

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Р. Е. АКОНЯН, Я. А. АЛМАСЯН, С. Н. МАНУКЯН

ВЛИЯНИЕ РАСХОДА ТРАНСПОРТИРУЮЩЕГО ВОЗДУХА
 НА ДАЛЬНОСТЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ АЭРОСМЕСИ

Пневмотранспорт в плотном слое [1], уменьшающий энергетические расходы на транспортирование, требует применение больших перепадов, чем транспорт в разбавленном слое. Уменьшение расхода энергии обеспечивается за счет резкого снижения удельного расхода воздуха. На практике при транспортировании наиболее приемлемым является давление, не превышающее 6 *атм* (компрессоры одноступенчатого сжатия), поэтому в основу наших анализов положено именно это значение.

Развитие техники и увеличение масштабов производства требуют осуществления пневмотранспорта на расстояния порядка километра и более. Одним из способов увеличения дальности передачи являются разбавление аэросмеси дополнительным воздухом, т. е. увеличение удельного расхода воздуха n м³/кг при том же давлении P_1 . Это имеет двойное влияние — уменьшает потери на трение, но увеличивает потери на кинетическую энергию движущейся аэросмеси.

Выявление зависимости дальности перемещения от расхода воздуха $l = f(n)$ проводилось по результатам испытаний с сыпучими материалами — глиноземом, цементом и апатитом. Для глинозема — $K' = 0,00385$, $\gamma_1 = 920$ кг/м³, $\gamma_2 = 3470$ кг/м³; цемента — $K' = 0,0041$, $\gamma_1 = 957$ кг/м³, $\gamma_2 = 2900$ кг/м³; апатита — $K' = 0,0044$, $\gamma_1 = 1400$ кг/м³, $\gamma_2 = 3000$ кг/м³.

В качестве исходных данных были выбраны следующие, чаще встречающиеся параметры: диаметр трубы D — 0,05, 0,08, 0,1, 0,125 м; давление транспортирования P_1 — 50000, 60000, 70000, 100000, 150000 кг/м².

С целью определения $l = f(n)$ на основе математических моделей (мод. 1 и 2) были составлены и реализованы на ЭВМ «Найри-2» программы на алгоритмическом языке «ап», позволяющие рассчитать все возможные варианты транспорта для всех исходных данных.

Модель 1.

$$KV_1^{0,5} \gamma_1^{1,28} l = (1 - \varphi_1) P_1 \left(\frac{t_0^4}{t_0^6 - \varphi_1} - \frac{t_2^4}{t_2^6 - \varphi_1} \right) + \frac{(1 - \varphi_1) P_1}{\varphi_1^{0,2}} \times$$

$$\times \left(1,84 \lg \frac{t_0 - \varphi_1^{0,2}}{t_0 - \varphi_1} + 0,7686 \lg \frac{t_0^2 - 0,618 \varphi_1^{0,2} t_0 + \varphi_1^{0,4}}{t_0^2 - 0,618 \varphi_1^{0,2} t_0 + \varphi_1^{0,4}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 & - 1,489 \lg \frac{t_k^2 + 1,618 \varphi_1^{0,2} t_k + \varphi_1^{0,4}}{t_n^2 + 1,618 \varphi_1^{0,2} t_n + \varphi_1^{0,4}} + \frac{1,52 (1 - \varphi_1) P_1}{\varphi_1^{0,2}} \times \\
 & \times \left(\operatorname{arctg} \frac{t_k - 0,309 \varphi_1^{0,2}}{0,951 \varphi_1^{0,2}} - \operatorname{arctg} \frac{t_n - 0,309 \varphi_1^{0,2}}{0,951 \varphi_1^{0,2}} \right) + \\
 & + \frac{0,94 (1 - \varphi_1) P_1}{\varphi_1^{0,2}} \left(\operatorname{arctg} \frac{t_k + 0,809 \varphi_1^{0,2}}{0,588 \varphi_1^{0,2}} - \right. \\
 & \left. - \operatorname{arctg} \frac{t_n + 0,809 \varphi_1^{0,2}}{0,588 \varphi_1^{0,2}} \right) - \frac{V_1^2 \gamma_1 (t_n^3 - t_k^3)}{1,78 g}
 \end{aligned}$$

где

$$t_k = \left[\varphi_1 + (1 - \varphi_1) \frac{P_1}{P_n} \right]^{0,2}; \quad t_n = \left[\varphi_1 + (1 - \varphi_1) \frac{P_1}{P_k} \right]^{0,2}; \quad n_{\min} = \frac{\gamma_r - \gamma_1}{\gamma_r \gamma_1};$$

$$\varphi_1 = \frac{1}{n \gamma_r + 1}; \quad \gamma_1 = \gamma_1 \gamma_r; \quad V_1 = \frac{G}{0,785 D^2 \varphi_1 \gamma_r}; \quad K = \frac{K'}{D^{0,71}};$$

$$L = 2,3 \cdot n P_1 \lg \frac{P_1}{P_k} + \frac{1}{\gamma_k} (P_1 - P_k).$$

Модель 2.

$$\begin{aligned}
 & K V_1^2 \gamma_1^{1,2} \frac{D_2}{D} l = (1 - \varphi_1) P_1 \left(\frac{t_k^2}{t_n^2 - \varphi_1} - \frac{t_k^2}{t_k^2 - \varphi_1} \right) + \frac{(1 - \varphi_1) P_1}{\varphi_1^{0,2}} \times \\
 & \times \left(1,84 \lg \frac{t_k - \varphi_1^{0,2}}{t_n - \varphi_1^{0,2}} + 0,5686 \lg \frac{t_k^2 - 0,618 \varphi_1^{0,2} t_k + \varphi_1^{0,4}}{t_n^2 - 0,618 \varphi_1^{0,2} t_n + \varphi_1^{0,4}} - \right. \\
 & \left. - 1,489 \lg \frac{t_k^2 + 1,618 \varphi_1^{0,2} t_k + \varphi_1^{0,4}}{t_n^2 + 1,618 \varphi_1^{0,2} t_n + \varphi_1^{0,4}} \right) + \frac{1,52 (1 - \varphi_1) P_1}{\varphi_1^{0,2}} \times \\
 & \times \left(\operatorname{arctg} \frac{t_k - 0,309 \varphi_1^{0,2}}{0,951 \varphi_1^{0,2}} - \operatorname{arctg} \frac{t_n - 0,309 \varphi_1^{0,2}}{0,951 \varphi_1^{0,2}} \right) + \\
 & + \frac{0,94 (1 - \varphi_1) P_1}{\varphi_1^{0,2}} \left(\operatorname{arctg} \frac{t_k + 0,809 \varphi_1^{0,2}}{0,588 \varphi_1^{0,2}} - \right. \\
 & \left. - \operatorname{arctg} \frac{t_n + 0,809 \varphi_1^{0,2}}{0,588 \varphi_1^{0,2}} \right) - \frac{V_1^2 \gamma_1 (D_2/D)^4 (t_n^3 - t_k^3)}{1,78 g}
 \end{aligned}$$

где

$$t_k = \left[\varphi_1 + (1 - \varphi_1) \frac{P_1}{P_n} \right]^{0,2}; \quad t_n = \left[\varphi_1 + (1 - \varphi_1) \frac{P_1}{P_k} \right]^{0,2}$$

$$n_{\min} = \frac{\gamma_r - \gamma_1}{\gamma_r \gamma_1}; \quad \varphi_1 = \frac{1}{n \gamma_r + 1}; \quad \gamma_1 = \varphi_1 \gamma_r; \quad K = \frac{K'}{D^{0,71}};$$

$$V_1 = V_{\text{кр}} = 1,84 + 13 D_1; \quad V_{1-1} = V_1 \left[\varphi_1 + (1 - \varphi_1) \frac{P_1}{P_{1-1}} \right];$$

$$G = 2,826 V_1 D_1^3 \varphi_1 \sqrt{\rho}; \quad D_{i-1} = \sqrt[3]{A_1 + B_1} + \sqrt[3]{A_1 - B_1} - \frac{a}{3},$$

где

$$A_1 = -\left(\frac{a^3}{27} + \frac{C}{2}\right); \quad B_1 = \sqrt{\left(\frac{a^3 C}{27} + \frac{C^2}{4}\right)};$$

$$C = -D_i^3 V_{i-1} / 13; \quad a = 1,84/13.$$

Модель 1 выведена при постоянном диаметре трубопровода [2], а модель 2 — при ступенчатом изменении диаметра [3], на основании совместного решения уравнений движения двухфазных гетерогенных потоков транспорта.

По первой модели задача решается сразу, однозначно. Во втором случае вся трасса была разбита на несколько участков (ступеней). Исходя из значения начального давления, принимаем, что на каждом участке трубопровода перепад давления составляет 5000 кг/м², а при больших значениях начального давления — 10000 кг/м². Такая разбивка для расчета общей длины трассы обеспечивает достаточно оптимальное число ступеней.

Результаты расчетов обобщены в таблице. Здесь φ — объемная концентрация смеси; G — производительность установки; $D_{\text{нач}}$, $D_{\text{кон}}$ — диаметры первой и последней ступени, l — общая длина трассы.

Таблица

Материал	G , тн/ч	$\mu \cdot 10^3$, м ³ /кг	ρ , кг/м ³	К-во ступеней	$D_{\text{нач}}$, м	$D_{\text{кон}}$, м	l , м
Глинозем	16,2	0,79	0,215	—	—	0,0741	277
	7,43	2	0,12	8	0,05	0,0792	833
	4,1	4	0,068	—	—	0,0814	1930
Цемент	16,8	0,7	0,33	—	—	0,072	232
	8,2	1,8	0,16	8	0,05	0,077	696
	4,05	4	0,08	—	—	0,081	1866,2
Апатит	24,1	0,38	0,467	—	—	0,067	114,2
	7,32	2	0,14	8	0,05	0,078	766,6
	4,06	4	0,077	—	—	0,081	1738

Для расчетов принято, что скорость движения аэросмеси в начале каждой ступени равна критической $V_1 = V_{кр} = 1,84 + 13 D$ [4].

Скорость V_1 в конце первой ступени диаметра $D_1 = 0,05$ м определялась по уравнению [4]:

$$V_1 = V_3 \left[\eta_1 + (1 - \eta_1) \frac{P_1}{P} \right]. \quad (1)$$

Для рассмотренного примера $P_1 = 5$ ата, $P = 4,5$ ата.

В начале второй ступени скорость движения бралась критической, поэтому для определения D_2 использовали соотношение:

$$D_2^2 V_1 = D_1^2 V_{2 \text{ кр}} \quad (2)$$

где

$$V_{2 \text{ кр}} = 1,84 + 13 D_2 \quad (3)$$

Из уравнений (2) и (3) получаем:

$$D_1^2 V_1 = D_2^2 (1,84 + 13 D_2)$$

или

$$13 D_2^3 + 1,84 D_2^2 - D_1^2 V_1 = 0 \quad (4)$$

Уравнение (4) имеет один действительный корень

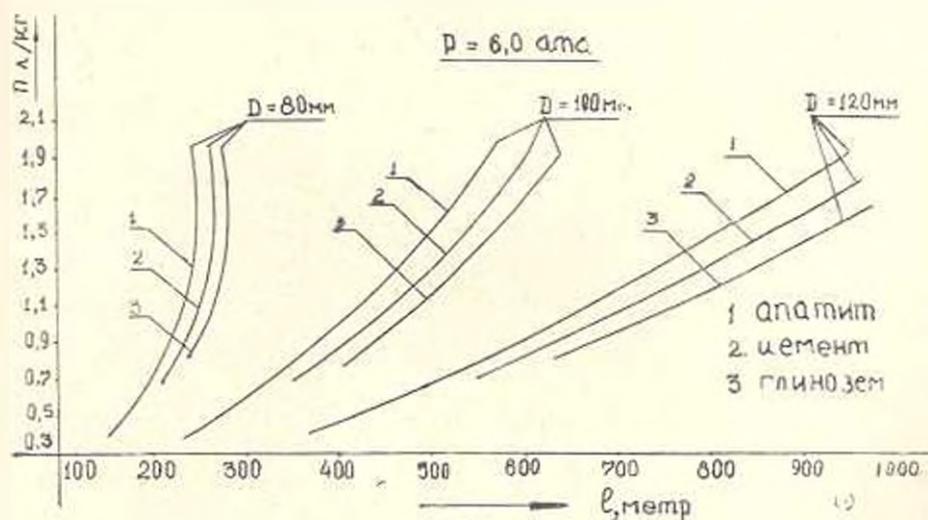
$$D_2 = \sqrt[3]{A_1 + B_1} + \sqrt[3]{A_1 - B_1} - \frac{a}{3} \quad (5)$$

где

$$A_1 = -\left(\frac{a^2}{27} + \frac{c}{2}\right); B_1 = \sqrt{\frac{a^2 c}{27} + \frac{c^2}{4}}; c = -D_1^2 V_1 / 13; a = 8,4/13.$$

Длину участка l_1 определяли по мат. модели.

Так же вычисляли диаметр и длину остальных ступеней.



Анализ данных показывает, что одним из путей увеличения дальности передачи является увеличение расхода воздуха. Например, при минимальном расходе воздуха, определяемом

$$n = \frac{\gamma - \gamma_1}{\gamma \cdot \gamma_1} \quad (6)$$

и давлении $P_1 = 50\,000 \text{ кг/м}^2$, длины передач составляют, соответственно, 277, 232 и 144,2 м для глинозема, цемента и апатита (таблица). Увеличение расхода воздуха в пять раз приводит к увеличению длины передачи, например, для глинозема, до 1930 м (т. е. в семь раз). Такая же картина наблюдается при постоянном диаметре трубы (рис.).

На основании приведенных исследований, для указанных материалов (многотоннажных, часто встречающихся на практике) методом экстраполяции можно установить необходимый оптимальный расход воздуха для данной длины трассы.

ЕрПИ им. К. Маркса

Поступило 13.IV.1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаспарян А. М., Акопян Р. Е. Пневмотранспорт мелкодисперсных материалов в плотном слое. «Химическая промышленность», 1965, № 7.
2. Гаспарян А. М., Акопян Р. Е., Алмасян Я. А. К расчету горизонтального перемещения аэросмесей. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXIV, № 3, 1971.
3. Гаспарян А. М., Акопян Р. Е., Алмасян Я. А. Пути увеличения дальности передачи аэросмесей при пневмотранспорте в плотном слое. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXVI, № 5, 1973.
4. Гаспарян А. М., Акопян Р. Е., Алмасян Я. А. О скорости и плотности аэросмесей при пневмотранспорте в плотном слое. «Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)», т. XXIV, № 2, 1971.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

М. И. ПЕТРОСЯН

ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ МИКРОТРЕЩИНЫ В ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПРОЦЕССОВ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ВЗРЫВНОМУ РАЗРУШЕНИЮ ТЕЛА

В настоящее время разрушение деформируемых сред варином рассматривается как явление, которое наступает под воздействием взрывной волны при достижении предела прочности материала. Ввиду такого традиционного подхода представляется, что процессы, связанные с действием взрыва, на которые затрачивается время, не существенны, и само разрушение наступает критическим образом. Эксперименты, на которых основывается это представление, выполнены на оптически активных материалах (эпоксидная смола, плексиглас, стекло и др.), которые ввиду особых механических свойств не обеспечивают подобия между натурой и моделью. Другим существенным недочетом является ограниченная способность применяемой аппаратуры: так, например, регистрация, осуществляемая с помощью скоростного фоторегистратора типа СФР-1, длится не более 100 мкс, которое значительно меньше периода разрушения тела. При этом не обеспечивается качество регистрации картины разрушения, ввиду ее размазывания лучами предыдущего кадра. Поэтому во многих работах, посвященных исследованию кинетики разрушения, приняты допущения, согласно которым темные зоны на кадрах отнесены за счет разрушения в макроскопическом объеме, несмотря на отсутствие видимых трещин. Это послужило основанием для разработки новых способов фиксации напряжений, возникающих при взрыве [1], и регистрации трещин в оптически неактивных материалах, какими являются горные породы, бетон и др. [2].

Автором выполнено экспериментальное исследование кинетики разрушения различных материалов, в частности, горных пород взрывом [3]. Соотношение скорости распространения трещин в среде V_t к скорости продольной волны C_p равнялось

$$\frac{V_t}{C_p} = 0,0168 \pm 0,0369,$$

а соотношение скорости расширения трещины V_s к скорости поперечной волны C_s —

$$\frac{V_s}{C_s} = 0,0022 \pm 0,0092. \quad (1)$$

Соотношение (1) и кадры скоростной регистрации трещинообразо-