

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А. М. ГАСПАРЯН, А. А. ЗАМИНЯН

СТЕСНЕННОЕ ПАДЕНИЕ ЧАСТИЦ

Сообщение 1.

В различных областях промышленности и техники широко применяются процессы, связанные с движением взвесей в жидкой или газообразной среде.

Примерами могут служить процессы в „кипящем слое“ и во взвешьях, осуществляемые в химической, металлургической и других отраслях промышленности, гравитационные методы обогащения, непрерывные процессы выщелачивания и экстракции в суспензиях, пневматический и гидравлический транспорт твердых частиц, разнообразные процессы осаждения, взмучивания, классификации и другие.

Подавляющее большинство этих процессов ведется с помолами различных веществ, представляющие из себя полидисперсную систему бесформенных (неправильной формы) частиц. Очевидно, что для расчета таких процессов и для правильного решения технологических и аппаратурных вопросов, нужно прежде всего знать закономерности стесненного *падения* полидисперсных взвесей, состоящих из бесформенных частиц. Но эти закономерности пока не выявлены и потому промышленные процессы проектируются и осуществляются чисто эмпирически и интуитивно и во многих случаях они далеки от возможного оптимума.

Необходимость выявления указанных закономерностей привела к тому, что многие исследователи во многих странах в течение последних лет занимаются изучением вопросов стесненного падения частиц в вязкой среде. В результате имеется достаточно обширный литературный материал, посвященный, главным образом, *первой ступени* всей проблемы: задаче стесненного падения *монодисперсных сферических* частиц.

Ряд уравнений, предложенных Финкеем [1], Лифляндом и Загустинным, Мак-Кендриком [2], Гут и Симха [3] и другими, явились первыми шагами исследований и в настоящее время устарели. П. В. Лященко [1] в 1940 г., на основании опытов с несферическими частицами, предложил следующее уравнение:

$$C = C_0 \cdot m^n, \quad (1)$$

где C — скорость стесненного падения шарообразных частиц;
 C_0 — скорость свободного падения тех же частиц;
 $m=1-\varphi$ — пористость (объемная доля среды во взвеси);
 φ — объемная доля твердой фазы во взвеси.

По Лященко n колеблется в пределах 2,5–3,6.

Отметим, что им не была обнаружена связь между n и Re — числом Рейнольдса.

Предложенные, за последние годы, многими авторами уравнения скорости стесненного падения шарообразных частиц могут быть приведены к виду:

$$C = KC_0 m^n. \quad (2)$$

Например, Я. Бенья [4], обработав опытные данные В. К. Льюиса [5] и переделав уравнения В. Бротца [6], предложил:

$$\text{для ламинарной области } C = K_1 C_0 m^{> 4,65}; \quad (3)$$

$$\text{для переходной области } C = K_2 C_0 m^{3,32}; \quad (4)$$

$$\text{для турбулентной области } C = K_3 C_0 m^{2,325}. \quad (5)$$

Е. В. Льюис и Е. В. Боверман [7] предложили уравнения, которые легко приводятся к видам, соответственно для ламинарной, переходной и турбулентной областей:

$$C = 0,718 C_0 m^{4,65}; C = 0,902 C_0 m^{2,97}; C = 0,718 C_0 m^{2,325}. \quad (6)$$

В уравнениях (3)–(6) принимается, что переходная область начинается при числе Рейнольдса 2 и кончается при 500.

Р. Иотранд [8] предложил уравнение типа (1), где значение n колеблется в пределах 2–7, без учета числа Рейнольдса.

Ричардсон и Заки [9] также предложили уравнение типа (1), со значениями n :

$$\left. \begin{array}{l} \text{при} \\ \text{при} \end{array} \right\} \begin{array}{l} Re < 0,2, n = 4,65 + 1,95 \frac{\partial}{D} \\ Re > 500, n = 2,39 \end{array} \quad (7)$$

Л. Н. Еркова и Н. И. Смирнов [10] предложили критериальные уравнения, которые легко приводятся к видам для ламинарной, переходной и турбулентной областей:

$$C = 0,85 C_0 m^5; C = KC_0 m^{3,9} \text{ и } C = 0,81 C_0 m^{2,5} \quad (8)$$

Авторы, указывая на приближенность уравнения для переходной области, приводят более точное, но сложное выражение для описания этой области.

Д. М. Минц [11] дает иные выражения, определяющие связь между C , C_0 и m . Л. Н. Еркова и Н. И. Смирнов [12], обрабатывая первичные данные Л. М. Минца, получили критериальные уравнения, легко переводимые в виды (8).

На основании исследований авторов предлагаются, для ламинарной, переходной и турбулентной областей:

$$C = C_0 m^b; C = 0,8 C_0 m^a \text{ и } C = 0,8 C_0 m^{2,65}, \quad (8a)$$

где для переходной области

$$n = 4,65 - 0,78 \lg Re.$$

На основании изложенного можно констатировать, что между рассмотренными выше уравнениями различных авторов нет принципиальных расхождений. Отличия между отдельными источниками заключаются: а) в полноте охвата всего диапазона падения частиц (всех трех режимов падения); б) в значении коэффициента K ; в) в значении степени n и г) в значении чисел Рейнольдса, определяющих границы переходной области.

Все эти величины могут быть определены опытом, и точность данных того или другого автора исключительно зависит от надежности примененной методики, качества твердой фазы и тщательности обработки экспериментальных данных.

На рис. 1 и 2 изображены функции $C = f(\varphi)$ для ламинарной и турбулентной областей (для чисел Рейнольдса 1 и 500, и условных значений C_0 в 2 см/сек и 50 см/сек).

Как видно из этих рисунков, расхождения в уравнениях различных авторов очень значительны. На рис. 1 скорость C , определенная

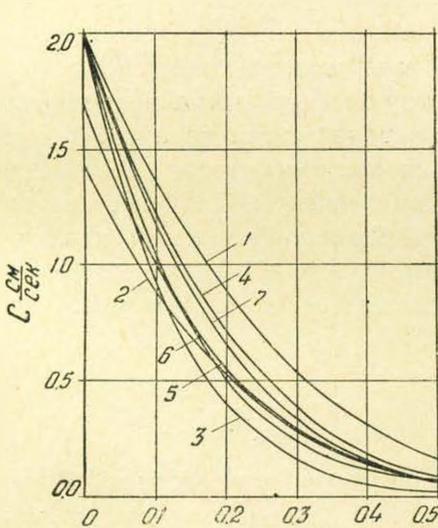


Рис. 1.

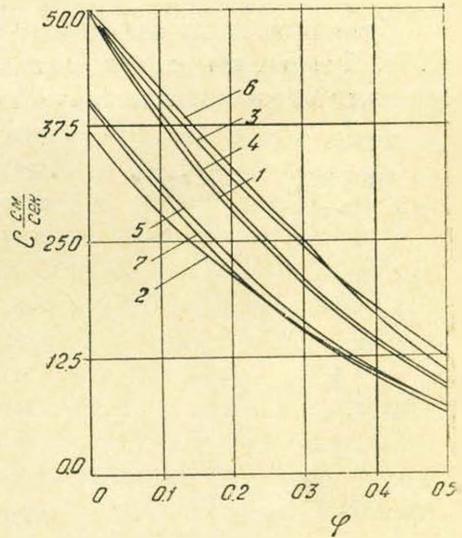


Рис. 2.

Номера кривых соответствуют: 1) Уравнению Лященко $n=3,6$ для ламинарного и $n=2,5$ для турбулентного режимов, 2) Уравнениям (6); 3) Уравнению Иотранда, $n=7$ для ламинарного и $n=2$ для турбулентного режимов; 5) Уравнениям (8); 6) Уравнениям Минпа [11] и 7) Уравнениям (8a).

для $\varphi = 0,2$, по кривой 1 два с лишним раза больше чем по кривой 3. По рисунку 2 для той же концентрации взвеси (0,2) соотношение наибольшей и наименьшей скоростей составляет 1,7. С увеличением φ расхождение еще усиливается.

Почти все авторы скорость стесненного падения определяют ме-

тодом взвешенного слоя, но, судя по литературе, этот метод достаточно полно не изучен, не исследован ряд факторов, могущих повлиять на точность и объективность полученных из опыта данных. Весьма большие расхождения в данных различных авторов, по-видимому следует объяснить недостаточным учетом того или иного фактора эксперимента.

Авторы задались целью детально изучить и проверить способ взвешенного слоя в надежде, что это поможет уточнению вышеприведенных приближенных уравнений стесненного падения.

Ниже рассматриваются три метода измерения S .

При этом приняты следующие обозначения:

- Q — объемная скорость среды;
- q — объемная скорость твердой фазы;
- F — полное сечение колонки;
- G — масса частиц;
- ρ — плотность твердой фазы;
- l — высота слоя взвеси;
- D — диаметр колонки;
- δ — диаметр частиц.

Метод взвешенного слоя (метод № 1)

Принципиальная схема способа взвешенного слоя показана на рис. 3б. Подаваемая снизу колонки 1 жидкость, проходя через сетку 2 поднимает во взвесь насыпанную на сетку навеску частиц и затем отводится с верхней части колонки.

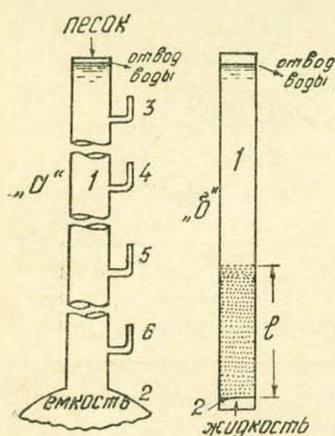


Рис. 3.

Каждой данной скорости жидкости S , определяемой выражением: $S = Q : F$, соответствует определенная высота взвеси l . Соответствующая объемная концентрация частиц во взвеси определяется выражением

$$\varphi = \frac{G}{\rho \cdot F \cdot l}$$

Принимается, что скорость S жидкости именно есть та скорость, с которой падала бы соответствующая взвесь в неподвижной жидкости.

Рассмотрим некоторые факторы, могущие повлиять на точность и объективность экспериментальных данных.

1. Как было показано [14], истинное стесненное падение возникает только при равномерном распределении частиц по всему сечению колонки. Поэтому на установке для измерения S должна быть обеспечена строгая вертикальность потока среды. Для иллюстрации важности этого условия приведем следующий пример. В колонке $D =$

$=0,98$ см, установленной строго вертикально, измерялась C для стеклянных шариков $d=0,0127$ см. Затем, при постоянстве всех прочих условий, колонке придавался уклон в 1 градус и вновь измерялась C . Опытные кривые $C=f(\varphi)$ приведены на рис. 4 и показывают расхождения до 10—12%. Отклонение от вертикальности вызывает эффект, равнозначный увеличению гидравлической крупности частиц (благодаря возникновению неравномерной концентрации взвеси).

Понятны также следующие требования: среда должна подвигаться во взвесь и отводиться от нее также вертикально. Боковые ввод и отвод, расположенные близко от взвеси, нарушают равномерность ее концентрации.

2. Изотермичность опыта имеет важное значение особенно для ламинарной области и для опытов, проводящихся в среде глицериновых растворов (сильное изменение вязкости от сравнительно небольших колебаний температуры). В таких случаях колебания температуры более 0,1—0,2°C уже могут привести к ощутимым погрешностям. При работе с концентрированными растворами глицерина, вся система должна быть замкнута и защищена от соприкосновения с окружающим влажным воздухом. В области больших чисел Рейнольдса (свыше 100), при работе с водой, колебания температуры до 1°C не оказывают заметного влияния.

3. Допустим, что жидкость подходит к сетке 2 в ламинарном режиме. Если ее скорость недостаточна для подъема частиц, то она будет фильтроваться через слой осадка. Известно, что при этом произойдет резкое изменение профиля скоростей жидкости. Этот профиль из параболлы превратится в горизонтальную зубчатую линию, т. е. исчезнет градиент скорости по радиусу колонки. В микроканалах осадка возникнут микропараболлы, дающие упомянутую зубчатость линии. Если же осадок поднят во взвесь, то очевидно деформация профиля скоростей жидкости будет менее резка и сохранится некоторый градиент скорости по радиусу колонки. Это утверждается и визуально: по периферии взвеси всегда наблюдается движение частиц вниз. Это означает, что по центру взвеси имеется непрерывный подъем частиц вверх. Чем разбавленней взвесь, тем меньше будет эта деформация, но она всегда будет. Очевидно эта деформация происходит в нижних слоях взвеси. Подобная же деформация профиля потока, только в обратном направлении, происходит на выходе жидкости из взвеси.

Для проверки осязательности влияния деформации потока при его входе во взвесь подверглись взвешиванию стеклянные шарики фр.—100±140 меш и кварцевый песок среднего размера 0,0133 см.

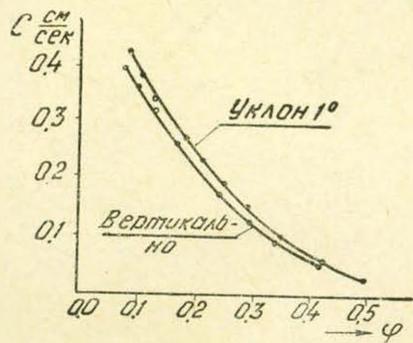


Рис. 4.

Расширение производилось двояко: 1) когда под сеткой, поддерживающую взвесь находился слой мелких свинцовых шариков, в котором поток предварительно деформировался и потом поступал во взвесь и 2) когда свинцовые шарики отсутствовали и поток прямо поступал во взвесь.

Влияние деформации потока при выходе из взвеси проверялось путем взвешивания различных навесок тех же веществ. При постановке этих опытов мы исходили из положения, что само количество расширяемого материала не может влиять на взаимосвязь $C = f(\varphi)$. Мы полагали, что влияние деформации если оно есть, должно быть более заметно при малых навесках и потерять свое значение при больших навесках.

Результаты опытов приведены на рис. 5. Совпадение кривых для

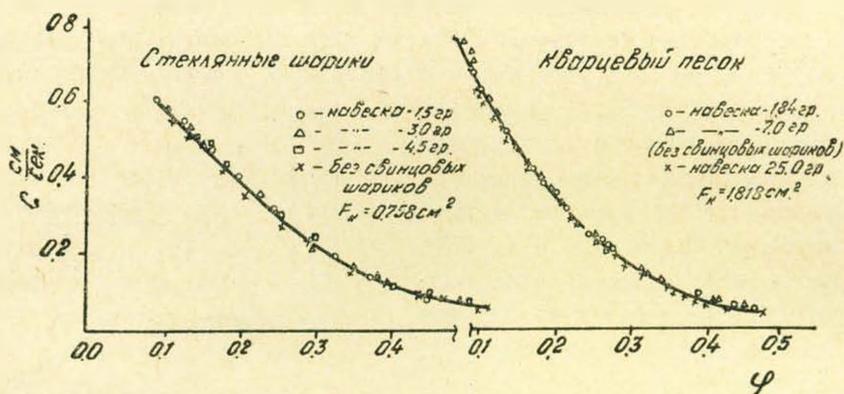


Рис. 5.

различных опытов следует считать признаком отсутствия заметного влияния деформации профиля потока при его входе и выходе из взвеси.

4. Важным фактором при определении C является влияние стенок колонки, в которой ведется опыт. Это влияние изучено для одиночно падающей частицы [15, 16], но, для случая стесненного падения, мы не обнаружили опубликованных работ.

Нужно полагать, что при стесненном падении влияние стенок всегда будет иметь место, так как всегда некоторая доля частиц падает в непосредственной близости от стенок. Однако, с увеличением соотношения $N = D : d$ это влияние, уменьшаясь, становится практически незаметным при определенном предельном значении $(D : d)_к$.

Для определения этих предельных значений были проведены, способом взвешенного слоя, 38 серий опытов (около 900 измерений C) с девятью сортами частиц, с диаметром от 0,0071 до 0,392 см, в пределах числа Рейнольдса от 0,269 до 770, в колонках с диаметром от 0,217 до 11,2 см, с соотношением $(D : d)$ от 3,4 до 840. Средой служила вода с постоянной температурой.

На рис. 6 кружочками отмечены экспериментальные значения $(D : d)_к$, при которых влияние стенок колонки на скорость стеснен-

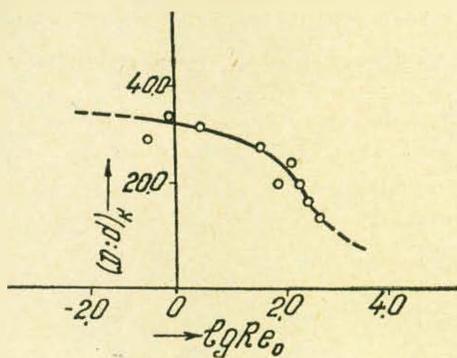


Рис. 6.

ного падения становится незаметным. Сплошная линия является усредняющей, пунктиром показано вероятное направление экстраполяции.

На рис. 7 приведены экспериментальные кривые, полученные для монодисперсных алюмосиликатных шариков $d = 0,29$ см, подвергнутых взвешиванию при одинаковых условиях в пяти колонках различных диаметров. Как видно из рисунка, точки опытов в колонках 5,02 см, и 5,5 см совпали. Исходя из этого мы приняли, что предельным значением $(D:d)_к$ является $5,02:0,29 = 17,3$. Очевидно, что такой способ определения $(D:d)_к$ является приближенным, чем и следует объяснить значительный разброс точек на рис. 4. Однако, очевидно также то, что допущенная при этом ошибка только приводит к увеличению значения $(D:d)_к$, что не опасно для выбора условий правильного экспериментирования на основе рис. 6.

Следует отметить, что при значениях $(D:d)$ меньших предельного на степень уменьшения скорости стесненного падения влияет также концентрация взвеси φ . Для иллюстрации этого обстоятельства на основании рис. 7 составлена табл. 1.

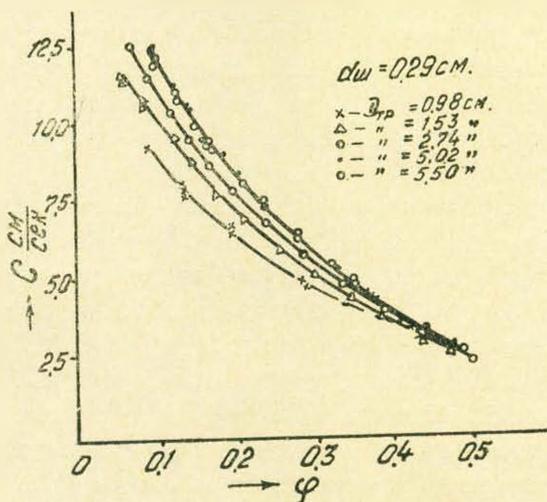


Рис. 7.

Таблица 1

Влияние концентрации φ на степень уменьшения C .

$\varphi = 0,1$	0,2	0,3	0,4	0,42
$C_1 = 12,45$	8,7	6,07	4,00	3,65
$C_2 = 11,35$	8,0	5,70	3,85	3,60
$C_3 = 10,30$	7,35	5,25	3,65	3,55
$C_4 = 9,10$	6,60	4,75	3,60	3,50
$C_1 : C_2 = 1,100$	1,085	1,065	1,040	1,013
$C_1 : C_3 = 1,205$	1,180	1,155	1,095	1,030
$C_1 : C_4 = 1,370$	1,320	1,280	1,115	1,040

В этой таблице индекс при C соответствует порядковому номеру кривых рис. 7, считая сверху.

Как видно из таблицы, при больших φ скорости C сильно сближаются. На рис. 7 даже намечается тенденция (при $\varphi > 0,42$) увеличения C с уменьшением диаметра D .

5. Было проверено также влияние числа Рейнольдса потока на скорость стесненного падения. Кварцевый песок и помол сиенитов подвергались расширению в условиях, когда Re имел значения: 5,8; 392, 967 и 3700. Все экспериментальные точки ложились на те же кривые $C = f(\varphi)$, независимо от значения Re_n . Минимальное значение $D : d$ в этих опытах составляло 40.

6. Весьма важным фактором, влияющим на точность и объективность полученных экспериментальных данных является качество применяемых частиц. Для получения достоверных данных нужно, чтобы частицы были: 1) совершенно гомогенными по плотности, 2) вполне сферическими по форме и 3) данная фракция должна быть по возможности узкой, т. е. соотношение диаметров наибольших и наименьших частиц должно быть по возможности близко к единице.

Справедливость первых двух требований очевидна, но важность 3-го требования нуждается в некоторой иллюстрации. Соотношение диаметров наибольших и наименьших частиц в фракции обозначим через α . Когда величина α большая, тогда возникают ряд затруднений, препятствующих выявлению искомым закономерностей. Рассмотрим эти затруднения.

А) Фракционирование мелких частиц стандартными ситами дает обычно фракции с $\alpha = 1,42$. Если, например, взвешивание частиц происходит при ламинарном режиме, то скорость падения мелких частиц испытываемой фракции, по сравнению с крупными частицами в 2 раза меньше. Кроме того осевая скорость жидкости в разбавленной взвеси примерно в 2 раза больше средней скорости. Не трудно понять, что в таких условиях становится *невозможным* измерение скоростей стесненного падения для малых значений φ . Уже при $\varphi = 0,10 : 0,12$ у взвеси возникает сильно размытая, неопределенная поверхность раздела, а затем начинается унос мелких частиц осевой струей потока. При больших значениях числа Рейнольдса это явление, по понятным причинам, ста-

новится менее выраженным, но все же для фракций с $\alpha = 1,42$ уверенное измерение C при φ меньше 0,1, затруднительно. Между тем для фракций с $\alpha = 1,01 \div 1,10$ скорость стесненного падения может быть точно определена для φ вплоть до $0,03 \div 0,04$.

Б) Возникает вопрос: как определить средний диаметр частиц данной фракции, какому диаметру нужно приписать или относить полученные опытные данные? К определению среднего диаметра частиц можно подойти по-разному:

$$\text{а) } d = (d_{\text{макс}} + d_{\text{мин}}) : 2 \quad (9)$$

Здесь $d_{\text{макс}}$ — размер отверстий сита, через который прошла фракция, а $d_{\text{мин}}$ — тоже для сита, на котором задержалась фракция.

$$\text{б) } d = \frac{n_1 d_1 + n_2 d_2 + \dots + n_m d_m}{n_1 + n_2 + \dots + n_m} \quad (10)$$

Это среднеарифметический диаметр. Здесь n означает число шариков данного размера во фракции.

$$\text{в) } d = \sqrt[3]{\frac{n_1 d_1^3 + n_2 d_2^3 + \dots + n_m d_m^3}{n_1 + n_2 + \dots + n_m}} \quad (11)$$

или:
$$d = \sqrt[3]{\frac{6C}{\pi n \rho}} \quad (12)$$

Существуют и другие выражения для определения средних величин. Получаемые по всем этим выражениям „средние“ значения диаметров значительно отличаются друг от друга и это отличие возрастает с увеличением α . Например, среднеобъемный диаметр, подсчитанный по выражению (12), всегда больше среднеарифметического диаметра. Но, при $\alpha = 1,1$ эта разница составляет $0,3\%$, а при $\alpha = 2$ она становится $10,1\%$.

К сказанному еще следует добавить следующее: крайне трудно найти объективный размерный состав (значения n_1, n_2, \dots, n_m в ур. 10 и 11) фракции. Это делается с помощью микрофотоснимков (речь идет о малых частицах). При этом можно снять десятки, в крайнем случае сотни частиц, между тем в одном грамме стеклянных шариков размером например 60 микрон их число составляет несколько миллионов.

В) Следующее затруднение, вызываемое немонодисперсностью частиц, заключается в неизбежности возникновения неравномерной концентрации φ взвеси по ее высоте, что является следствием сепарации частиц. Это явление подробно изучено и изложено ранее [17] и потому ограничимся только ссылкой.

Все изложенные затруднения исчезают и опытные данные приобретают хорошую достоверность, если значение α не превышает 1,1.

Метод непосредственного измерения (метод № 2)

Сущность заключается в том, что в колонку 1 (рис. 3а) с постоянной скоростью сыплется сухой песок, который, пройдя колонку, собирается в емкости 2. Вытесненная песком жидкость отводится сверху колонки. Измерением объемной скорости отводимой жидкости определяется объемная скорость подачи песка, $q \text{ см}^3/\text{сек}$. При помощи пьезометрических трубок 3, 4, 5, 6, определяется плотность возникшей в колонке смеси и наступление стационарности процесса.

Зная плотности среды, песка и смеси можно определить объемное содержание песка φ в колонке. Зная также сечение колонки F , можно подсчитывать скорость стесненного падения;

$$C = \frac{q}{F\varphi}. \quad (13)$$

Было установлено, что этот способ изменения C пригоден для малых φ (до 0,07), при больших φ достижение равномерной концентрации твердой фазы по высоте колонки сильно затрудняется.

Существенными недостатками этого способа являются:

1. Затруднительность или невозможность измерений C при больших φ .

2. Необходимость наличия большого количества материала (частиц). По этой причине мы не смогли этот способ применить для измерения C шарообразных частиц.

3. Возможность больших погрешностей. Дело в том, что в колонке может легко возникать смешанное падение вместо настоящего стесненного [14].

П. Ф. Еремин [18] применял этот способ (взамен пьезометрических трубок он применял отсекатели) без учета указанных выше особенностей. Без риска ошибиться можно утверждать, что в его очень коротком приборе имели место: 1) недостижение равновесной концентрации φ и 2) смешанное падение взамен стесненного.

Следует отметить еще следующие обстоятельства. Расход твердой фазы — $q/F = C \cdot \varphi$, имеет согласно уравнения (2), свой максимум. Если концентрацию взвеси, соответствующей максимуму расхода обозначить через φ' , то

$$\varphi' = \frac{1}{n+1}, \quad (14)$$

где n — степень m в уравнении (2).

Значение φ' для сферических частиц колеблется в пределах 0,167—0,28, в зависимости от числа Рейнольдса. Для бесформенных частиц нижний предел φ' может дойти до 0,1. Нетрудно понять, что по методу № 2 можно, теоретически, измерить C до значения $\varphi = \varphi'$. Измерение C для больших значений φ — невозможно.

Метод измерения C в потоке суспензии (метод № 3)

Этот метод нами описан ранее [19]. Затем сотрудник нашей лаборатории Н. С. Икарян этот метод проверил экспериментально. Из большого количества кварцевого песка, путем многократной тщательной гидравлической сепарации было выделено около 1,5 кг очень узкой, почти монодисперсной (по гидравлической крупности) фракции. Взаимосвязь $C=f(\varphi)$ для этой фракции была экспериментально определена как методом взвешенного слоя, так и методом измерения C в потоке суспензии. Результаты этой проверки приведены на рис. 8. Совпадение точек обоих методов измерения вполне хорошее.

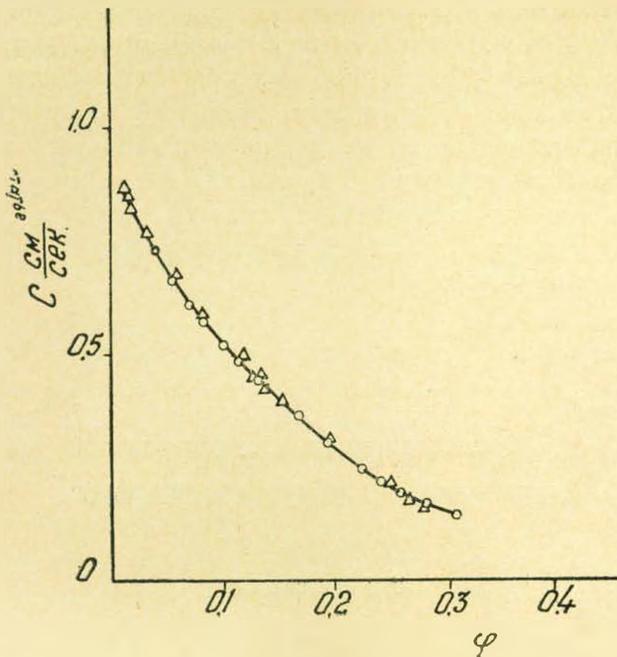


Рис. 8.

В ы в о д ы

1. Метод взвешенного слоя дает вполне надежные данные для выявления закономерностей стесненного падения сферических частиц при соблюдении изложенных выше требований (о диаметре колонки, сферичности, гомогенности и монодисперсности частиц, вертикальности колонки и изотермичности опытов).

Этот метод дает хорошие результаты и при измерениях скоростей стесненного падения бесформенных частиц, если соблюдены указанные требования, конечно, за исключением требования о шарообразности частиц. Закономерности падения бесформенных частиц отличны от таковых для шарообразных частиц и изложены отдельно [13].

2. По сравнению с другими методами измерения C , метод взвешенного слоя имеет следующие важные преимущества: а) простота схемы, позволяющая легко создавать изотермические условия, а также отделить систему от окружающего влажного воздуха (когда это требуется, например при опытах с глицерином); б) потребность небольших количеств твердой фазы, что в некоторых случаях имеет решающее значение (например, очень трудно иметь монодисперсные или почти монодисперсные частицы в больших количествах).

3. Метод непосредственного измерения C имеет ряд недостатков, указанных выше и для своего осуществления требует больших количеств твердой фазы.

4. Метод измерения C в потоке суспензии, по сравнению с методом взвешенного слоя, является более сложным и громоздким и для своего осуществления требует больших количеств твердой фазы. Однако при этом методе: а) измерение скоростей C осуществляется в условиях, подобных условиям непрерывных производственных процессов и б) могут быть измерены C также для очень малых φ , что затруднительно, а иногда невозможно сделать методом взвешенного слоя. Метод измерения C в потоке является хорошим дополнением к методу взвешенного слоя.

Институт органической химии
АН Армянской ССР

Поступило 12 III 59

Ա. Մ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ և Ա. Ա. ԶԱՄԻՆՅԱՆ

ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԿԱՇԿԱՆԳՎԱԾ ԱՆԿՈՒՄ

(Հաղորդում 1)

Ա մ փ ո փ ո մ

Արդյունաբերության և տեխնիկայի տարրեր բնագավառներում հաճախ կիրառվում են պրոցեսներ, որոնք կապված են շարժվող սուսպենզիայի հետ: Այդ պրոցեսները հաշվելու, ինչպես նաև տեխնոլոգիական և ապարատուրային խնդիրները ճիշտ լուծելու համար անհրաժեշտ է առաջին հերթին իմանալ կաշկանդված անկման օրինաչափությունները:

Գրականության մեջ եղած տվյալները [1—11] իրարից շատ են շեղվում, որը պարզ հրեում է նկ. № 1 և № 2-ում: Բոլոր հեղինակների առաջարկած բանաձևերն ունեն (2) տեսքը, կամ հեշտությամբ բերվում են այդ տեսքին: Տվյալների շեղումները կախված են. ա) մասնիկների շարժման տարրեր բնագավառների (լամինար, անցման և տուրբուլենտ) ընդգրկման աստիճանից, բ) K — գործակից (2) արժեքից, գ) n — աստիճանացույցի (2) արժեքից և դ) մասնիկների շարժման անցման բնագավառի սահմանագտումից ըստ Re -ի թվի:

Նկատի ունենալով, որ չափման եղանակը շեղումների պատճառ կարող է հանդիսանալ, զբաղվել ենք մեթոդիկայի մի շարք հարցերի հետազոտու-
լ ամբ:

Սույն հազորդման մեջ բերվում են կաշկանդված անկման չափման երեք եղանակ, ա) կախվածքի եղանակ, բ) անմիջական չափման եղանակ և գ) հոսող սուսպենզիայում չափելու եղանակ:

Մանրամասնորեն ուսումնասիրված է կախվածքի եղանակը:

Եզրակացություններ.

1. Կախվածքի եղանակը տալիս է հոսալի տվյալներ գնդաձև մասնիկների կաշկանդված անկման օրինաչափությունները բացահայտելու համար, եթե պահպանվում են մեթոդիկայի պահանջները՝ մասնիկի և փորձախողովակի արամագծերի հարաբերություն, մասնիկների գնդայնություն, համասեություն և մոնոդիսպերսություն, փորձախողովակի ուղղահայացության և փորձերի իզոթերմիկության վերաբերյալ:

2. Կաշկանդված անկման C արագության չափումը կախվածքի եղանակով, մյուս երկու եղանակների նկատմամբ, ունի հետևյալ առավելությունները. ա) սխեմայի պարզություն, որը հնարավորություն է տալիս հեշտությունը իզոթերմիկ պայմաններ ստեղծել և անհրաժեշտ դեպքում (օրինակ զլիցերինի հետ փորձ անելիս) սխտեման մեկուսացնել շրջապատող խոնավ օդից, բ) փոքրաքանակ պինդ ֆազայով աշխատելու հնարավորություն, որը բոլոր դեպքերում ունի կարևոր նշանակություն (օրինակ շատ դժվար է ունենալ մեծ քանակությամբ մոնոդիսպերս մասնիկներ):

3. C -ի անմիջական չափման եղանակն ունի մի շարք թերություններ և պահանջում է պինդ ֆազայի մեծ քանակներ:

4. Շարժվող սուսպենզիայում C -ի չափման եղանակը կախվածքի եղանակի համեմատությամբ ավելի բարդ և մեծածավալ է և պահանջում է մեծաքանակ պինդ ֆազա, սակայն ունի հետևյալ առավելությունները. ա) C -ի չափումը կատարվում է արդյունաբերության մեջ կիրառվող անընդհատ պրոցեսներին նման պայմաններում, բ) հնարավորություն է ստեղծվում C -ն չափելու շատ փոքր φ -ի (պինդ ֆազայի ծավալային կոնցենտրացիա) դեպքում, որը շատ դժվար է, իսկ երբեմն էլ անհնարին, կախվածքի եղանակով: Այս եղանակը կախվածքի եղանակով C -ի չափման շատ լավ լրացում է հանդիսանում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Лященко П. В., Гравитационные методы обогащения, 1940, гл. 8.
2. Ясюкевич С. М., Обогащение руд, 1947.
3. Жуков И. Н., Коллоидная химия, 1949.
4. Бенья Я., Chem. Zvesti, Roc. 9, № 6, 376 (1955).
5. Льюис В. К., Гилланд Э. Р. и Байер В. К. Ind. Eng. Chem. 41, 1104 (1949).
6. Бротц В., Chem. Ing. Technik, 24 Jahrg, 1952, № 2.
7. Льюис Е. В. и Боверман Е. В., Chem. Eng. Progr., 48, 603 (1952).
8. Иотранд Р., Chem. Eng. Sci. 3, 12, (1954).
9. Ричардсон и Захи, Trans. Inst. Chem. Eng. (London), 32, 35 (1954).
10. Еркова Л. Н. и Смирнов Н. И., ЖПХ, XXIX, стр. 1175, 1956.
11. Минц Д. М., ДАН СССР, т. 83, № 4, 1952.
12. Еркова Л. Н. и Смирнов Н. И. ЖПХ, XXIX, стр. 1424, 1956.
13. Гаспарян А. М. и Икарян Н. С., ДАН Армянской ССР, XXVI, № 2, 1958.
14. Гаспарян А. М. и Заминян А. А., ДАН Армянской ССР, XXVI, № 1, 1958.

15. *Фигуровский Н. А.*, Седиментометрический анализ, стр. 76, 1948.
16. *Еркова Л. Н.* и *Смирнов Н. И.*, ЖПХ, XXIX, вып. 5, стр. 733, 1956.
17. *Гаспарян А. М.* и *Замян А. А.*, ДАН Армянской ССР, XXV, № 4, 1957.
18. *Еремин Г. Ф.*, Цветные металлы, № 4, 1951.
19. *Гаспарян А. М.* и *Замян А. А.*, ДАН Армянской ССР, XXVIII, № 3, 1959.