

ГИДРАВЛИКА

Р. М. МИРЗАХАНЫАН, Р. Е. АКОПЯН

О РАСХОДЕ ВОЗДУХА ПРИ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕ  
 СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ПЛОТНОМ СЛОЕ

При пневматическом транспортировании различных сыпучих материалов важное значение имеет концентрация движущейся аэросмеси, так как с ней связаны определяющие параметры процесса — необходимое давление и расход воздуха. Эта концентрация может характеризоваться величиной объемного расхода воздуха в условиях начала транспортной трубы, необходимого для перемещения единицы массы сыпучего материала —  $n_0$  ( $\text{см}^3/\text{кг}$ )

$$n_0 = Q/G, \quad (1)$$

где  $Q$  — объемный расход воздуха в начале транспортной трубы,  $\text{м}^3/\text{с}$ ,  
 $G$  — массовый расход транспортируемого материала,  $\text{кг}/\text{с}$ .

В настоящей работе предлагается метод расчета  $n_0$  при транспортировании сыпучих материалов размерами частиц больше  $0,1 \text{ мкм}$  при помощи камерного питателя, изображенного на рис. 1 [1]. Предполагая, что в транспортную трубу поступает аэросмесь с постоянной пористостью  $\varepsilon$ , равной пористости нарыхлого неподвижного слоя данного материала, можно написать:

$$Q = w\varepsilon F; \quad (2)$$

$$G = \beta(1 - \varepsilon) F\rho_T, \quad (3)$$

В этих уравнениях  $w$  — скорость воздуха в порах между частицами,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $F$  — площадь сечения транспортной трубы,  $\text{м}^2$ ;  $\rho_T$  — плотность твердых частиц,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\beta$  — скорость твердых частиц в начале транспортной трубы,  $\text{м}/\text{с}$ .

Разность  $(w - \beta)$  есть скорость воздуха относительно движущихся частиц, а относительная скорость  $n$ , рассчитанная на полное сечение трубы, определяется как

$$n = \varepsilon(w - \beta). \quad (4)$$

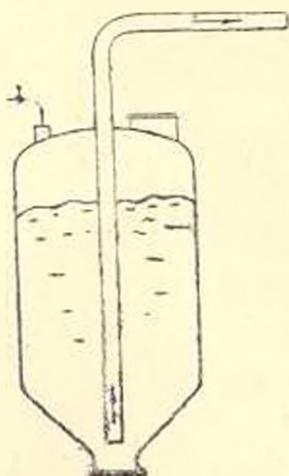


Рис. 1. Пневмотранспортная установка.

Из приведенных уравнений (1) — (4) получается следующее выражение для определения  $n_0$ .

$$n_0 = \frac{\varepsilon}{(1-\varepsilon)\rho_T} = \frac{u}{3(1-\varepsilon)\rho_T} \quad (5)$$

Для данной транспортной линии и сыпучего материала при заданной производительности значения  $\lambda$ ,  $\xi$  и  $\rho_T$  известны. Скорость  $u$  обуславливается перепадом давления воздуха  $\Delta P$  (Па) в начальном участке транспортной трубы длиной  $\Delta l$  (м), определяемым уравнением

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_u, \quad (6)$$

где  $\Delta P_0$  — перепад давления, при котором начинается пневмотранспорт. Па;  $\Delta P_u$  — потери давления на преодоление местного сопротивления при входе аэросмеси из емкости в транспортную трубу. Па;  $\Delta P_0$  равен весу частиц в слое длиной  $\Delta l$ , отнесенному к единице поперечного сечения трубы:

$$\Delta P_0 = \lambda g(1-\varepsilon)\Delta l, \quad (7)$$

где  $g$  — ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>. Потери давления  $\Delta P_u$  выражаются через скоростной напор следующим уравнением

$$\Delta P_u = \xi \frac{1-\varepsilon}{\Phi} \rho_T u^2, \quad (8)$$

где  $\xi$  — коэффициент местного сопротивления.

С другой стороны  $\Delta P$  обуславливается относительным движением воздуха со скоростью  $u$  через поры движущихся частиц и определяется уравнением [2]

$$\Delta P = \lambda \frac{3(1-\varepsilon)}{2\varepsilon^3\Phi} \frac{\Delta l}{d} \frac{\rho a^2}{2}, \quad (9)$$

где  $\rho$  — плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $d$  — диаметр эквивалентного шара, имеющего тот же объем, что и бесформенная частица данного материала, м;  $\Phi$  — фактор формы частиц;  $\lambda$  — коэффициент сопротивления, зависящий от гидродинамического режима движения воздуха через поры слоя, определяемого приведенным критерием Рейнольдса

$$Re = \frac{2a\gamma\Phi d}{3(1-\varepsilon)\mu}, \quad (10)$$

где  $\mu$  — вязкость воздуха, Па·с.  $\lambda$  рассчитывается следующим уравнением [2]

$$\lambda = \frac{122,3}{Re} \cdot \frac{u_0}{u} + 2,34 \left( \frac{u_0}{u} \right)^{0,25}, \quad (11)$$

где  $u_0$  — скорость начала псевдооживления твердых частиц, м/с.

На рис. 2 приведены опытные данные зависимости  $n_0$  от  $\xi$  при транспортировании различных сыпучих материалов по трубопроводам раз-

личных диаметров  $D$  и длин  $L$ . Значения  $n_0$  и  $\Phi$  вычислены уравнениями (1) и (3). Характеристики испытуемых материалов приведены в таблице.

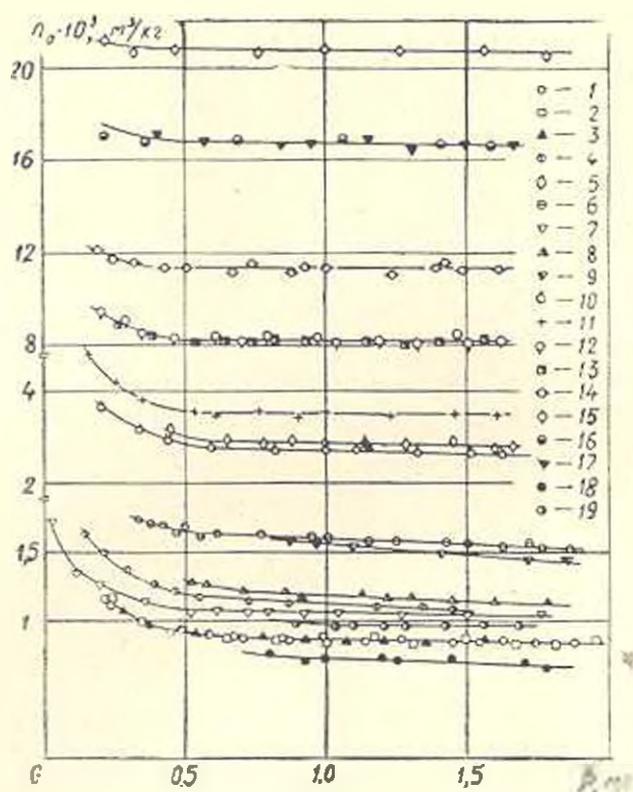


Рис. 2. Зависимость  $n_0$  от скорости твердых частиц  $v$ . 1 — кварцевый песок,  $D=52$  м.м.,  $L=10$  м; 2 — 25, 10; 3 — 78, 10; 4 — 15, 7; 5 — 8, 7; 6 — 12, 2; 7 — 19, 1,85; 8 — кремнедвуденный силан,  $D=16$  м.м.,  $L=7$  м; 9 — 11, 7; 10 — карбамид,  $D=78$  м.м.,  $L=10$  м; 11 — 52, 10; 12 — вермикулит,  $D=37$  м.м.,  $L=1,25$  м; 13 — 52, 10; 14 — 20, 2; 15 — перлит,  $D=37$  м.м.,  $L=1,25$  м; 16 — 52, 10; 17 — 68, 10; 18 — титано-магнийевый концентрат,  $D=16$  м.м.,  $L=7$  м; 19 — 11, 7.

Таблица

Характеристики транспортируемых материалов

№	Материал	$d$ , мм	$\rho_T$ , кг/м <sup>3</sup>	$\epsilon$	$\Phi$
1	Кварцевый песок	0,23	2640	0,47	0,828
2	Кремнедвуденный силан	0,17	2470	0,506	0,71
3	Карбамид	1,08	1335	0,435	0,875
4	Вермикулит	0,33	392	0,577	0,755
5	Перлит	0,45	142	0,55	0,787
6	Титано-магнийевый концентрат	0,161	4510	0,5055	0,761

Для опытных точек рис. 2 уравнениями (6), (7), (8) и (9) вычислены величины  $\zeta$ . При этом принимается  $\Delta l = 1$  м и, следовательно, полученные значения  $\zeta$  относятся к 1 м высоты слоя твердого материала. Для каждой серии опытов (при пневмотранспорте данного материала по данному трубопроводу) отклонения коэффициента  $\zeta$  от его среднего значения не превышало 5%. На рис. 3 представлена зависимость средних для каждой серии опытов значений  $\zeta$  от соотношения  $d/D$ . Получается, что  $\zeta = 28,12$  при  $d/D < 0,01$  и  $\zeta = 281200 (d/D)^2$  — при  $d/D > 0,01$ .

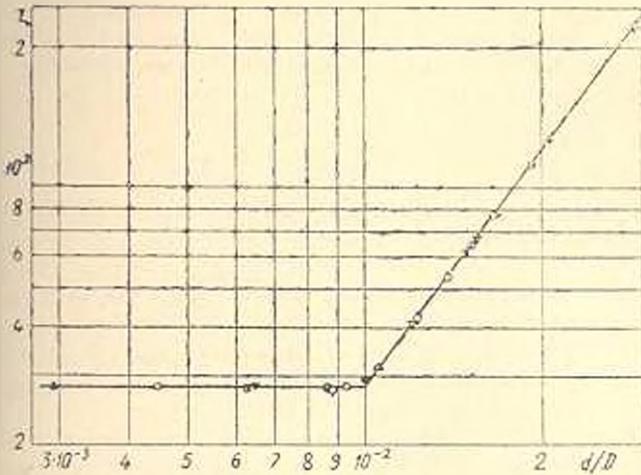


Рис. 3. Зависимость коэффициента местного сопротивления от  $d/D$  (опытные точки соответствуют условиям рис. 2).

Расчет  $n_s$  проводят в следующем порядке. Для данного материала и трубопровода уравнениями (8), (7) и (6) определяются  $\Delta P_m$ ,  $\Delta P_s$  и  $\Delta P$  (принимается  $\Delta l = 1$  м). Затем из уравнений (9), (10), (11) определяется  $u$ , а из (5) —  $n_s$ .

ГрПН им. К. Маркса

Поступило 21 II.1978

Ռ. Դ. ՄԻՐՉԱԽԱՆԿ, Ռ. Ե. ԱԿՈՅԱՆ

ՕՒՆԻ ՇԱԽԱՆՈՂ ԱՍՐՈՒՆ ԵՅՈՒԹԵՐԻ ԽՈՏ ՇԵՐՏՈՎ  
ՊԵՆՎԻՐՏՐԱՆՍՊՈՐՏԻ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Ա

Առաջարկված է եղանակ՝ խիտ շերտով պինժոտրանսպորտի ժամանակ սորոճ նյութերի միախոր քանակի սեղափոխման անհրաժեշտ ծախսը որոշելու համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гаспарян А. М., Акопян Р. Е. Авторское свидетельство. № 107815. 12.VII.1957.  
2. Мирзаханян Р. М., Акопян Р. Е., Даниелян Н. Х. Пневмотранспорт сыпучих материалов в плотном слое. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXXI, № 1, 1978