

ГИДРАВЛИКА

А. М. ГАСПАРЯН, Т. Г. КОЛЧАЯН, И. С. ИКАРЯН

О ПОТЕРЯХ НА ТРЕНИЕ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ СУСПЕНЗИИ

В химической технологии и других областях техники все шире применяются процессы, связанные с непрерывным вертикальным перемещением двухфазного потока жидкость—твердое тело. В связи с этим возникла необходимость в разработке обоснованных методов расчета устройств и аппаратов, принципы действия которых основаны на общих закономерностях движения частиц в потоке жидкости. В настоящее время накоплены богатые опытные данные по горизонтальному перемещению, являющемуся основным видом рудничного транспорта и транспорта хвостов обогатительных фабрик. Однако опытных данных, необходимых для получения расчетных зависимостей при вертикальном транспорте, еще недостаточно, а в имеющихся данных имеется противоречие.

Морстер и Денни [1], Дюран [2], а также Мальцев [3] на основании проведенных исследований приходят к выводу, что при движении гидросмесей по вертикальным трубам градиент давления i остается практически тем же, что и при движении чистой воды. В [4] предложены зависимости потерь напора для восходящего и нисходящего потоков в виде:

$$\frac{i_e - i_{on}}{i_{on} \cdot \varepsilon} = 145 \frac{gD}{V^2} \cdot \frac{C_0}{\sqrt{gd}}; \quad (1)$$

$$\frac{i_e - i_{on}}{i_{on} \cdot \varepsilon} = -250 \frac{gD}{V^2} \cdot \frac{C_0}{\sqrt{gd}}. \quad (2)$$

где i_e и i_n — потери напора на единицу длины пути для восходящего и нисходящего потоков суспензии, выраженные столбом чистой воды, i_{on} и i_{on} — соответствующие потери для чистой воды, ε — концентрация твердой фазы в расходе суспензии, C_0 — гидравлическая крупность частиц, D и d — диаметры трубопровода и частиц, V — средняя скорость гидросмеси.

Ньюит и Ричардсон [5] считают, что потери напора на трение можно рассматривать как сумму двух составляющих $i = i_0 + i_1$, где i_0 — падение напора, обусловленное течением воды, и i_1 — падение напора, обусловленное наличием твердых частиц. Результаты своих экспериментов они дают в виде зависимости:

$$\frac{i - i_0}{i_0 \cdot \varepsilon} = 0,0037 \left(\frac{gD}{V^2} \right)^{1/2} \left(\frac{D}{d} \right) \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^2. \quad (3)$$

Сопоставление приведенных зависимостей вскрывает их противоречивость. В качестве примера на рис. 1 приводим результаты расчета потерь напора по формулам различных авторов для трех случаев транспортирования песчаных гидросмесей. Здесь i — потери напора при движении

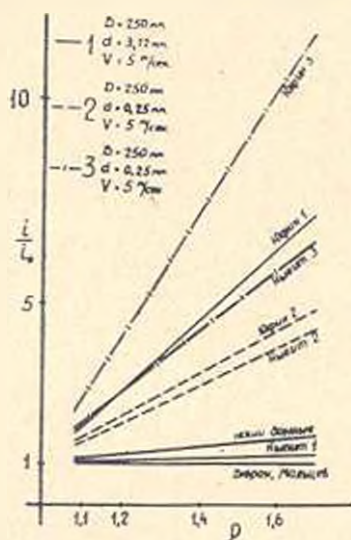


Рис. 1.

гидросмеси, i_0 — соответствующие потери при движении чистой воды, ρ — плотность транспортируемой суспензии. Как видно из рис. 1, по данным Ньютона и Юфина $\frac{i}{i_0}$ сильно влияют d , V и ρ .

По данным Дюрана и Мальцева $\frac{i}{i_0}$ не зависит ни от диаметра трубы, ни от диаметра частиц, ни от плотности суспензии. По нашим опытным данным $\frac{i}{i_0}$ зависит лишь от плотности суспензии.

Отношение $\frac{i}{i_0}$ по Юфину гораздо выше, чем по Ньютону. С уменьшением диаметра частиц, при прочих одинаковых

условиях $\frac{i}{i_0}$ по Юфину уменьшается, а по Ньютону растет (пример 2). С уменьшением скорости для тех же частиц $\frac{i}{i_0}$ по Юфину возрастает гораздо интенсивнее, чем по Ньютону (пример 3).

Имея виду противоречивые результаты различных опытов, авторы статьи считали необходимым дальнейшее экспериментальное исследование вертикальных потоков двухфазных систем.

Надо заметить, что все экспериментаторы проводили свои опыты при скоростях выше 2—3 м/сек с суспензиями объемной концентрации не более 10%. Но так как в химической технологии процессы, связанные с вертикальным перемещением, зачастую протекают при скоростях гораздо более низких и объемная концентрация двухфазного потока может быть от самой разбавленной до насыщенной, нами изучались системы, объемная концентрация которых менялась в широких пределах, при скоростях от 0,08 до 2,5 м/сек.

При вертикальном движении гидросмеси твердые частицы движутся в потоке с некоторой скоростью V_1 , отличной от скорости воды V_0 , в силу разности плотностей. Причем, при движении вверх, скорость $V_1 < V_0$, а при движении вниз $V_1 > V_0$. Вследствие этого истинная концентрация ρ твердых частиц в потоке, направленном вверх, больше, а в потоке, движущемся вниз, меньше расходной концентрации ρ . Уравнения, описывающие вертикальное движение суспензии, были найдены ранее [6]:

для восходящего потока

$$\varphi = \frac{V \cdot z}{V - u}; \quad (4)$$

для нисходящего потока

$$\varphi = \frac{V \cdot z}{V + u}, \quad (4a)$$

где φ — истинная объемная концентрация твердой фазы, возникающая в трубе при движении по ней вертикального потока, z — объемная доля твердой фазы в расходе суспензии, u — скорость стесненного падения частиц, V — средняя скорость потока суспензии. Авторы всех упомянутых выше работ также указывали на наличие разницы между истинной и расходной концентрациями, но так как все они проводили опыты при больших скоростях транспортирования, то считали, что разницей между действительной и расходной концентрациями можно пренебречь и все расчеты вели по расходной концентрации z .

Нами были проведены эксперименты по вертикальному транспортированию водопесчаной смеси. Эксперименты проводились в трубах диаметром $D = 3,35$ мм, 7, 15 мм, 9,6 мм, 14,04 мм и 27,3 мм с кварцевым песком фракций — 0,25–0,2 мм и — 0,15 мм при направлении потока вверх и вниз. Объемная концентрация суспензии менялась в пределах от 3 до 42%, а скорость потока от 8 см/сек до 250 см/сек.

Система состояла из двух монжусов 1а и 1б, объемом 150 л каждый. Питание системы происходило по центральной трубке монжуса 1а при открытии крана 11 на линии подачи воды (рис. 2). В основу получения

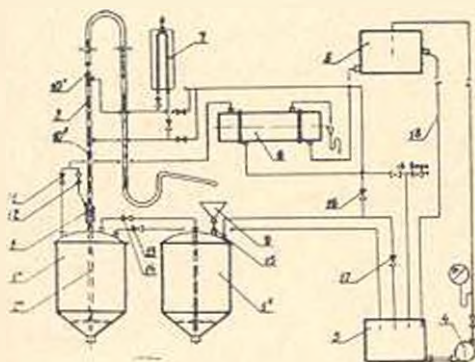


Рис. 2.

суспензии постоянного состава был положен метод, описанный в [7]. Разбавление пасты до желаемой концентрации производилось на выходе из центральной трубки в стеклянном смесителе 8. Необходимая скорость и концентрация получались регулировкой кранов 11 и 12 на линии подачи воды. Система подачи воды состояла из бака воды 3, насоса 4, напорного бака 5. Постоянство напора поддерживалось с помощью сливного патрубка 18 на баке 5. Для дегазации циркулирующей в системе воды производился ее подогрев в баке 5 и последующий

щес охлаждение в холодильнике 6. Постоянство температуры циркулирующей воды обеспечивалось контактным термометром. Разбавленная до желаемой концентрации суспензия двигалась вверх по трубе, на которой имелись отводы к манометру, снабженные сеткой для улавливания песка. Потери напора на трение при движении суспензии измерялись при помощи манометра 7 в точках, отстоящих друг от друга на расстоянии 50 см. Кроме того, производилось определение истинной концентрации, возникающей в трубе при движении суспензии. Измерение производилось одновременным закрытием кранов 10а и 10б на трубе с последующим извлечением, высушиванием и взвешиванием содержащегося в ней песка.

В результате экспериментов установлено, что выведенные ранее уравнения (4) и (4а) не всегда справедливы. Дело в том, что эти уравнения были получены теоретически при допущении, что взвесь по всему сечению потока распределена равномерно. Однако, при больших скоростях и малых отношениях $\frac{D}{d}$ это допущение не оправдывается. С увеличением скорости твердые частицы, по-видимому, несколько удаляются от стенок и у стенок образуется кольцо чистой воды, а твердые частицы распределены в некотором сечении $F_{\text{ср}}$, которое меньше F . Поэтому $\eta_{\text{оп}}$ оказываются меньше, чем $\eta_{\text{расч}}$, причем расхождение между $\eta_{\text{оп}}$ и $\eta_{\text{расч}}$ зависит от скорости гидросмеси и концентрации твердой фазы в ней. Кроме того, сравнение опытов, сделанных на трубах разных диаметров, показывает, что значения $\eta_{\text{оп}}$ при одних и тех же скоростях V и концентрациях ϵ зависят в известных пределах также от диаметра трубы D (или вернее от отношения диаметров трубы и частиц $\frac{D}{d}$). С увеличением D или отношения $\frac{D}{d}$ значения $\eta_{\text{оп}}$ и $\eta_{\text{расч}}$ приближаются и при отношении $\frac{D}{d} > 100$, влияние D , а также V и ϵ исчезает, и уравнения (4) и (4а) дают результаты, хорошо согласующиеся с опытом.

Экспериментальные данные по потерям напора вертикального потока были обработаны в серии кривых $i = f(V)$, где i — потери напора на трение, в см столба движущейся среды. Анализ этих кривых показал, что потери напора не зависят от направления потока; падение давления на трение на единицу длины, выраженное в см столба среды не зависит от объемной концентрации движущейся среды и численно равно падению напора для чистой воды, движущейся с той же скоростью.

В качестве иллюстрации на рис. 3 приводится кривая зависимости i от V , полученная при вертикальном перемещении кварцевого песка фракции — 0,25—0,2 мм по трубе $D = 27,3$ мм, а на рис. 4 кварцевого песка фракции — 0,05 мм по трубе $D = 7,15$ мм. Сплошные линии представляют потери напора при движении чистой воды, выраженные

столбом чистой воды, а экспериментальные точки представляют потери напора, выраженные столбом протекающей суспензии.

Расчет потерь напора на трение τ при движении гидросмесей по вертикальным трубам можно производить по формуле Дарси-Вейсбаха,

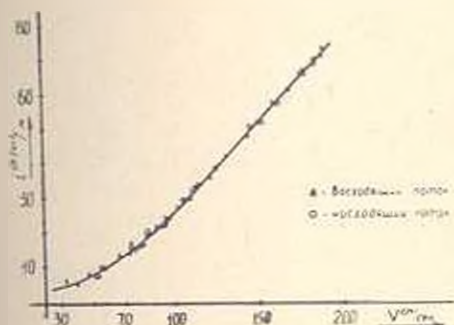


Рис. 3.

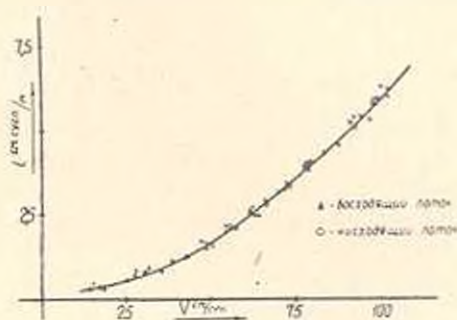


Рис. 4.

умножением полученного результата на действительный удельный вес гидросмеси, который может быть определен по формуле:

$$\gamma = \gamma_0 + \varphi \left(\frac{\gamma_1 - \gamma_0}{\gamma_0} \right), \quad (5)$$

где γ_0 — удельный вес воды, γ_1 — удельный вес твердой фазы, φ — объемная доля твердых частиц в смеси.

В ы в о д ы

1. Экспериментально найдено, что уравнения (4) и (4а) справедливы для всех скоростей и концентраций при отношениях диаметров трубопровода и частиц, превышающих 100.

2. Показано, что при вертикальном перемещении суспензии, потери напора на трение, выраженные столбом жидкости, удельный вес которой равен удельному весу суспензии, а вязкость — вязкости воды, равны потерям напора для чистой воды, выраженным водяным столбом.

Институт органической химии

АН Армянской ССР

Поступило 15.VII.1968.

И. М. ГАБРИЕЛЯН, С. Ф. ЧИЛДЖИАН, В. И. БОДЖИАН

ՇՊՐԱՆ ԿՈՐՐԵԿՏՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ ՈՐԻՍՏԱՆԳՐԱՆԵՐԻ ՌԵԶՈՒԶԻԴ
ՇԱՐԺՈՒՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում նշվում է, որ կարծր մարմին-Տիկուկ երկֆազ հոսքի պրոցեսի էքսպերիմենտալ հետազոտությունների արդյունքներում կան հակասություններ չեղինակներ, հիմնով իրենց կատարած փորձերի արդյունքներից, հանդիսանում են հերքական, որ կարծր ֆազի իրական ժափալային կոնցենտրացիայի (որն առաջանում է իոդովակում ուղղաձիգ հոսքի շարժման ժամանակ) 2 ԽԱ Ձ. 3.

նակ), մասնիկների դժարացած անկման արագության մինչև նախկինում իրենց կողմից տված կախումները հիմնադր են բոլոր արագությունների ու կոնցենտրացիաների համար՝ երբ խոզովակաչարի ու մասնիկների տրամագծերի հարաբերությունը 100-ից ավելի է:

Լ Ի Տ Ե Ր Ա Տ Ր Ա

1. Worster R. C., Denny D. F., Proc. Instn. Mech. Engrs. 169, 563, 1955.
2. Durand R. la Houille Blanche, 8, 124, 1953.
3. Мильцев М. В. Движение неоднородных жидкостей, вып. 45, 31, М., 1963.
4. Юфин А. П., Белова Н. Т. Движение неоднородных жидкостей, вып. 45, 21, М., 1963.
5. Newitt D. M., Richardson J. F. Trans. Instn. Chem. Engrs. 33, 93, 1961.
6. Դասարյան Ա. Մ., Համբարձումյան Ա. Ա. ԻԱՊ ԱրմССР, տ. 28, № 8, 1959.
7. Դասարյան Ա. Մ., Առաքյան Բ. Ե., Կազմյան Ջ. Ա. Известия АН АрмССР (серия ТН), т. XV, № 6, 1962.