

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 542.965

НЕКОТОРЫЕ РАСЧЕТЫ АППАРАТОВ СО ВЗВЕШЕННЫМ
 СЛОЕМ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

А. Г. МИРЗАХАНЯН и Р. Е. АКОПЯН

Институт органической химии АН Армянской ССР, Ереван

Поступило 30 VI 1973

На основании исследованного ранее [4] аддитивного расширения полидисперсных частиц предложен метод расчета реакторов и массообменных аппаратов, работающих со взвешенным слоем. На конкретном примере определены параметры аппарата для $F = \text{const}$ и $\varphi = \text{const}$. Во втором случае поперечное сечение аппарата F закономерно растет по высоте, а его высота H по сравнению с первым случаем значительно уменьшается, сокращается также необходимый объем аппарата и растет его надежность в работе.

Рис. 3, табл. 2, библиографические ссылки 6.

В химической и других областях промышленности все большее распространение получают процессы, осуществляемые в псевдооживленном слое твердых частиц, в частности катализаторов [1,2]. К ним можно отнести реакторные, а также массообменные (экстракция и др.) процессы. В связи с этим возникает необходимость расчета соответствующих аппаратов и конструкций, зависящего от гидродинамики взвешенного (псевдооживленного) слоя, т. е. от поведения частиц в аппарате при определенном потоке жидкости.

Вопросы гидродинамики псевдооживления монодисперсных твердых частиц в потоке жидкости решены достаточно полно. Однако на практике встречаются исключительно полидисперсные частицы с произвольным распределением размеров частиц. Гидродинамика таких систем изучена недостаточно, а в некоторых исследованиях обнаруживается противоречие с действительностью [3].

В настоящем сообщении на основании полученных нами закономерностей псевдооживления полидисперсных частиц дается методика расчета указанных выше аппаратов, работающих с псевдооживленным слоем.

В основу наших расчетов поставлен принцип аддитивности расширения полидисперсной смеси: каждая ситовая фракция (каждый размер частиц) расширяется и создает свою концентрацию φ независимо от присутствия в среде других частиц. Иначе говоря, полидисперсная

смесь при расширении полностью сепарировается по величине частиц. Это нами наблюдалось визуально, подтверждено измерениями и расчетами [4].

Если колонку заполнить полидисперсной смесью однородных твердых частиц и привести их в псевдооживленное состояние, то через определенное время произойдет сепарация частиц. Концентрация также будет различной по высоте колонки.

Задача заключается в определении высоты слоя взвеси и поверхности контакта фаз (суммарная поверхность частиц) при заданном количестве и известном распределении диаметров частиц, когда массообмен и химическое взаимодействие частиц и среды отсутствуют.

Высота элементарного слоя взвеси, где диаметр частиц составляет δ , а концентрация φ , определяется уравнением

$$dh = \frac{dg}{\rho F \varphi}, \quad (1)$$

где dg — количество частиц, F — сечение колонны, ρ — плотность частиц (постоянная для всех размеров).

Уравнение (1) можно интегрировать для всех случаев: 1) $F = \text{const}$ для цилиндрического аппарата; 2) $\varphi = \text{const}$ для аппарата переменного сечения.

На конкретном примере полидисперсной смеси кварцевого песка изложим методику расчета колонны для указанных двух вариантов. Кварцевый песок состоял из фракций: $-0,4+0,315$; $-0,315+0,25$; $-0,25+0,20$; $-0,2+0,16$; $-0,16+0,1$ мм ($\rho=2,64$ г/см³). Количество фракций по 1000 кг. Кривая распределения приведена на рис. 1.

Для расчетов нужно выбрать скорость оживающей жидкости. Она должна быть такой, чтобы крупнейшие частицы перешли во взвесь, а наименьшие частицы не уносились потоком жидкости. Иногда это условие для цилиндрических аппаратов не удается соблюдать. В нашей смеси крупнейшие частицы ($\delta=400$ м) переходят во взвесь и при скорости $U=0,55$ см/сек создают высокую, вполне подвижную концентрацию $\varphi=0,43$. Эта скорость нами принята в основу дальнейших вычислений.

Вариант I. $F = \text{const}$. Тогда

$$H = \frac{1}{\rho F} \int \frac{dg}{\varphi} \quad (2)$$

Интеграл уравнения (2) решается графически (рис. 2). Для ясности укажем, что точки 2 и 3 на графике получены следующим образом. Точке 2 соответствует g (вес частиц), равный 2000 кг. Это означает, что в этой точке размер частиц $\delta=0,25$ мм (подсчет начинается с крупной фракции). Для однородных частиц такого диаметра (также частиц всех остальных диаметров) при заданной скорости (U) концентрация (φ) определяется из выражения [5,6]:

$$U = \frac{k\beta C_0}{\alpha^{1/n}} (1 - \alpha\varphi)^n \quad (3)$$

Для сферических частиц зависимость упрощается:

$$C = kC_0 (1 - \varphi)^n \quad (3')$$

В этих уравнениях U , C — скорость подачи жидкости или стесненного падения частиц, C_0 — скорость свободного падения частиц. Определение постоянных k , β , α , n также дается в [5, 6]. Отметим, что вместо зависимости (3) можно использовать кривые $U = f(\varphi)$, если такие имеются. Для точки 3 диаметр частиц будет $d = 0,2$ мм и т. д.

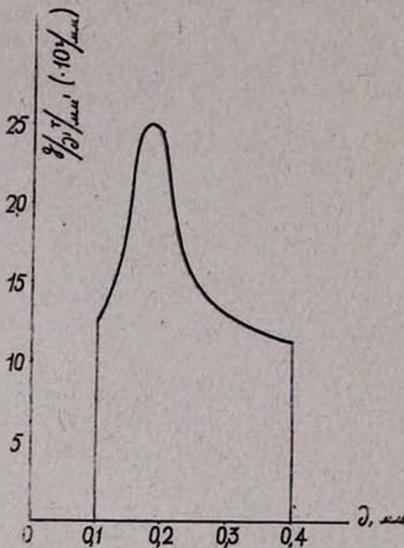


Рис. 1. Кривая распределения полидисперсной смеси кварцевого песка.

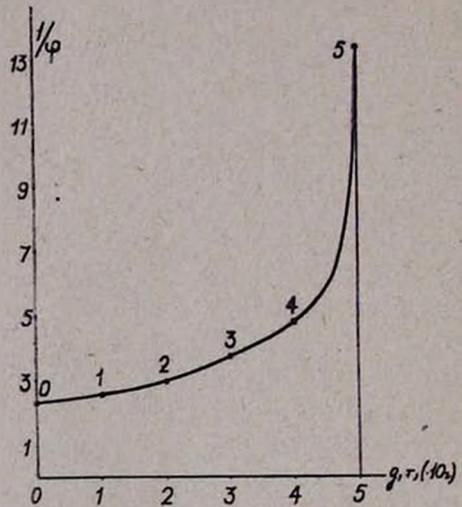


Рис. 2. Графическое решение интеграла уравнения (2).

Определяя значение φ , рассчитываем соответственно $\frac{1}{\varphi}$, служащие ординатами точек. Тем же способом получены остальные точки.

Вариант II. $\varphi = \text{const}$.

Принимаем $\varphi = 0,43$ по всей высоте колонны. В этом случае

$$H = \frac{1}{\rho\varphi} \int \frac{dg}{F} \quad (4)$$

Для поддержания постоянной концентрации в колонне, очевидно, сечение колонны F по высоте должно увеличиваться. Интеграл $\int \frac{dg}{F}$ также решается графически. Результат решения приведен на рис. 3. Построение точек делается аналогично рис. 2. Например, точки 2 и 3 получены следующим образом. Точке 2 соответствуют частицы диа-

метром $\delta = 0,25$ мм (вес $g = 2000$ кг). Пользуясь уравнением (3) находим, что для поддержания $\varphi = 0,43$ скорость жидкости должна быть $U = 0,28$ см/сек. Первоначальная скорость составляла $U_n = 0,55$ см/сек. Следовательно, F в этом сечении определится:

$$F = F_n \frac{U_n}{U} \quad (5)$$

Принимая $D_n = 0,5$ м ($F_n = 0,2$ м²), получим

$$F_1 = 0,2 \frac{0,55}{0,28} \approx 0,39 \text{ м}^2.$$

Для точки 3 (диаметр частиц $\delta = 0,2$ мм) получим

$$F_3 = 0,2 \frac{0,55}{0,163} \approx 0,67 \text{ м}^2.$$

Таким же образом строятся остальные точки.

Имея значение интеграла (поверхность под кривой) по уравнению (4) определится H .

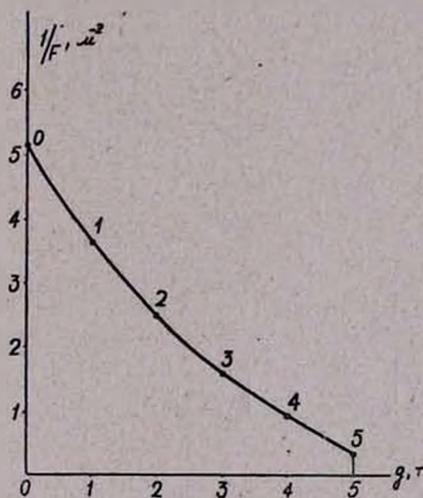


Рис. 3. Графическое решение интеграла уравнения (4).

Поверхность контакта фаз (общая поверхность частиц) для обоих вариантов рассчитывается по уравнению

$$ds = \frac{6dg}{\rho\delta} \quad (6)$$

или же

$$S = \frac{6}{\rho} \int \frac{dg}{\delta} \quad (7)$$

Частицы условно принимаются шарообразными. Интеграл $\int \frac{dg}{\partial}$ решается графически, аналогично рис. 2 и 3. Результаты приведенных расчетов обобщены в табл. 1. В табл. 2 приведены аналогичные расчеты с теми же фракциями песка, взятые по 10 г каждой фракции. Результаты расчетов проверены экспериментально на цилиндрической колонке диаметром 2,075 см. Как видно из табл. 2, отклонения в значениях H (расчетных и опытных) составляет 1,15% (21,8 и 21,55 см, соответственно).

Таблица 1

| Фракция, мм | Количество фракций, кг | Поверх- ность контакта S, м ² | Диам. част. в расч. точке, мм | Вариант I | | | Вариант II | | |
|----------------|------------------------------|---|---|------------------|----------------|----------------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| | | | | цилиндрич. труба | | | коническая труба | | |
| | | | | φ | h, м высота | V, м ³ объем | h, м высота | V, м ³ объем | F, м ² сече- ние |
| -0,4 +0,315 | 1000 | 6360 | 0,400 | 0,43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,62 |
| -0,315+0,25 | 1000 | 8070 | 0,315 | 0,38 | 4,80 | 0,960 | 3,84 | 0,88 | 0,28 |
| -0,25 +0,2 | 1000 | 10100 | 0,250 | 0,34 | 5,38 | 1,076 | 2,74 | 0,88 | 0,39 |
| -0,20 +0,16 | 1000 | 12600 | 0,200 | 0,27 | 6,44 | 1,288 | 1,86 | 0,88 | 0,67 |
| -0,16+0,1 | 1000 | 17500 | 0,160 | 0,21 | 8,23 | 1,646 | 0,95 | 0,88 | 1,02 |
| | | | 0,100 | 0,075 | 12,85 | 2,57 | 0,61 | 0,88 | 2,80 |
| | 5000 | 54630 | | | 37,7 | 7,54 | 10,0 | 4,4 | — |

Таблица 2

| g, г | d, мм | S, см ² | Цилиндрическая колонка D=2,075 см, U=0,55 см/сек | | Колонка переменного сечения φ = 0,43, Dн = 2,075 см | | |
|------|-------|--------------------|---|-------|--|-------|-------|
| | | | φ | h, см | U, см/сек | D, см | h, см |
| 0 | 0,400 | 0 | 0,43 | 0 | 0,50 | 2,075 | 0 |
| 10 | 0,315 | 636 | 0,38 | 2,78 | 0,39 | 2,64 | 2,220 |
| 20 | 0,250 | 807 | 0,34 | 3,11 | 0,28 | 2,918 | 1,585 |
| 30 | 0,200 | 1010 | 0,27 | 3,72 | 0,16 | 3,80 | 1,051 |
| 40 | 0,160 | 1260 | 0,21 | 4,76 | 0,105 | 4,75 | 0,637 |
| 50 | 0,100 | 1750 | 0,076 | 7,43 | 0,039 | 7,83 | 0,532 |
| | | 5463 | | 21,8 | | | 6,025 |

Сравнение результатов расчетов по двум вариантам (табл. 1) показывает, что аппарат с переменным сечением (вар. II) имеет неоспоримые преимущества перед цилиндрическим (вар. I), а именно:

1. Требуемая высота колонны сильно уменьшается. Так, в нашем примере—от 37,7 до 10,0 м, т. е. в 3,77 раза. Отметим, что это соотноше-

ние может увеличиваться при большем содержании в смеси мелких частиц.

2. Объем аппарата уменьшается от 7,54 до 4,4 м³, т. е. в 1,72 раза. Это означает, что эффективность аппарата (уд. производительность) увеличивается в 1,72 раза.

ՊՈՒԼԻԴԻՍՊԵՐՍ ՊԻՆԴ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԿԱԽՎԱԾ ՇԵՐՏՈՎ ԱՇԽԱՏՈՂ
ԱՊԱՐԱՏՆԵՐԻ ՄԻ ՔԱՆԻ ՀԱՇՎԱՐԿ

Ա. Գ. ՄԻՐԶԱԿԽԱՆՅԱՆ և Ռ. Ե. ՀԱԿՈՔՅԱՆ

Նախկինում հետազոտված [4] պոլիդիսպերս մասնիկների ադիտիվ ընդարձակման հատկության հիման վրա առաջարկված է մեթոդ կախվածքի շերտով աշխատող ռեակտորների և մասսափոխանակման ապարատների հաշվման համար, Կոնկրետ օրինակի օգնությամբ որոշված են ապարատի պարամետրերը 1. $F = \text{const}$ և 2. $\varphi = \text{const}$ պայմանների դեպքում, Երկրորդ պայմանի մասնակ ապարատի F ընդլայնական կտրվածքն ըստ բարձրության աճում է որոշ օրինաչափությամբ, իսկ նրա H բարձրությունը, առաջինի հետ համեմատած, մեծ չափով նվազում է: Զգալիորեն կրճատվում է նաև ապարատի անհրաժեշտ ծավալը և մեծանում է նրա աշխատանքի հուսալիությունը:

CALCULATIONS OF PARAMETERS OF FLUIDIZED-BED
APPARATUS

A. G. MIRZAKHANIAN and R. Ye. HAKOPIAN

A method has been proposed for calculating the parameters of fluidized-bed reactors and mass-transfer apparatus.

Apparatus parameters have been calculated for two specific cases with the objective to increase operational reliability.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М. Э. Азров, О. М. Тодес, Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем, Л., 1968.
2. Н. И. Гельперин, В. Е. Айнштейн, В. Б. Кваша, Основы техники псевдооживления, М., 1967.
3. Т. Оhtaе, J. Furukawa, J. Chem. Soc. (Japan) 56, № 10, 727 (1953).
4. А. Г. Мирзаханян, Р. Е. Аюлян, Н. С. Икарян, Сб. науч. тр. ЕрПИИ, Сер. Химия и хим. технология, 1974 (в печати).
5. А. М. Гаспарян, Н. С. Икарян, Изв. АН Арм. ССР, СТН, 15, № 2, 1962.
6. А. М. Гаспарян, Н. С. Икарян, ДАН Арм. ССР, 35, № 1, 1962.