

ГИДРАВЛИКА

Г. А. ДАВТЯН, В. Г. АЛИШТЕИН, Р. В. ГРИГОРЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ АППАРАТАХ С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Интенсивность процессов переноса тепла или вещества в значительной мере определяется движущей силой процесса, непосредственно связанной со структурой потока в системе. Только при учете этой структуры возможен обоснованный расчет процессов и построение модели переноса, позволяющей масштабировать аппаратуру для тепло- и массообменных процессов. Применительно к обработке зернистых материалов в псевдоожигенном слое, наиболее важным является вопрос гидравлической модели движения твердого материала, характеризующего интенсивность его перемешивания (прежде всего, в направлении перемещения).

Цель настоящей работы — определение параметров продольного перемешивания некоторых промышленных зернистых материалов в прямоугольном аппарате с псевдоожигенным слоем и качественная оценка характера влияния на них ряда параметров процесса. В табл. 1 приведены некоторые характеристики исследуемых зернистых материалов.

Таблица 1
Некоторые характеристики исследуемых зернистых материалов

Материал	Классификация по ГОСТ 1708-76	Фракция, средний размер, мм	Удельная плотность, г/см ³	Плотность в псевдоожигенном слое, г/см ³	Фактор формулы Ф
Алюмосиликатный порошок	1270	(1,0-1,5); 1,25	17,5	0,53	1,0
		(2,0-2,5); 2,25	19,5	0,56	1,0
Стекло	2380	(1,0-1,5); 1,25	22,9	0,51	0,91
Корунд	3500	(1,5-2,0); 1,75	25,3	0,46	0,91
Перлит	1600	(1,0-2,5); 2,25	35,3	0,50	0,65

Для определения параметров продольного перемешивания в псевдоожигенном слое была собрана установка (рис. 1), представляющая собой прямоугольную стеклянную камеру 1 длиной 600, шириной 30 и высотой 400 мм с сетчатой решеткой большого гидравлического сопла

тивления 2. При этом была предусмотрена возможность в ходе эксперимента изменять длину аппарата (площадь поперечного сечения решетки). Высота слоя во всех опытах составляла 60 мм.

Для стабилизации режима работы аппарата опыты проводились при установившемся движении псевдооживленного зернистого материала. Зернистый материал 3, засыпанный в аппарат, псевдооживляли потоком воздуха, нагнетаемым через респределительную решетку 2 вентилятором ВВД-8. Расход воздуха регулировали вентилем 5 и измеряли с помощью диафрагмы и дифманометра 6. Расход материала через аппарат (G_m) фиксировали взвешиванием порции частиц, выходящих из аппарата за известный отрезок времени.

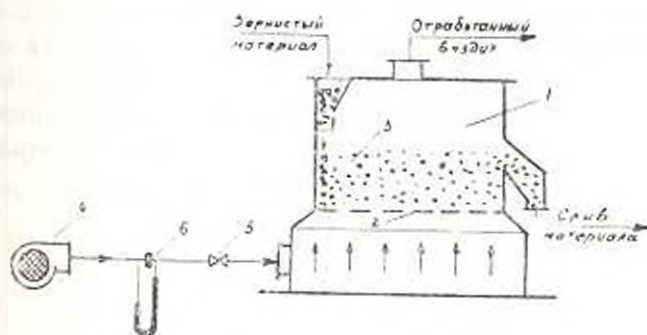


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — прямоугольная стеклянная камера; 2 — газораспределительная решетка; 3 — псевдооживленный слой зернистого материала; 4 — нагнетающий вентилятор высокого давления; 5 — регулирующий вентиль; 6 — диафрагма с дифманометром.

Детальная картина распределения скоростей элементов потока и концентраций в реальном аппарате весьма сложна. В этой связи исследование проводили, определяя функцию отклика системы на возмущающие воздействия.

Для каждого зернистого материала в качестве индикатора применяли меченые (окрашенные) частицы того же материала в количестве, не превышающем 5% от общей массы зернистого материала в аппарате G_m ; столь небольшое количество меченого материала сколь угодно заметно не нарушало постоянство гидродинамической обстановки системы. При этом возмущающие воздействия вносили в систему практически мгновенно, что позволяло воспользоваться в дальнейшем готовым математическим аппаратом, соответствующим вводу индикатора в систему в виде дельта-функции. На выходе из системы определяли изменение концентрации индикатора во времени, строили функции отклика и по ним определяли параметры продольного перемешивания.

На рисунках 2, 3, и 4 демонстрируется деформация кривых отклика $C^* = f(\theta)$ при изменении числа псевдооживления W , диаметра и плотности зернистых материалов (характеризуемых числом Архимеда Ar), относительной длины аппарата L/b .

Для оценки интенсивности продольного перемешивания в псевдоожигенном слое принимали однопараметрическую диффузионную модель:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = -u \frac{\partial C}{\partial y} + D_L \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}, \quad (1)$$

или в безразмерном виде:

$$\frac{\partial C^*}{\partial \theta} = - \frac{\partial C^*}{\partial y^*} + \frac{1}{Pe} \frac{\partial^2 C^*}{\partial y^{*2}}, \quad (2)$$

где C , τ и y — натуральные концентрации, время и продольная координата; $C^* = C/C_0$, $\theta = \tau/\tau_0$ и $y^* = y/L$ — те же величины в безразмерной форме; C_0 — опорная концентрация (в рассматриваемом случае — средняя концентрация индикатора сразу же после ввода его в систему); $\tau_0 = L/u = G_1/G_u$ — среднее время пребывания зернистого материала в аппарате; L — длина аппарата; D_L — коэффициент продольного перемешивания; $Pe = uL/D_L$ — число Пекле. Параметры (D_L , Pe) диффузионной модели по данным эксперимента определяли в следующем порядке [1].

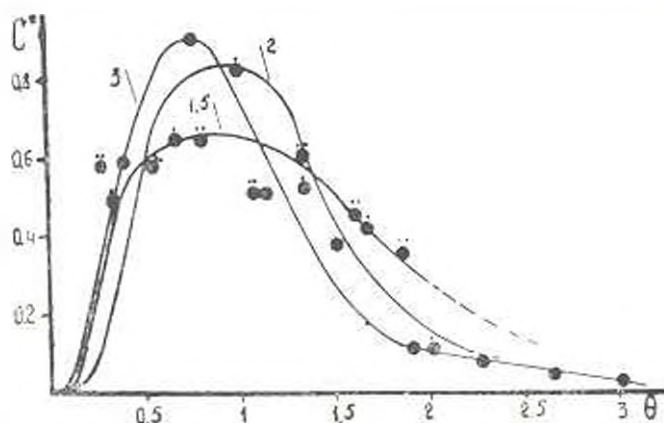


Рис. 2. Зависимость концентрации индикатора от времени (кривые отклика) для алюминосиликата фракции $2,0 \div 2,5$ мм при различных числах псевдоожигения W (цифры у кривых). $L/b = 20$, $Ar = 5,4 \cdot 10^5$.

Рассчитывали усредненные значения веса отбираемой пробы зернистого материала и приведенное количество частиц индикатора в пробе:

$$G^* = \left(\sum_{i=1}^m G_i \right) / m; \quad (3)$$

$$n^* = n_i G^* / G_i, \quad (4)$$

где G_i — вес i -ой пробы; m — число отбираемых проб в ходе опыта; n_i — число меченных частиц (индикатора) в i -ой пробе.

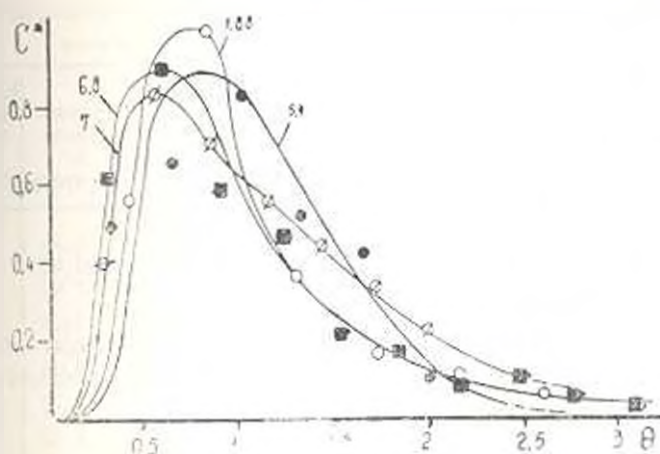


Рис. 3. Кривые отклика для различных материалов. Цифры у кривых — число Архимеда ($Ar \cdot 10^{-3}$). 20; 2; 5.1 — алюминосиликатовый; 6.8 — стекло; 7 — корунд; 1.85 — перлит.

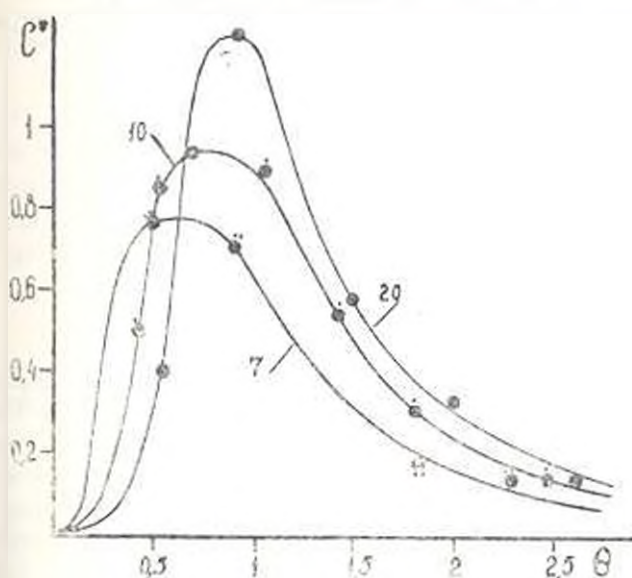


Рис. 4. Кривые отклика фракции 1,0–1,5 мкм для алюминосиликата в случае аппаратов различной длины (цифры у кривых — значения L/h). $W = 3$; $Ar = 2,54 \cdot 10^3$.

Мгновенное значение числа частиц индикатора в i -ой пробе вычисляли как

$$C_i = n_i / \Delta\tau, \quad (5)$$

где $\Delta\tau$ — интервал отбора проб.

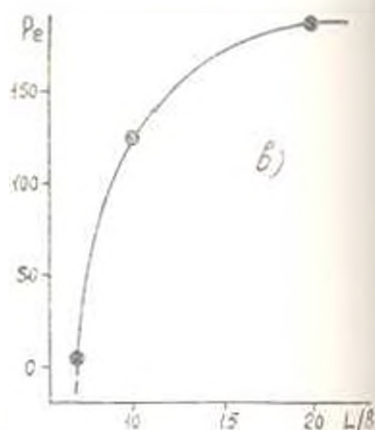
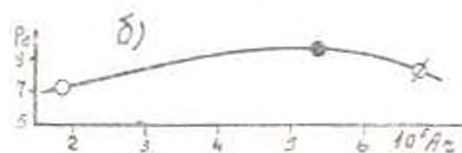
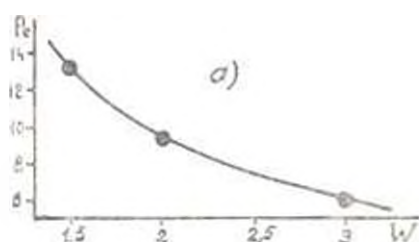
Функцию распределения определяли по формуле:

$$C(\tau) = \frac{1}{\tau} \cdot \frac{C}{C_0} = \frac{C}{\sum C \Delta\tau}. \quad (6)$$

Таблица 7

Результаты обработки экспериментальных данных

Материал	Фракции, средний размер, мм	$\frac{l}{h}$	Число псевдооживлений, Ц	Среднее время пребывания частиц в аппарате, мин	Число Пекле, Pe	Коэффициент продольного перемешивания, D , м ² /час
Алюминат кальция	(1,0-1,50), 1,25	7	1,0	4,37	6,70	0,0805
		10	3,0	7,00	121,00	0,0063
		20	3,0	7,10	157,00	0,0214
		20	1,5	11,27	13,28	0,1140
		20	2,0	9,60	9,11	0,2540
		20	3,0	5,30	6,04	0,0670
Стекло	(2,0-1,50), 2,25	20	2,0	4,62	7,10	0,6580
Корунд	(1,0-1,50), 1,25	10	2,0	6,93	8,13	0,3420
Поран	(2,0-1,50), 2,25	20	2,0	6,51	7,15	0,9890

Рис. 5. Зависимости числа Пекле (Pe)

а) от параметра W для алюмината кальция при $l/h = 20$, $Ar = 5,4 \cdot 10^4$; б) от числа Архимада Ar при $l/h = 20$, $W = 2$; в) от отношения длины аппарата L/δ для алюминаткальцевой фракции (1,0-1,5 мм при $Ar = 2,54 \cdot 10^4$ и $W = 1$).

Далее рассчитывали среднее время пребывания частиц в аппарате и аппарат:

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} t C(t) dt}{\int_0^{\infty} C(t) dt} = \frac{\sum t C}{\sum C} \quad (7)$$

Для определения дисперсии σ^2 использовать формулу

$$\sigma^2 = \frac{\sum \tau_i^2 C_i}{\sum C_i} - \left(\frac{\sum \tau_i C_i}{\sum C_i} \right)^2, \quad (8)$$

или в безразмерных величинах (с учетом $\sigma^2 = \sigma^2 / \tau^2$)

$$\sigma^2 = \frac{\sum \tau_i^2 C_i}{\sum C_i} - 1 = \frac{\sum \tau_i^2 C_i}{\sum C_i} - 1. \quad (9)$$

При малых значениях комплекса D_t и L дисперсия функции распределения времени пребывания частиц в аппарате имеет вид [2]

$$\sigma^2 = 2 \frac{D_t}{uL}. \quad (10)$$

Оценив таким образом число Pe по его значению, судили об адекватности модели [2].

$$\frac{1}{Pe} = \frac{1}{2(n-1)(1-1/n)}, \quad (11)$$

где n — число ячеек полного перемешивания (в том же случае было разбито на ячейочной модели); при $1 < n < \infty$ диффузионная модель может считаться адекватной реальному процессу [1].

Результаты обработки экспериментальных данных по приведенной выше методике приведены в табл. 2 и на рис. 5.

Выводы

Анализ полученных результатов показывает, что интенсивность перемешивания зернистого материала (в зависимости от движения) закономерно возрастает с ростом числа псевдооживления; это хорошо согласуется с литературными данными [3-6]. С ростом числа Архимеда и с твердостью частиц в исследованном диапазоне Ar мало влияет на интенсивность перемешивания при одинаковых числах псевдооживления (Можно говорить о слабой тенденции к уменьшению и увеличению интенсивности перемешивания). Видимо, это объясняется сужением короткого диапазона псевдооживленного состояния при переходе к большим Ar .

Изменение отношения L/b оказывает существенное влияние на эффективный коэффициент продольного перемешивания твердого материала D_t , который с ростом L/b сначала (при малых L/b) повышается быстро, а затем медленно.

Полученные данные позволяют выделить порядок величин коэффициентов продольного перемешивания некоторых промышленных зернистых материалов в псевдооживленном слое, а также предсказать характер влияния ряда параметров процесса на интенсивность продольного перемешивания.

Таким образом, настоящая работа является первым шагом моделирования тепло- и массообменных процессов, осуществляемых в псевдооживленном слое исследованных зернистых материалов, и масштабирования аппаратов. С целью обобщения результатов исследования для аппаратов различных размеров и конструкций требуется дальнейшее исследование.

Институт общей и неорганической
химии АН Арм. ССР

Поступило 21 V 1976

Գ. Ա. ԴԱՎԵՅԱՆ, Վ. Ն. ԴԱՎԵՏՅԱՆ, Ի. Վ. ԿԵՐԻՄՅԱՆ

**ՆԻՍՏԱՅԵԼ ՇԵՐՏՈՒՄ ԶՍՏԻՈՒՎՈՐ ԱՅՈՒԹԵՐԻ ԸՆԴԵՐՈՎՅԱԿԱՆ
ՈՒՂՎՈՐԵՅԱԿԻ ԽԱՌԿՄԱՆ ՊՐՈՅԵՈՒ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՈՒՂՂԱՆՑՈՒՄԱԳՆԵՎ ԱՊԱՐԱՏՆԵՐՈՒՄ**

Ա Վ Վ Ո Վ Ո Վ

Նկարագրված է ուղղանկյունաձև ապարատներում արդյունաբերական նպատակներ նյութերի հոսքով շերտում բնդերկայնական ուղղությամբ խառնման պրոցեսի ուսումնասիրության մեթոդիկան և փորձասարքը: Զույգ է տրված, որ տվյալ պրոցեսը լավ է նկարագրվում միապարամետրիկ դիֆուզիոն մոդելով:

Ուսումնասիրվող նյութերի հոսքում որոշված են Պեկլեյթ թիվը և բնդերկայնական ուղղությամբ խառնման դրժակիցը, որոնք բնորոշում են պրոցեսի բաժանման ինտենսիվությունը:

Ուսումնասիրված է նաև առանձին դրժանների՝ կեղծ-նկուկայան թվի, ապարատի կենդանի կտրվածքի, ներքինեղի թվի, ազդեցությունը տվյալ պրոցեսի վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химических технологиях. М., «Химия», 1968.
2. Левакиталы О. Инженерное оформление химических процессов. М., «Химия», 1969.
3. Гельперин Н. И., Айништейн В. Г., Кошша Н. Б. Основы техники псевдооживления. М., «Химия», 1968.
4. Забродский С. С. Гидродинамика и теплообмен в псевдооживленном слое. М.-Л., Гостехиздат, 1963.
5. Лева М. Псевдооживление. М., Гостехиздат, 1961.
6. Давтян Г. А., Харитонян А. Псевдооживление. Пер с англ. под ред. Н. И. Гельперина. М., «Химия», 1974.