижного слоя; w —скорость потока в расчете на сечение незаполненного аппарата; γ и ν —удельный вес и кинематическая вязкость потока.

Опыты проводились на экспериментальной установке, представляющей собой металлическую цилиндрическую колонку диаметром 67 мм, общей высотой 630 мм с сетчатой газораспределительной решеткой большого гидравлического сопротивления, собранной на базе экспериментальной установки КС-105 [2]. На боковой поверхности колонны было предусмотрено присоединение импульсных трубок для измерения перепада давления в неподвижном слое. Колонка была изолирована от окружающей среды и посажена непосредственно на газораспределительную решетку, через которую снизу продувался вентилятором воздух низкой или повышенной температуры.

Зернистый материал загружали в колонну и измеряли высоту неподвижного слоя с помощью специального измерителя, установленного внутри колонны. Это позволяло с помощью известных соотношений рассчитать порозность неподвижного слоя ε_0 . Постепенно увеличивая подачу воздуха от нулевого расхода до максимально возможного (определяемого границами ламинарного режима), регистрировали показания приборов; скорость воздуха в расчете на полное сечение аппарата w находили по показаниям реометра, а перепад давления ΔP на рабочем участке неподвижного слоя (высота участка— H_p)—по показаниям дифференциального манометра (в качестве последнего использовали двухжидкостный манометр, заполненный подкрашенной водой и бензолом)

Границы диапазона расхода воздуха определяли по формуле

$$Q = \frac{F_a \cdot Re \cdot \nu \cdot T_a}{\alpha \cdot T_{ca}} \quad (2)$$

где F_a —площадь полного поперечного сечения аппарата, T_{ca} и T_a —абсолютные температуры воздушного потока в неподвижном слое и реометре, соответственно.

В ходе эксперимента задавался диапазон изменения числа Рейнольдса от 0,1 до 5,0. При таких значениях числа Рейнольдса обеспечивалось ламинарное течение воздуха через неподвижный слой зернистого материала.

При этом определяли порозность неподвижного слоя по формуле $\varepsilon_0 = 1 - (\gamma_n / \gamma_k)$ (где γ_n и γ_k —насыпной вес слоя и кажущаяся плотность частиц), высоту неподвижного слоя H_0 , сопротивление неподвижного слоя ΔP (по показаниям микроманометра) и w (по показаниям газового счетчика—реометра).

Нами проведен эксперимент при ламинарном $\left(B \ll A \frac{1 - \varepsilon_0}{Re} \right)$ восходящем движении воздуха через неподвижный слой сферических час-

тиц алюмосиликагеля (узкая фракция 1,0–1,50 мм), средний диаметр $d=1,25$ мм, кажущаяся плотность $1,27$ г/см³ при различных температурах (от 20 до 500°).

Результаты эксперимента, обработанные в манере формулы (1), образуют в логарифмических координатах семейство падающих прямых с наклоном 135° (рис. а). При этом с повышением температуры t множитель A (ордината при абсциссе $Re/(1-\varepsilon_0)=1$) систематически понижается (рис. б):

t (°C),	20	100	200	300	400	500
A ,	160	128	100	84	73	64

Примечательно, что при комнатной температуре найденное нами значение A практически совпадает с множителем Эргана, полученным статистической обработкой опытных данных ряда авторов [1].

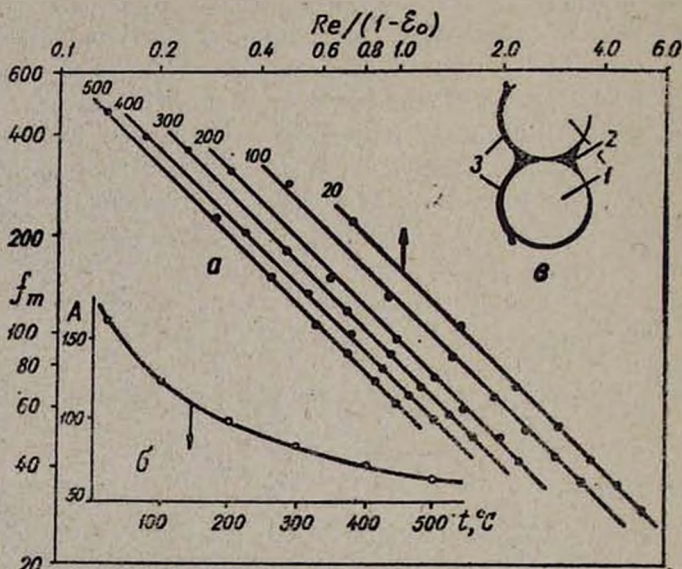


Рис. Влияние температуры на параметры формулы Эргана: а — зависимости $f_m = f(Re/1 - \varepsilon_0)$ при разных температурах, б — зависимость $A = f(t)$, в — модель обтекания соприкасающихся сфер. 1 — сферические частицы, 2 — застойные зоны, 3 — активная поверхность контакта частиц с потоком.

Согласно выводу формулы Эргана [3], множитель $A \equiv a/\cos^2 \varphi_0$ определяется извилистостью поровых каналов, характеризуемой средним углом φ_0 отклонения потока в слое от вертикального направления. Коэффициент a формально зависит только от принятого допущения о геометрической форме поперечного сечения эквивалентного канала. Если слой одинаковых сфер в ходе анализа считать эквивалентным системе прямых каналов круглого сечения, то $a=72$. Нетрудно показать, что средний по поверхности сферы угол $\varphi_0 \approx 32^\circ 40'$, $\cos^2 \varphi_0 =$

$=0.708$ и $A = 102$, не совпадает* с эмпирическим множителем Эргана $A = 153$. Это отличие указывает на существование некоторых эффектов, игнорируемых при анализе движения потока через неподвижный слой. Заметим, что при $t > 400^\circ$ множитель $A < 72$, что при $a = 72$ формально приводит к величине $\cos^2 \varphi_0 > 1(?)$. Этот факт также свидетельствует о недостатках теоретического анализа.

К числу неучтенных при анализе эффектов в первую очередь, вероятно, следует отнести принципиальное отсутствие гидродинамической стабилизации потока в извилистых каналах переменного сечения при движении газа (жидкости) через неподвижный слой. Нестабилизованный поток характеризуется повышенным гидравлическим сопротивлением по сравнению со стабилизированным, что и отражается возрастанием A от 102 до 150.

По поводу изменения параметра A с температурой могут быть высказаны следующие соображения.

Влияние температуры на физические свойства потока уже учтено в формуле (1). Попытка объяснить существенную зависимость A от температуры термическим расширением твердых частиц к успеху не приводит. По нашим оценкам, при повышении температуры от 20 до 500° диаметр частиц увеличивается менее чем на 1%.

Зависимость множителя A от температуры может быть вызвана наличием зоны малоподвижного газа в окрестности точки касания двух сфер (рис. в). Поверхность частиц в этой зоне практически не участвует в гидродинамическом взаимодействии с потоком. Вследствие возникновения конвективных эффектов с увеличением температуры уменьшается размер указанных зон и снижается поперечная неравномерность газового потока**. В результате закономерно уменьшается гидравлическое сопротивление неподвижного слоя, что и отражается в эксперименте понижением множителя A . Разумеется, вполне возможны и другие объяснения зависимости A от температуры.

ԷՐԳԱՆԻ ԲԱՆԱԶԵՎԻ ՈՐՈՇ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Վ. Գ. ԱՅԵՏԵՅՆ, Գ. Ա. ԴԱՎԹՅԱՆ և Բ. Վ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

1,0—1,5 մմ տրամագծով ալյումինիլիկազելի գնդիկներից բաղկացած անշարժ շերտում հիդրոդինամիկական կորուստների հետազոտությունը օդի բարձր շերմաստիճաններում ($20—500^\circ\text{C}$) ցույց տվեց, որ շերտի հիդրոդինամիկական դիմադրությունը կախված շերմաստիճանից նվազում է սահուն կորով, որը հակասում է էրգանի բանաձևին:

Վերջինս մենք բացատրում ենք բարձր շերմաստիճաններում օդի և շերտի մասնիկների միջև ընդգրկման մակերևույթի փոփոխությունը:

* Если эквивалентные прямые каналы трактовать как узкие щели, то теоретический расчет приводит к величине $A = 153$. Совпадение с эмпирической константой Эргана, разумеется, является случайным.

** Указано М. А. Гольдштаком.

ABOUT CERTAIN PARAMETERS OF THE ERGEN FORMULA

V. G. AINSHTEIN, G. A. DAVTIAN and R. V. GRIGORIAN

Investigations of hydrodynamic losses in the range of air temperatures from 20 to 500°C in the fixed bed composed of aluminosilica granules in diameters of 1,0—1,5 mm showed that the hydrodynamic resistance of the layer depends on the temperature and diminishes in such a manner which is not in accord with the Ergen's formula. An attempt was made to explain this on the basis of changes in the active surface between the air and the particles of the layer at high temperatures.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. S. Ergen, Chem. Eng. Progr., 48, 89 (1952).
2. Г. А. Давтян, В. Г. Айнштейн, Р. В. Григорян, М. Г. Амамян, Изв. АН Арм.ССР, серия техн. наук., 20, 5, 1976, стр. 36.
3. М. Лева, Псевдооживление, Гостоптехиздат, М., 1961, стр. 93.