

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А. М. ГАСПАРЯН, Р. М. МИРЗАХАНИЯН

ПНЕВМОТРАНСПОРТ КРУПНОЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ
В ПЛОТНОМ СЛОЕ

Под „крупнозернистыми“ подразумеваются материалы, частицы которых имеют размер более одного *мм*, падение которых в воздухе происходит в турбулентной области. Обычный способ пневмотранспорта (в разбавленном слое) таких материалов широко применяется в технике, но он имеет, по крайней мере, два крупных недостатка, вытекающих из применения неизбежных больших линейных скоростей транспорта. Этими недостатками являются большой удельный расход воздуха, а также повреждение, износ и распыление частиц. Последнее обстоятельство особо вредно, что делает невозможным применение пневмотранспорта для сравнительно хрупких материалов. В нефтеперерабатывающей промышленности широко применяется обычный способ пневмотранспорта для алюмосиликатного катализатора, который является достаточно крепким и труднораспыляемым материалом. Но, тем не менее, при многократной циркуляции, частицы этого катализатора изнашиваются и образовавшаяся пыль теряется. На одном из заводов, где ежедневно транспортируется 100 *т* катализатора, точные потери из-за распыления составляют 5 *т*, стоимостью около 3500 *руб.* При пневмотранспорте семенного зерна значительный его процент теряет схожимость. Осуществление пневмотранспорта в плотном слое с любыми малыми скоростями перемещения материала приведет к резкому уменьшению этих недостатков и расширит область применения этого весьма удобного способа транспорта. Над этой проблемой работали ряд авторов [1—5], однако задача осталась пока нерешенной, и такой способ пневмотранспорта еще не получил промышленного осуществления. Нам кажется, что отсутствие успеха объясняется тем, что механизм псевдооживления слоя и поведение псевдооживленного слоя в транспортном трубопроводе недостаточно выяснены. Наши исследования привели к некоторым новым результатам в этой области. В этой статье изложены результаты исследования концентрации неподвижного слоя, как первого шага в решении рассматриваемой проблемы.

1. Слой, состоящий из моодисперсных сфер теоретически [6], может иметь объемную концентрацию φ от 0,523 (при параллельной упаковке) до 0,741 (при шахматной упаковке). Практически же частицы всегда располагаются так, что концентрация слоя всегда боль-

ше 0,523 и меньше 0,741. Наши эксперименты показали, что наиболее рыхлый слой имеет концентрацию $\varphi_0 = 0,563$ (когда диаметр слоя D превышает диаметр частицы d более чем в 20 раз), а наиболее плотный — $\varphi_1 = 0,630$. Степень плотности упаковки зависит в указанных пределах от условий образования слоя. Исследовалось влияние условий образования неподвижного слоя на φ по следующей методике. В стеклянную колонку 1 (рис. 1) с сетчатым дном засыпалась навеска G сферических частиц, образующих слой высотой h , диаметром D и концентрацией φ . Затем этот слой (после тщательной промывки с целью удаления пузырьков воздуха) расширялся потоком воды до некоторой высоты H и выдерживался в течение нескольких минут в стационарном состоянии. После этого, путем прекращения подачи воды, частицы вновь осаждались с образованием неподвижного слоя, концентрация φ которого, как показали эксперименты, зависит от соотношения H/h .

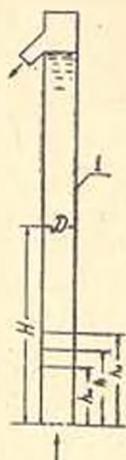


Рис. 1.

Как видно из рис. 2, в определенной области значений H/h образуется осадок с минимальной концентрацией φ_0 . Неподвижный слой с концентрацией φ_0 очень неустойчив и при еле заметных внешних воздействиях немедленно несколько уплотняется, придя в более устойчивое состояние. Для фракции

0,4—0,42 мм помолы стекла (кривая 1) $\varphi_0 = 0,417$, но эта минимальная и неустойчивая концентрация очень легко, часто при самом производстве опыта, переходит в более плотное состояние с концентрацией φ_0 , около 0,42 (пунктирный участок кривой 1), отличающийся от φ_2 примерно на 0,5%. Кривые 2—4 показывают зависимость φ от H/h для сферических частиц стекла ($d = 0,09$ мм, $\rho = 2,29 \frac{\Gamma}{\text{см}^3}$, $Re = 0,638$), алюмосиликата ($d = 1,3$ мм, $\rho = 1,65 \frac{\Gamma}{\text{см}^3}$, $Re = 183$) и свинца ($d = 1,22$ мм, $\rho = 11 \frac{\Gamma}{\text{см}^3}$, $Re = 565$).

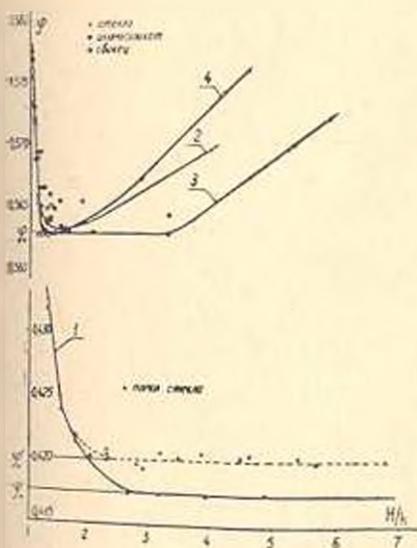


Рис. 2.

Приведенные данные получены на стеклянных колонках с диаметром D , превышающим диаметр частиц d более чем в 20 раз. Высота H определялась по шкале с точностью в 1 мм, а высота h при помощи катетометра с точностью тысячной доли миллиметра.

Этими и многочисленными другими экспериментами установлено наличие такой области отношений H/h , когда данные частицы образуют неподвижный слой максимальной высоты h_0 и соответствующей ему минимальной концентрацией φ_0 . Результаты опытов сведены в табл. 1 и 2, где δ — диаметр частиц, ρ — их плотность, D — диаметр колонки, φ_m — максимальная концентрация слоя.

Таблица 1

Экспериментальные значения φ_0 и φ_m для сферических частиц

Материал	δ мм	ρ г/см ³	D/δ	В среде воды		В среде воздуха	
				φ_0	φ_m	φ_0	φ_m
Свинец	3,5	11,0	10	0,552	0,596	0,555	0,605
.	1,22	11,0	12,5	0,545	0,599	0,553	0,605
Чугун	2,0	7,54	17	0,557	0,610	0,570	0,625
Сталь	1,0	7,76	15	0,556	0,603	—	—
Алюмосиликат	3,0	1,65	11,4	0,541	0,605	0,511	0,610
.	2,45	1,65	14	0,558	0,611	0,562	0,615
.	2,0	1,65	17	0,561	0,613	0,565	0,630
.	1,3	1,65	26	0,563	0,621	0,568	0,628
.	1,3	1,65	11,7	0,526	0,604	0,540	0,610
.	1,0	1,65	15	0,533	0,603	—	—
Стекло	0,178	2,52	56	0,566	0,628	—	—
.	0,126	2,52	79	0,565	0,632	—	—
.	0,090	2,52	110	0,563	0,628	—	—
.	0,063	2,52	158	0,568	0,624	—	—

Таблица 2

Экспериментальные значения φ_0 и φ_m для бесформенных частиц

Материал	δ мм	ρ г/см ³	D/δ	Водная среда		Воздушная среда	
				φ_0	φ_m	φ_0	φ_m
Стекло	0,15—0,20	2,52	50—67	0,395	0,505	0,389	0,500
Уголь	0,15—0,20	1,53	50—67	0,440	0,560	0,442	0,565
Базальт	0,15—0,20	3,00	50—67	0,410	0,498	0,405	0,492
Известняк	0,15—0,20	2,70	50—67	0,451	0,548	0,455	0,545
Галениг	0,15—0,20	7,73	50—67	0,453	0,552	0,448	0,555
Кварцевый песок	—	2,64	50—67	0,527	0,595	0,530	0,600
Полиэтилен	0,15—0,20	0,91	—	—	—	0,091	0,151
Нефелиновый снегит	0,15—0,20	2,67	46—158	0,440	0,585	—	—
Кварцит	—	2,63	46—158	0,439	0,568	—	—
Булажирит	—	6,20	46—158	0,318	0,452	—	—

Степень монодисперсности испытанных частиц была такова: стальные частицы — шарики — практически были монодисперсны. Остальные, за исключением стеклянных, были выделены из большого количества материала особо тщательно, и соотношение диаметров наиболее крупной и самой мелкой частиц в данной фракции не превышало 1,1. Стеклянные шарики, изготовленные по ранее описанному методу [7], представляли из себя обычную ситовую фракцию.

На основании данных табл. 1 можно сделать следующие выводы для монодисперсных сферических частиц.

Объемная концентрация неподвижного слоя в среде воды, при $D/\delta \gg 20$, может колебаться в пределах от $\varphi_0 = 0,563$ до $\varphi_m = 0,630$. В среде воздуха φ_0 и φ_m на 1–2% больше по сравнению с их значением в воде. Концентрация φ слоя в других средах нами не изучалась, однако на основании данных таблицы 1 и 2 можно заключить, что влияние плотности среды на φ слоя незначительно. При этом имеется в виду, что плотности частиц и среды не очень близки и вязкость среды не очень велика.

Диаметр частиц δ и их плотность ρ не имеют ощутимого влияния на φ . Соотношение φ_m/φ_0 для сферических частиц постоянно, равно $\sim 1,12$ и практически не зависит от среды.

2. Из данных табл. 2 следует, что φ_0 и φ_m для слоя, состоящего из несферических частиц, в большой степени зависят от степени сферичности формы частиц [8]. Округлый кварцевый песок имеет почти такие же φ_0 и φ_m , как сферические частицы. Помол буланжерита имеет $\varphi_0 = 0,318$, а порошок полиэтилена — 0,091 или в 6,2 раза меньше, чем сферы. В отличие от слоев сферических частиц, в слоях, указанных в табл. 2, отношение φ_m/φ_0 не является постоянным и колеблется в широком диапазоне. Влияние же водной и воздушной сред на плотность упаковки слоя практически незаметно.

3. Отношение D/δ , когда оно небольшое, имеет сильное влияние на φ . На рис. 3 приведена кривая $\varphi = f(D/\delta)$. Если $D/\delta = 1$, то сферические монодисперсные частицы упаковываются практически наиболее плотно, с концентрацией

$$\varphi = \frac{\pi}{6} \delta^3 : \frac{\pi}{4} \delta^3 = 0,66.$$

Наиболее рыхлый слой, согласно экспериментам, получается при $D/\delta = 1,4 - 1,7$, когда концентрация φ снижается до 0,37. Дальнейший рост D/δ приводит к росту φ , но это влияние после $D/\delta \approx 20$ практически перестает иметь место.

4. Сильно полидисперсные ча-

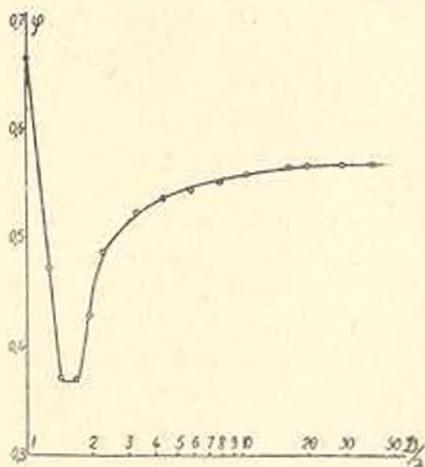


Рис. 3.

стицы образуют более плотные слои. Так, из пяти узких фракций алюмосиликатных шариков (средние диаметры фракций 1,3, 2,0, 2,27, 2,5 и 3,0 мкм) была составлена смесь, которая образует слой с $\varphi_0 = 0,577$ и $\varphi_m = 0,635$. Для составления смеси брались равные навески фракций, тщательно перемешивались и загружались в колонку. Опыт проводился с учетом того, чтобы сепарация частиц по величине была ми-

нимальной. Когда же слой из смеси расширяться в большой степени и выдерживался во взвеси в течение длительного времени, то, в силу возникшей значительной сепарации, осадок такой взвеси имел такие же φ_0 и φ_{∞} , как и монденерсные частицы.

НИИ органической химии
АН АрмССР

Поступило 12.I.1966

Ա. Մ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Բ. Մ. ՄԻՐԶԱԽԱՆՅԱՆ

ԽՈՇՈՐԱԶՍԻԿ ԵՅՈՒԹԵՐԻ ՊՆԵՎՄՈՏԲԱՆՍՊՈՐՏ՝ ԽՆՏ ՇԵՐՏՈՎ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողորդման մեջ ցույց են արված խոշորահատիկ նյութերի (կատալիզատորներ, հացահատիկ և այլն) խիտ շերտով պենմտարանսպորտի առավելությունները նոսր շերտով պենմտարանսպորտի գործող եզանակների նկատմամբ: Չնայած առավելություններին խիտ շերտով պենմտարանսպորտը դեռևս արտադրական կիրառություն չունի, որովհետև տրանսպորտային խողովակում պեղոհեցողությամբ շերտի մխանիդմն ու վարքը լրիվ պարզված չեն: Այդ բնագավառում մեր հետազոտությունները բերել են մի քանի նոր արդյունքների: Ներկա հաղորդման մեջ արված են միայն անշարժ շերտի կոնցենտրացիայի վերաբերյալ հետազոտությունների արդյունքները:

Նշված է, որ մսնոդիսպրես դեդիկներից կազմված անշարժ շերտի ծավալային կոնցենտրացիան φ տեսականորեն կարող է լինել 0,523-ից մինչև 0,741: Փորձերը ցույց են տվել, որ իրականում φ -ն կախված է շերտի առաջացման պայմաններից: Կատարվել են տարբեր նյութերի մասնիկների բնորոշակման և նստեցման բազմաթիվ փորձեր նկ. 1 սարքով և որոշված են H/h հարաբերության այնպիսի սահմաններ, որոնց դեպքում մասնիկները առաջացնում են անշարժ շերտ ամենափոքր կոնցենտրացիայով՝ φ_0 (տես նկ. 2): Նույն սարքում որոշվել են շերտի փորձնականորեն հնարավոր ամենախիտ կոնցենտրացիաները՝ φ_{∞} : Փորձերի արդյունքները բերված են 1 և 2 աղյուսակներում:

Կատարված փորձերից պարզվել է, որ մսնոդիսպրես դեդաձև մասնիկների համար

ա) Անշարժ շերտի կոնցենտրացիան կարող է տատանվել $\varphi_0 = 0,563$ -ից մինչև $\varphi_{\infty} = 0,630$ (երբ խողովակի և մասնիկների տրամագծերի հարաբերությունը՝ $D/d > 20$): $\varphi_{\infty}/\varphi_0 = 1,12$:

բ) Միջավայրի խտության ազդեցությունը φ -ի վրա աննշան է և կարելի է արհամարհել:

գ) Մասնիկների տրամագիծը՝ δ և խտությունը ρ չեն ազդում առաջացած շերտի կոնցենտրացիայի վրա:

Տևն մասնիկների դեպքում որքան մասնիկի ձևը հեռու է դեդից, այնքան շերտի φ_0 -ն և φ_{∞} -ը ավելի փոքր են, քան նույն մեծությունները գնդիկներից կազմված շերտում: Այստեղ նույնպես միջավայրի ազդեցությունը φ -ի վրա աննշան է: $\varphi_{\infty}/\varphi_0$ հարաբերությունը հաստատուն չէ:

Նկ. 3-ում տրված է D/d հարաբերության ազդեցությունը կոնցենտրացիայի վրա, մսնոդիսպրես դեդիկների համար:

Պոլիդիսպրես մասնիկներից կազմված շերտում, եթե սեպարացիա չի կատարվել Σ_0 ան և Σ_1 ար ալելի մեծ են, քան մոնոդիսպրես մասնիկների շերտում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Разумов И. М., Чефранов О. А., Бушин А. И., Баранова П. С. Химия в технология топлива и масел, № 5, 1961.
2. Фадеев И. Г., Разумов М. М., Скобло А. И., Чефранов О. А. Известия высших учебных заведений (Нефть и газ)*, № 11, 1960.
3. Тодес О. П., Резникович К. И. Химические машиностроение*, № 1, 1963.
4. Григорян Х. А., Алиев Э. Э., Кулиев А. М. Сборник трудов по вопросам нефти и нефтепродуктов, вып. 3, Баку, 1958.
5. David S. Koons and C. E. Lauer. „Industrial and Engineering. Chemistry“, vol. 53, № 12, 1961.
6. Лейбензон Л. С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. М. — Л., 1947.
7. Гаспарян А. М. и Заминян А. А. ДАН АрмССР, т. XXIII, № 2, 1956.
8. Гаспарян А. М. и Икарин Н. С. ДАН АрмССР, т. XXXVIII, № 3, 1964.