

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А. М. Гаспарян и А. А. Заминян

Вертикальное движение монодисперсной суспензии

Измерение скорости стесненного падения взвеси в потоке суспензии

(Представлено академиком АН Армянской ССР Н. Х. Арутюняном 26. II. 1959)

В химической технологии и в других областях техники, а также в лабораторных исследованиях все чаще встречаются процессы, связанные с движением суспензий-взвесей твердых частиц в жидкости. Вследствие того, что плотности фаз суспензий обычно отличаются, при изменениях скоростей и направлений их движения возникают изменения концентрации твердой фазы в соответствующих частях трубопроводов и аппаратов. Только при учете этих изменений концентраций можно правильно рассчитывать процессы и аппараты, найти оптимальные условия их осуществления.

Настоящая статья посвящена нахождению взаимосвязи (при вертикальности движения):

$$\varphi = f(V, \varepsilon, C), \quad (1)$$

отсутствующей в литературе.

φ — объемная концентрация твердой фазы, V — скорость движения суспензии, ε — объемная доля твердой фазы в расходе суспензии. C (или U) — скорость стесненного падения монодисперсной твердой фазы, определяемой для сфер выражением:

$$C = kC_0 m^n = kC_0 (1 - \varphi)^n, \quad (2)$$

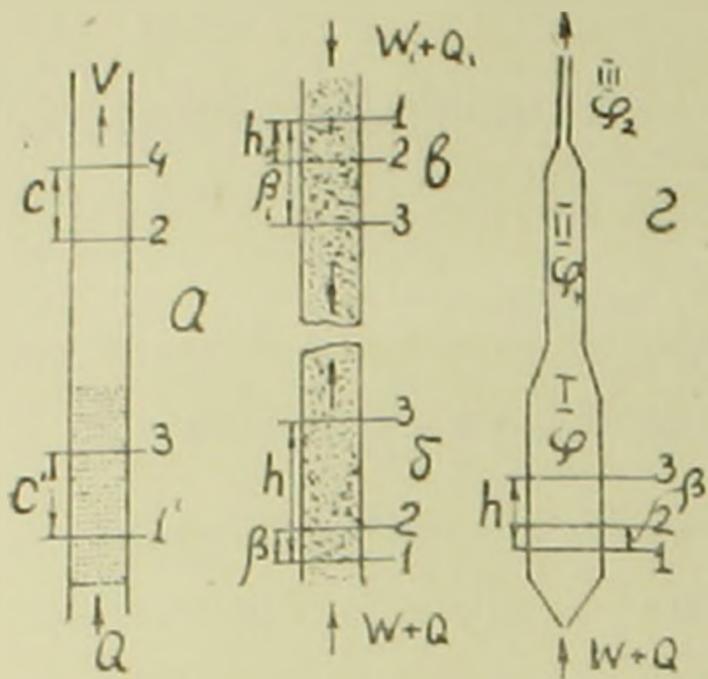
а для бесформенных частиц выражением:

$$U = \frac{kC_0}{\sqrt{\alpha}} [1 - \alpha(1 - m)]^n. \quad (2a)$$

Здесь k и n зависят от режима движения, и их цифровые значения приведены в литературе. C_0 — скорость свободного падения сферической (или эквивалентной) частицы, α — соотношение объемов псевдошара и эквивалентного шара.

Предварительно уточним, что подразумевается под словами: скорость стесненного падения C (или U).

Пусть жидкость, проходя через слой частиц, поднимает их во взвесь (фиг. 1а). Концентрация φ взвеси постоянна при постоянстве скорости и температуры жидкости. Отметим в начале секунды два сечения: 1 во взвеси и 2 в свободной от взвеси части колонки. Через



Фиг. 1.

секунду уровень жидкости переместится: во взвеси до 3, а в свободной части до 4. Большинство авторов считает, что за скорость падения взвеси следует принимать C , так как взвесь такой концентрации, при таких же условиях, в неподвижной жидкости падала бы именно с этой скоростью (при строгом рассмотрении обнаруживается неполная точность такого утверждения, однако оно весьма близко к истине). Другие же авторы считают, что за скорость падения взвеси

нужно принимать C' , так как разница в скоростях частиц и их обтекающей жидкости именно равняется этой величине. Очевидно, что:

$$C' = C : (1 - \varphi). \quad (3)$$

Допущение, что C' есть истинная скорость струй во взвеси, конечно условно. Скорее можно утверждать, что последняя больше C' , однако с точки зрения точности расчетов эти два взгляда принципиально не отличаются. Но, чтобы не заблуждаться при рассмотрении вопросов движения суспензии, нужно придерживаться одного из них. Впредь мы будем исходить из того, что скорость стесненного падения равняется C , но не C' , что учтено также уравнениями (2—2а).

Если в колонке (фиг. 1б) имеет место сплошной, установившийся поток суспензии, допустим снизу вверх, то, очевидно, между жидкой и твердой фазами будет иметь место непрерывное скольжение, последняя будет отставать. Пусть в начале секунды данные частицы и окружающая их жидкость находятся в сечении 1. В конце секунды эти частицы поднялись до уровня сечения 2, и жидкость—до сечения 3. Хотя частицы отстали от жидкости на величину $(h - \beta)$, но эта величина не равняется скорости падения частиц. Скорость падения частиц в данном случае составляет:

$$C = (h - \beta) (1 - \varphi). \quad (4)$$

При таком же потоке сверху вниз (фиг. 1в) имеем следующее. Если в начале секунды данные частицы и окружающая их жидкость находились в сечении 1, а через секунду жидкость пришла в 2, а частицы в 3, то скорость их падения определится выражением:

$$C_1 = (\beta_1 - h_1) (1 - \varphi). \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) определяют скорость опередившего или отставшего от рассматриваемых частиц объема, отнесенную к полному сечению колонки. Эта величина и есть скорость стесненного падения взвеси в неподвижной среде, определяемой уравнениями (2—2а).

Теперь рассмотрим взаимосвязь (1).

Пусть в колонку (фиг. 1г) вводится, за секунду, суспензия, состоящая из жидкости Q и твердых частиц W (в объемных единицах). Пусть частицы монодисперсны и их плотность больше плотности жидкости. Очевидно, что при установившемся потоке в различных частях колонки возникнут различные концентрации твердой фазы, причем так, что $\varphi > \varphi_1 > \varphi_2$. Очевидно также, что через любое сечение колонки секундный расход суспензии постоянен и составляет $(Q + W)$. Выражение:

$$\varepsilon = W : (Q + W) \quad (6)$$

определяет объемную концентрацию твердой фазы в расходе, что также зависит от сечения колонки и всегда меньше объемной концентрации φ той же фазы в любом сечении реальной колонки. Формула:

$$V = (Q + W) : F \quad (7)$$

выражает скорость суспензии в колонке, где ее сечение составляет F . Нетрудно заметить, что с увеличением V будет уменьшаться φ . Если сечение колонки в части III очень мало и скорость V поэтому очень большая (стремится к бесконечности), то здесь будет иметь место равенство $\varphi_2 = \varepsilon$.

Пусть в начале секунды данные частицы и окружающая их жидкость находятся в сечении 1. Через секунду жидкость поднялась до сечения 3, а частицы, отстающие от жидкости благодаря их непрерывному относительно нее падению, поднялись только до 2. Очевидно, что:

$$Q = hF(1 - \varphi), \quad W = \beta F\varphi \quad (8)$$

из уравнений (4, 6, 7 и 8) получается:

$$V = C + \beta; \quad \beta = V\varepsilon : \varphi, \quad (9)$$

а отсюда:

$$\varphi = \frac{V\varepsilon}{V - C} \quad (10)$$

Если поток суспензии имеет направление сверху вниз, то тогда наибольшая концентрация твердой фазы возникает в участке III и будет иметь место: $\varphi_2 > \varphi_1 > \varphi$.

Взаимосвязь (1) для этого случая имеет вид:

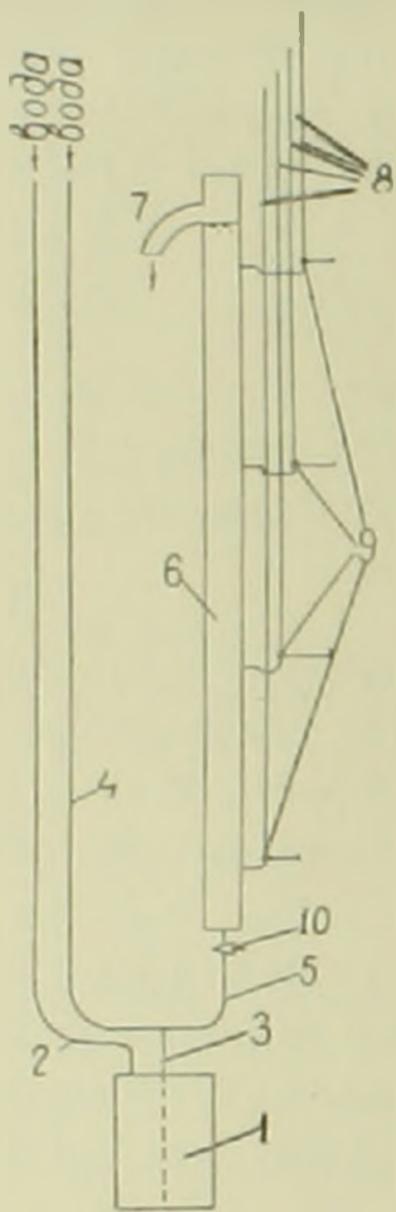
$$\varphi = \frac{V\varepsilon}{V + C} \quad (11)$$

Уравнения (10) и (11) написаны для суспензий с шарообразными частицами. В случае бесформенных частиц в них C заменяется через

U , определяемой уравнением (2а). С помощью этих уравнений и уравнений (2—2а) можно решать любые задачи относительно вертикальных потоков монодисперсных суспензий, когда известны характеристики частиц и жидкости и две из величин, входящих в уравнение (10).

Уравнение (10) дает возможность также лабораторного измерения скоростей стесненного падения в потоке суспензии.

Разработанный нами способ схематически представлен на фиг. 2.



Фиг. 2.

Сосуд 1 заполняется частицами определенной узкой фракции и водой. Образуется густая паста. Подачей воды через 2 с заданной скоростью выдавливается паста через манжетную трубку 3, особой конструкции, обеспечивающей полное выдавливание пасты с постоянной скоростью и концентрацией. Подаваемая одновременно через 4 вода увлекает пасту в смеситель-трубку 5, образуя суспензию, которая, заполняя колонку 6, вытекает через 7. Концентрация питающей колонку суспензии — ε — может быть изменена путем изменения расходов 2 и 4, в пределах от 0 до 0,4 и более.

Пьезометрические трубки 8, расположенные на равных расстояниях друг от друга и заполненные водой, служат для измерения перепада давлений. Трехходовые краны 9 служат для подключения воды из водопровода для быстрого и полного опорожнения соответствующего участка колонки от взвеси. Эта операция производится одновременным открытием 9 и закрытием крана 10.

По достижении стационарности процесса, о чем свидетельствует одинаковость и постоянство разницы уровней воды между соседними трубками 8, из перелива 7 берутся пробы суспензии и по ним определяются ε и V . Затем закрывается кран 10 и все содержимое колонки переносится в стакан. По весу высушенного материала и по объему колонки определяется возникшая при данном опыте концентрация частиц в 6, φ .

Этот метод, более сложный и громоздкий, чем метод взвешенного слоя, отличается тем, что создаются условия, подобные условиям непрерывных производственных процессов. По этому методу скорости стесненного падения могут быть определены также для очень малых концентраций φ . Наконец, при помощи этого способа можно проверить достоверность данных, получаемых другими способами.

Возникшую в колонке 6 объемную концентрацию частиц можно определить также по показаниям пьезометрических трубок. Если отсутствуют или незначительны другие факторы, вызывающие разницу между показателями пьезометрических трубок (такими являются тре-

