ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտություններ, սերիա XXXIII, № 5, 1980 Серия технических наук

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Р. М. МИРЗАХАНЯН

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ПЛОТНОМ СЛОЕ

В статье [1] приведены описание способа осуществления и теоретические основы расчета пневмотранспорта зернистых сыпучих материалов (размерами частиц 0,1÷5 *мм*) в плотном слое по вертикальным и горизонтальным трубопроводам. Настоящая статья посвящена анализу этого вида транспорта с целью нахождения его оптимального варианта, исходя из требований данного производства.

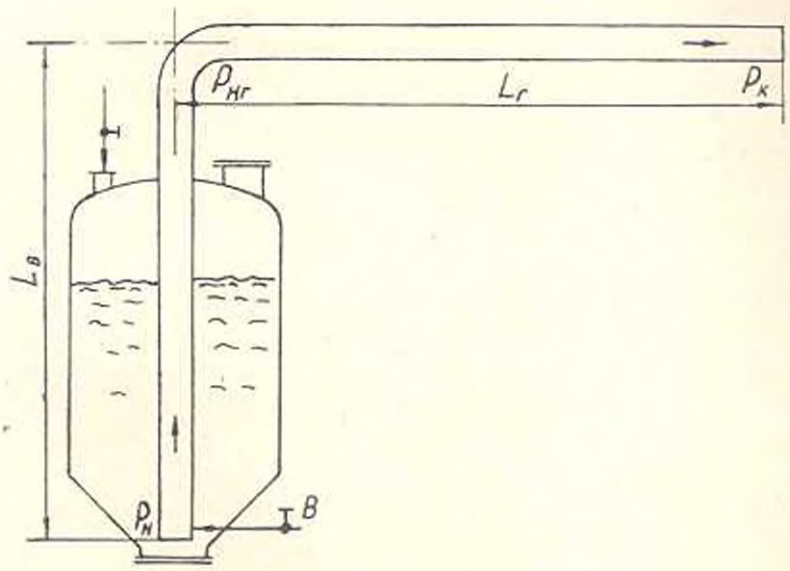

Рис. 1. Установка пневмотранспорта.

Показано [1], что потери давления dP $(Па)$ на элементарном участке транспортной трубы (рис. 1) длиной dl $(м)$ определяется уравнением

$$\frac{dP}{dl} = \Delta p \frac{G(a+\varepsilon)P}{(Ga - P_2(1-\varepsilon)a)P + Q_к P_к^2 (1-\varepsilon)}. \qquad (1)$$

где

$$\Delta p = \frac{137{,}59\,(1-\varepsilon)^2 u_{ok} P_к \mu}{\varepsilon^3 \Phi^2 d^2 P^2} + \frac{1{,}755\,(1-\varepsilon)\, u_{ok}^{0{,}25} \rho_к P^{1-0{,}25z} u^{1{,}75}}{P^{1-0{,}25z}\, \varepsilon^3 \Phi d} \qquad (2)$$

или

$$\Delta p = \Delta p_0 + \frac{C g^{0{,}8} \rho_т (1-\varepsilon)\, d^{0{,}2}}{\Phi D^{0{,}2}} \left(\frac{[Ga - F\rho_к (1-\varepsilon)\, u]\, P + Q_к P_к \rho_т (1-\varepsilon)}{F\rho_к (1-\varepsilon)\,(u+\varepsilon)\, P} \right)^{0{,}8}. \qquad (3)$$

В этих уравнениях G — массовый расход твердых частиц, *кг/с*; a — коэффициент, учитывающий степень заполнения сечения трубы пузырями (для вертикального потока $a = 1$, а горизонтального — $a \simeq 0{,}5$); P, $P_к$ — давления в данном и конечном сечениях трубопровода, *Па*; F — площадь сечения транспортной трубы, $м^2$; $\rho_т$ — плотность твердых частиц, $кг/м^3$; $\rho_к$ — плотность газа в конечном сечении трубопровода, $кг/м^3$; ε — пористость движущегося поршня твердых частиц; u — скорость воздуха относительно движущихся частиц, рассчитанная на полное сечение трубы, *м/с*; $Q_к$ — расход воздуха в конечном сечении трубопровода, $м^3/с$; u_{ok} — скорость воздуха, при котором начинается пневмотранспорт, в условиях конца транспортной трубы, *м/с*; μ — вязкость воздуха, *Па·с*; Φ — коэффициент формы частиц; d — диаметр шара, эквивалентного по объему данной частице, *м*; Δp_0 — удельный перепад давления, при котором начинается пневмотранспорт, *Па/м*; C — коэффициент: для вертикального потока $C = 2{,}56$, а горизонтального — $C = 2$; g — ускорение силы тяжести, $м/с^2$; D — диаметр трубы, *м*; z — показатель степени, зависящей от критерия Архимеда:

$$Ar = \frac{g d^3 \rho_к (\rho_т - \rho_к)}{\mu^2}. \qquad (4)$$

Нами показано, что при $Ar < 10$, $z = 0$; $10 < Ar < 6300$, $z = 0{,}0115$; $6300 < Ar < 235500$, $z = 0{,}2455$; $Ar > 235500$, $z = 0{,}5$.

При вертикальном потоке Δp_0 равен весу частиц в слое высотой 1 *м*, отнесенному к единице поперечного сечения трубы:

$$\Delta p_0 = \rho_т (1-\varepsilon)\, g. \qquad (5)$$

Для горизонтального потока Δp_0 можно определить уравнением (2), подставляя в нем $\Delta p_0 = \Delta p$, $P_к = P$, $u_{ok} = u = u_{or}$,

$$\Delta p_0 = \frac{137{,}59\,(1-\varepsilon)^2 u_{or} \mu}{\varepsilon^3 \Phi^2 d^2} + \frac{1{,}755\,(1-\varepsilon)\,\rho_к u_{or}^2}{\varepsilon^3 \Phi d}, \qquad (6)$$

где u_{or} — скорость начала пневмотранспорта в конце горизонтальной трубы, *м/с*.

Она связана со скоростью начала псевдоожижения твердых частиц $u_{0п}$ следующим образом [2]:

$$u_{or} = 0{,}733 u_{0п}. \qquad (7)$$

Расчет пневмотранспортных линий проводится уравнением (1), совместно с уравнениями (2) и (3), в которых переменными является P, l и u, одним из численных методов отдельно для горизонтального участка длиной $L_г$ и вертикального — длиной $L_в$ (рис. 1). По этим уравнениям определяются давление в начале горизонтального $P_{нг}$ и вертикального участков трубы $P_н$ (рис. 1), при заданных значениях $Q_к$, G, $P_к$, D, $L_г$ и $L_в$.

Соотношение n общего расхода воздуха Q ($м^3/с$), поступающего в транспортную трубу через ее начальное сечение и дополнительно через вентиль B (рис. 1), к массовому расходу транспортируемого твердого материала G определяется:

$$n = \frac{Q}{G} = \frac{Q_к P_к}{P_н G}. \tag{8}$$

Соотношение n_0 расхода воздуха $Q_н$ ($м^3/с$), поступающего в транспортную трубу только через ее начальное сечение, к G определяется [3]:

$$n_0 = \frac{Q_н}{G} = \frac{\varepsilon}{(1-\varepsilon)\rho_т} + \frac{u_с}{\beta_н (1-\varepsilon)\rho_т}. \tag{9}$$

Скорость частиц в начале транспортной трубы $\beta_н$ определяется уравнением

$$\beta_н = \frac{G}{(1-\varepsilon) F \rho_т}. \tag{10}$$

Скорость воздуха в начале транспортной трубы $u_н$ обусловливается перепадом давления $\Delta p_н$ в начальном участке трубы, определяемым уравнением

$$\Delta p_н = \Delta p_0 + \Delta p_м, \tag{11}$$

где $\Delta p_м$ — потери давления на преодоление местного сопротивления при входе аэросмеси в транспортную трубу ($Па/м$) [3]:

$$\Delta p_м = \zeta \frac{1-\varepsilon}{\Phi} \beta_н^2 \rho_т, \tag{12}$$

где ζ — коэффициент местного сопротивления, рассчитанного на 1 $м$ длины трубы. При $d/D < 0{,}01$, $\zeta = 28{,}12\ м^{-1}$; $d/D > 0{,}01$, $\zeta = 281200\,(d/D)^2\ м^{-1}$.

Для определения n_0 уравнением (9), сначала надо определить $\Delta p_м$, Δp_0 и $\Delta p_н$ уравнениями (12), (6) и (11), а затем $u_н$ уравнением (2), подставляя в нем $u_п = u$, $\Delta p = \Delta p_н$ и $P = P_н$.

Для заданного расхода твердых частиц G выбор диаметра трубопровода D можно провести, исходя из уравнения (10), принимая скорость частиц $\beta_н = 0{,}5 \div 1{,}5\ м/с$.

Выбор значения $Q_в$ производится между его крайними значениями. Максимальное значение $Q_к$ соответствует скорости оседания или зависания воздуха, при которых плотная фаза пневмотранспорта в горизонтальной или вертикальной трубе превращается в разбавленную фазу. Эти скорости определяются способами, приведенными в [4]. Минимальное значение $Q_к$ соответствует n_0.

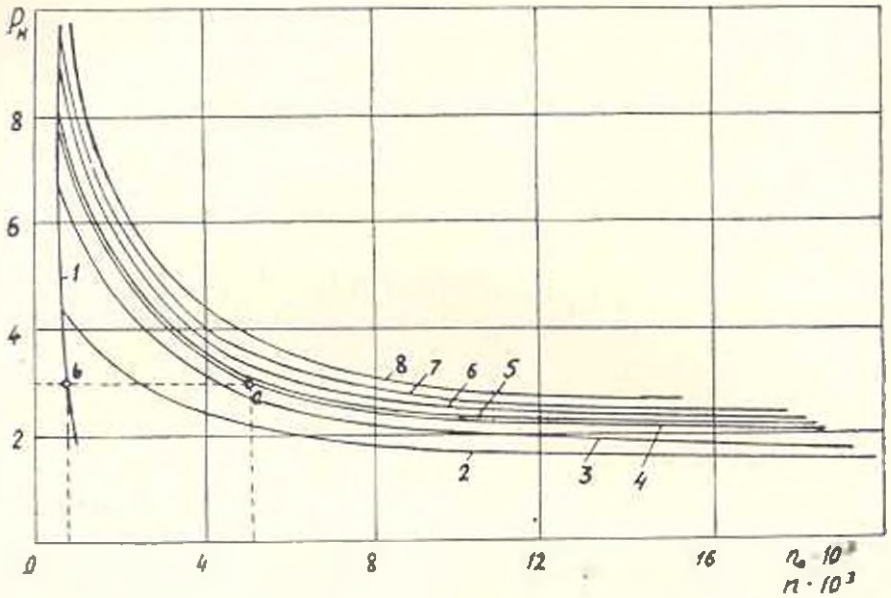

Рис. 2. Зависимость n_0, $м^3/кг$ от $P_н$, $атм$ (кривая 1) и $P_н$ от n, $м^3/кг$ (кривые 2—8). Кривая 2 — G 2 $кг/с$; D=52 $мм$; $L_г$ 50 $м$; 3 — 2, 78, 100; 4 — 2, 52, 100. 5 — 3, 52, 100. 6 — 4, 52, 100; 7 — 2, 38, 100; 8 — 2, 52, 150. Во всех случаях $L_в$= 3 $м$.

Для анализа работы пневмотранспортной установки целесообразно графически представить зависимости n_0 от $P_н$ и $P_н$ от n при различных значениях G, D и длины транспортной линии. На рис. 2 приведены эти зависимости при пневмотранспорте кварцевого песка с параметрами: $d = 0{,}23$ $мм$; $\Phi = 0{,}828$; $\varepsilon = 0{,}47$; $\rho_т = 2640$ $кг/м^3$; $u_{0к} = u_{0г} = 0{,}0532$ $м/с$; $Ar = 1049$; $z = 0{,}0115$.

Построенные кривые показывают, что при остальных равных условиях с увеличением расхода воздуха $Q_к$ и, следовательно, n, необходимое давление пневмотранспорта $P_н$ уменьшается, с увеличением диаметра D трубы $P_н$ уменьшается, с увеличением G и длины транспортирования $P_н$ увеличивается. Следует отметить также, что с увеличением $Q_к$ увеличивается необходимая энергия, затраченная для перемещения материала, определяемая уравнением изотермического расширения воздуха:

$$N = P_к Q_к \ln \frac{P_н}{P_к}. \qquad (13)$$

Имея кривые рис. 2 и исходя из конкретных требований пневмотранспорта, для заданных значений G, $L_т$ и $L_н$ можно выбрать значения $P_п$ и n координатами точки на соответствующей кривой зависимости $P_п$ от n. Например, для случая $G=2$ *кг/с*, $L_т=100$ *м*, $D=52$ *мм* можно выбрать $P_п=3$ *атм*, $n=0{,}0052$ *м³/кг* (точка a на рис. 2). Тогда из уравнения (8) получается: $Q_в=0{,}0338$ *м³/с* и $Q=0{,}0104$ *м³/с*. Проведя от точки a горизонтальную линию ab, на кривой 1 рис. 2 находим точку b, абсцисса которой дает значение $n_0=0{,}00084$ *м³/кг*. Далее из уравнения (9) определяем $Q_н=0{,}00168$ *м³/с*. Это количество воздуха поступает в транспортную трубу через ее начальное сечение вместе с твердым материалом, а $Q-Q_н=0{,}00872$ *м³/с* воздуха под давлением $P_п=3$ *атм* поступает в транспортную трубу дополнительно через вентиль B (рис. 1).

ЕрПИ им. К. Маркса

Поступило 20.11.1980

ЛИТЕРАТУРА

1. *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, с. 27.

2. *Даниелян Н. Х., Мирзаханян Р. М.* О критической скорости при горизонтальном пневмотранспорте сыпучих материалов в плотном слое и дюнами. «Межвуз. сб. научн. тр. Хим. технология», сер. XIX, вып. 1, Ереван, изд. ЕрПИ, 1974.

3. *Мирзаханян Р. М., Акопян Р. Е.* О расходе воздуха при пневмотранспорте сыпучих материалов в плотном слое. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXXII, № 1, 1979.

4. *Кунии Д., Левеншпиль О.* Промышленное псевдоожижение. М., «Химия», 1976, с. 329.