

ГИДРАВЛИКА

Р. Е. АКОПЯН

К ИССЛЕДОВАНИЮ ПНЕВМОТРАНСПОРТА  
 МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПЛОТНОМ СЛОЕ

Пневмотранспорт мелкодисперсных материалов в плотном слое, разработанный нами [1], имеет ряд преимуществ по сравнению с обычным, благодаря чему и нашел распространение в стране.

Разработка методики расчета у нас протекала в два этапа. Первый этап разработки относился сравнительно небольшим расстояниям (до 150–180 м) и изменениям концентрации (5–6 раз) [2, 3]. Во втором этапе, на основе подробных исследований удалось использовать полученные зависимости для расчетов на расстояний до 500–600 м, когда концентрация аэросмеси менялась до (10–50) раз [4, 5].

Несмотря на надежность разработанных методик, обе имели большой недостаток—в них входили размерные коэффициенты  $\psi$  и  $k$ , определяемые экспериментальным путем.

В настоящей работе сделана попытка на базе экспериментальных данных, накопленных за последние годы при испытаниях различных материалов, обобщить и вывести зависимость аналитического расчета универсального (безразмерного) коэффициента  $\Omega$ .

Таблица 1

№№ п/п	Материал	$\rho_m, \text{кг/м}^3$	$d, \text{мм}$	$D, \text{мм}$	Число замеров
1	Глинозем	3470	0,08	8,8 9 15,5 35, 53	118
2	Цемент	2900	0,08	10, 26,5 50	65
3	Сода	2500	0,123	7, 11, 32	48
4	Апатитовый порошок	3000	0,07	7, 11, 26,5–80	90
5	Клинкерный порошок	3000	0,105	7, 32	25
6	Бентонитовый порошок	2400	0,151	15,5 17,6	24
7	Полиэтиленовый порошок	910	0,14	7, 32	19
8	Мука	1450	0,14	15,5	12

В таблице 1 приведены характеристики материалов, результаты испытаний которых легли в основу вывода зависимости.

Основываясь на имеющихся в литературе данных [6–8], а также на наши исследования с системами „жидкость-твердое“ [9, 10], обобщения велись в виде критериального уравнения:

$$\frac{dp}{\rho_{см} g dl} = \Omega \operatorname{Re}^{0,5} \left( \frac{\bar{\theta}}{D} \right)^{1,21} \left( \frac{\rho_{см}}{\rho_{г}} \right)^{0,28} \operatorname{Re}_0^{-x}, \quad (1)$$

Здесь  $\rho_{см}$ ,  $\rho_{г}$  — соответственно, плотности аэромеси и частиц;  $\bar{\theta}$  — средний диаметр частиц;  $\operatorname{Re}$ ,  $\operatorname{Re}_0$  — число Рейнольдса для потока и частиц;  $D$  — диаметр трубопровода. Степени 0,5, 1,21 и 0,28 в уравнении (1) предопределены исследованиями [2–5].

Укажем, что  $\operatorname{Re}$  потока определялось по формуле:

$$\operatorname{Re} = \frac{V_{см} \rho_{см} D}{\mu_{см}} = \frac{qD}{\mu_{см}}, \quad (2)$$

где  $q$  — удельная производительность установки в  $\text{кг/м}^2 \cdot \text{сек}$ , постоянная по длине трубопровода (при постоянном  $D$ ).

Как нами установлено [9]:

$$\mu_{см} = \mu_0 \frac{\rho_{см}}{\rho_0}. \quad (3)$$

Число  $\operatorname{Re}_0$  для частиц вычислялось [6]:

$$\operatorname{Re}_0 = \frac{A\tau}{18 + 0,61 \sqrt{A\tau}}. \quad (4)$$

Подставляя значение всех приведенных величин и выражая диаметр частиц  $\bar{\theta}$  в  $\text{мм}$ , для определения  $\Omega$  получим уравнение:

$$\Omega = \frac{(3,2 + 40,7 x^{2,74}) D^{0,71} \rho_m^{(x+0,28)} \bar{\theta}_{\text{мм}}^{(3x-1,21)}}{\Delta l (18 + 3,4 \sqrt{\rho_m \bar{\theta}_{\text{мм}}^3})} \cdot \frac{\Delta p}{q^{0,5} \rho_{см}^{0,28}}. \quad (5)$$

Здесь дифференциалы  $dp$  и  $dl$  заменены разностями  $\Delta p$  и  $\Delta l$ . Расчет значений  $\Omega$  проводился в два этапа. На первом этапе, для предварительного выяснения правильности гипотезы о постоянстве  $\Omega$ , основываясь на результатах анализа литературных источников для аналогичной системы „жидкость-твердое“ [9, 10], задавались значением  $x=0,48$  и рассчитывались математические средние  $\bar{\Omega}_i$ , а также дисперсии  $\sigma_i$  как для отдельных веществ (табл. 1), так и всей совокупности опытных данных. Статистическая проверка гипотезы равенства всех  $\Omega_i$ , проведенная с использованием  $t$ -критерия Стьюдента для уровня значимости  $\alpha=0,05$  показала, что все  $\Omega$  отличаются незначимо. Следовательно, гипотеза может быть принята.

Уточнению значения  $\Omega$  предшествовал анализ точности измерений. Выявление грубых измерений проводилось с использованием  $r$ -критерия, которое показало, что 95% экспериментальных данных удовлетворяют условиям точности.

Уточнения  $\Omega$  осуществлялись минимизацией суммы среднеквадратичных отклонений  $s^2$  из 400 измерений относительно степени  $x$  в уравнении (1).

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	$x$	$\bar{\Omega}_{cp}$	$\rightarrow^2$
1	0,09999	18,21345	25,58338
2	0,19999	16,21111	16,58545
3	0,39999	17,85132	13,68729
4	0,79999	27,80275	38,40830
5	0,60000	22,89992	19,31496
6	0,50000	20,22275	15,47721
7	0,44999	18,96979	14,36716
8	0,42500	18,38962	13,97498
9	0,41250	18,11469	13,81808
10	0,40625	17,98149	13,74934
11	0,40312	17,91602	13,71754
12	0,39843	17,81927	13,67280
13	0,39531	17,75577	13,64505
14	0,38906	17,63125	13,59465
15	0,37656	17,39264	13,51433
16	0,35156	16,96185	13,43988
17	0,30156	16,31753	13,68490

Окончательно получаем  $x = 0,35$ ,  $\Omega_{cp} = 17$ , в связи с чем уравнение (1) принимает вид:

$$\frac{dp}{\rho_{cm} g dl} = 17 \operatorname{Re}_0^{0,35} \left( \frac{\partial}{D} \right)^{1,21} \left( \frac{\rho_{cm}}{\rho_r} \right)^{0,28} \operatorname{Re}_0^{-0,35}. \quad (6)$$

Подставляя  $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu_0 = 0,02 \cdot 10^{-3}$  (в системе СИ),  $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$  получим:

$$\frac{dp}{dl} = 42359 \operatorname{Re}_0^{-0,35} \frac{\partial^{1,21}}{\rho_r^{0,28}} \cdot \frac{q^{0,5} \rho_{cm}^{0,78}}{D^{0,71}}, \quad (7)$$

где  $\rho_0$  и  $\nu_0$  — соответственно, плотность и вязкость воздуха в нормальных условиях.

Ранее нами было показано [4, 5], что

$$\frac{dp}{dl} = k \frac{q^{0,5} \rho_{cm}^{0,78}}{l^{0,71}}. \quad (8)$$

Из сравнения (6) и (7) видно, что размерный коэффициент  $k$  в расчетных уравнениях можно определить аналитически, не прибегая к обязательным экспериментам, из зависимости:

$$k = 42350 \operatorname{Re}_0^{-0,35} \frac{\partial^{1,21}}{\rho_r^{0,28}}. \quad (9)$$

Учитывая, что в [4, 5] давление выражено в  $\text{кг/м}^2$ , а не  $\text{н/м}^2$ , как в (6) или (7) и введя поправку, получим:

$$k = 4317 \operatorname{Re}_0^{-0,35} \frac{\partial^{1,21}}{\rho_r^{0,28}}. \quad (10)$$

Аналогичное сравнение показывает, что коэффициент  $\psi$  [2.3] можно определить согласно зависимости

$$\psi = 84700 \text{Re}_0^{-0,35} \frac{\rho^{1,21} D^{0,29} \rho_T^{0,72}}{q^{0,72} V_{\text{см}}^{0,78}} \quad (11)$$

ЕрПИ им. К. Маркса.

Поступило 11.IV.1978.

Ռ. Ն. ՀԱՅՈՐՅԱՆ

ԽՆՏ ՇԵՐՏՈՒՄ ՄԱՆՐ ԳԻՍՊԵՐՍԻՈՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ  
ՊՆԵՎՄՈՏԵՂԱՇԱՐԺՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Չնայած պինժտարանապորտի առավելություններին և կիրառմանը, նրա հաշվման մեթոդիկան ունի թերություններ այն առումով, որ այնտեղ մտնող շիման կ զործակիցը ամեն մի նոր նյութի համար պետք է գանվի փորձնականորեն:

Տարբեր կայանքներում գանադան նյութերի փորձարկումների հիման վրա ստացված տվյալներով զուրա է բերված հավասարում, որը թույլ է տալիս տեսականորեն հաշվարկել կ զործակցի արժեքը՝

$$k = 4317 \text{Re}_0^{-0,35} \frac{\rho^{1,21}}{\rho_m^{0,28}}, \text{ որտեղ } \rho, \rho_T \text{ և } \text{Re}_0 \text{ — համապատասխանաբար,}$$

մասնիկի տրամագիծը, խտությունն ու Ռեյնոլդսի թիվն են:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гаспарян А. М., Акопян Р. Е. Авт. свид. № 107815 «Камерный питатель для пневмотранспорта сыпучих материалов в плотном слое», 1957.
2. Акопян Р. Е. Пневматический транспорт мелкодисперсных сыпучих материалов в плотном слое и их централизованная раздача. Канд. диссертация, Ереван, 1965.
3. Гаспарян А. М., Акопян Р. Е. К расчету пневматического транспорта в плотном слое. «Химическая промышленность», № 7, 1965.
4. Алмасян Я. А. Трение аэросмесей в трубопроводе и вопросы дальности их перемещения. Канд. диссертация, Ереван, 1971.
5. Гаспарян А. М., Акопян Р. Е., Алмасян Я. А. К расчету горизонтального перемещения аэросмесей. «Изв. АН АрмССР (серия ТН)», т. XXIV, № 3, 1971.
6. Азров М. Э., Тодес О. М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем М., «Химия», 1968.
7. Гельперин И. И., Айнштейн В. Г., Кваша В. Б. Основы техники псевдооживления, М., «Химия», 1967.
8. Дэвидсон И. Ф. Харисон Д. Псевдооживление. М., «Химия», 1974.
9. Колчаян Т. Г., Акопян Р. Е., Икарян Н. С. Влияние концентраций гидросмеси на расход энергии и рекомендации оптимального значения  $\epsilon$ . Межвузовский н. т. сб. ЕрПИ, Хим. Техн., сер. XIX, вып. I, 1974, Ереван.
10. Колчаян Т. Г., Акопян Р. Е., Икарян Н. С. Методика расчета гидротранспортных установок. Там же.