

А. М. ГАСПАРЯН, Р. Е. АКОНЯН, Я. А. АЛМАСЯН

ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ПЕРЕДАЧИ
 АЭРОСМЕСЕЙ ПРИ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕ
 В ПЛОТНОМ СЛОЕ

В работах [1, 2] нами было показано, что аэросмесь может быть перемещена по трубопроводу с концентрацией рыхлой насыпи. Получены выражения для определения удельного веса, скорости и концентрации аэросмеси по ходу транспорта. Определена критическая скорость при движении по горизонтали. Раскрыт характер зависимости потерь давления на трение по длине трубопровода при горизонтальном перемещении.

На основании анализа полученного уравнения разработаны мероприятия, позволяющие увеличить дальность передачи аэросмесей, суть которых изложена в настоящей статье.

1. **Применение трубопроводов переменного диаметра.** Теоретически наиболее эффективной мерой, приводящей к уменьшению потерь давления потока аэросмеси и, следовательно, к увеличению дальности передачи, является применение горизонтального трубопровода переменного сечения, обеспечивающего скорость аэросмеси на уровне $V_c = 1,84 + 13D$ на всем пути перемещения. Если начальный диаметр трубопровода D_1 , то начальная скорость аэросмеси (V_1) и ее объемный расход (W_1) должны быть:

$$V_1 = 1,84 + 13D_1 \quad \text{и} \quad W_1 = (1,84 + 13D_1) 0,785 D_1^2 \quad (1)$$

В любом другом сечении объемный расход определится из выражения:

$$W = W_1 \left[\tau_1 + (1 - \tau_1) \frac{P_1}{P} \right], \quad (2)$$

где P — давление в данном сечении.

При условии поддержания скорости на уровне критической, очевидно, что

$$W = (1,84 + 13D_1) 0,785 D_1^2 \left[\tau_1 + (1 - \tau_1) \frac{P_1}{P} \right],$$

откуда следует: $D^3 + 0,1411D^2 - 0,077A = 0$, (3)

где $A = (1,84 + 13D_1) D_1^2 \left[\tau_1 + (1 - \tau_1) \frac{P_1}{P} \right]$.

Решение (3) сложно. Приемлемые результаты дает тригонометрический вариант метода Кардано:

$$D = 0,09436 \sqrt{\frac{1+B^2}{B}} = 0,047. \quad (4)$$

Причем $\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2C}{1-C^2}$, (5)

где $C = \sqrt{\frac{0,00021}{q(1+\sqrt{1-(0,00021/q)^2})}}$; $q = 0,00021 - 0,077A$.

С возрастанием D растут также V и кинетическая энергия смеси. Однако нетрудно убедиться, что как абсолютные значения, так и приращения кинетической энергии так малы, что ими можно пренебречь. Тогда в уравнении (11) [2] член $\frac{VdV}{2g} \gamma_c$ можно отбросить.

Учитывая, что $V = V_1 \left[\varphi_1 + (1 - \varphi_1) \frac{P_1}{P} \right] \left(\frac{D_1}{D} \right)^2$, получим

$$dP = \frac{K' V_1^{0,5} \gamma_c^{0,25} D_1}{D^{1,75} \left[\varphi_1 + (1 - \varphi_1) \frac{P_1}{P} \right]^{0,75}}. \quad (6)$$

где D определяется по (4).

Решение (6) методом численного интегрирования на ЭВМ дало результаты, приведенные в табл. 1. При этом было принято, что $P_1 = 7 \text{ ата}$ и $P_k = 1 \text{ ата}$.

Таблица 1

$D_1, \text{ мм}$	$V_1, \frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$	Конечный диаметр трубопровода, мм		Длина цилиндрического трубопровода $l, \text{ м}$		Длина конического трубопровода $l, \text{ м}$		Производительность, т/ч	
		M_1	M_2	M_1	M_2	M_1	M_2	M_1	M_2
50	2,50	103	100	295	259	575	480	16	17
75	2,82	150	146	364	317	694	590	41	43
100	3,14	197	191	411	362	791	662	82	85
125	3,47	242	236	450	395	870	729	140	146

Примечание M_1 —глинозем; M_2 —цемент

Сопоставление данных табл. 1 показывает, что в случае конического трубопровода резко возрастает дальность передачи. Это объясняется уменьшением потерь на трение (по причине резкого уменьшения скорости аэросмеси и увеличения диаметра трубопровода) и отсутствием приращения кинетической энергии.

2. Применение трубопровода со ступенчатым изменением диаметра. Несмотря на преимущества конического трубопровода, его применение

Таблица 2

I ступень 7—5 ата		II ступень 4—3 ата		III ступень 4—3 ата		IV ступень 3—2 ата		V ступень 2—1, 5 ата		VI ступень 1,5—1 ата		Общая дли- на трубопро- вода $\sum l$, м	Производи- тельность, 6 т.час	Примеча- ние
D_1 , мм	l_1 , м	D_2 , мм	l_2 , м	D_3 , мм	l_3 , м	D_4 , мм	l_4 , м	D_5 , мм	l_5 , м	D_6 , мм	l_6 , м			
25	45	28	33	30	45	33	65	38	54	42	80	321	3,6	
50	69	56	49	60	68	66	99	76	82	84	129	489	16,2	
100	100	111	69	119	98	130	138	147	112	160	152	675	81,6	Глинозем V—1.11,
125	111	139	78	148	107	161	151	182	121	196	169	737	140,7	
160	94	113	69	119	92	131	132	150	108	158	145	640	91,0	
25	40	28	28	30	38	33	56	38	45	41	66	272	3,7	
50	62	56	43	60	57	65	84	74	67	81	97	409	16,8	
100	89	110	60	117	79	127	114	143	89	155	129	560	84,9	Цемент V—1.11,
125	99	138	68	147	89	159	126	178	98	193	141	621	146,2	
100	84	113	60	119	77	131	113	150	92	158	125	550	94,7	

практически затруднительно. Вместо конического приходится пользоваться трубопроводом со ступенчатым изменением диаметра.

На произвольно выбранном участке ступенчатого трубопровода диаметром D скорость аэромеси

$$V = V_1 \left[\varphi_1 + (1 - \varphi_1) \frac{P_1}{P} \right] \left(\frac{D_1}{D} \right)^2, \quad (7)$$

где V_1 и D_1 — начальная скорость и диаметр трубопровода.

С учетом (7) выражение (11) [2] принимает вид:

$$\left[\varphi_1 + (1 - \varphi_1) \frac{P_1}{P} \right]^{0,78} dP - \frac{V_{11}^2 P_1 (1 - \varphi_1) \left(\frac{D_1}{D} \right)^4}{g} \left[\varphi_1 + (1 - \varphi_1) \frac{P_1}{P} \right]^{0,78} \frac{dP}{\rho^2} + K V_1^{0,3} \varphi_1^{1,2} \left(\frac{D_1}{D} \right) dl = 0 \quad (8)$$

Интегрируя (8) в пределах всей длины трубопровода, рассчитан пример. Результаты расчета сведены в табл. 2.

Вся трасса разбита на 6 участков (6 ступеней), исходя из давлений. На первом участке перепад давления составляет 2 *атм* (от 7 до 5 *атм*), а на последних двух участках — 0,5 *атм*. В средних трех участках перепад давления принят по 1 *атм*.

На рис. 1 показана зависимость давления от длины трубопровода при различных его видах. График построен для случая транспортировки глинозема и цемента при $P_1 = 7$ *атм*, $D_1 = 100$ мм.

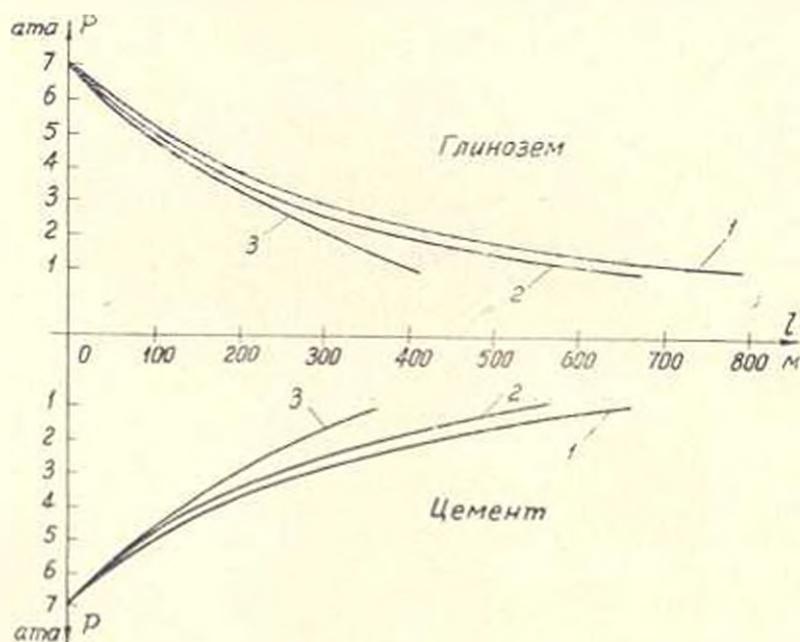


Рис. 1 Зависимости давления (P) от длины трубопровода (l) при $D_1 = 100$ мм.
1 — конический трубопровод; 2 — ступенчатый трубопровод; 3 — цилиндрический трубопровод.

3. Экспериментальная проверка решения уравнения (8). Для выявления степени точности решения были проведены опыты по схеме рис. 1 [2] с глиноземом и цементом. Первоначально вся горизонтальная трасса длиной 46 м состояла из трубы $D_1=26,5$ м. Далее, трасса была переделана и состояла из труб $D_1=26,5$ м, $l_1=26,5$ м и $D_2=35$ м, $l_2=19,5$ м. Затем, в третьем варианте, трасса состояла из труб трех диаметров 26,5; 35 и 40 м с длинами 26,5; 14,1 и 5,4 м. Наконец, в четвертом варианте, трасса состояла также из трех участков, но последний имел $D_3=53$ м.

Результаты опытов приведены на рис. 2 и проведены усредняющие кривые (пунктиром—для цемента, сплошными линиями—для глинозема)

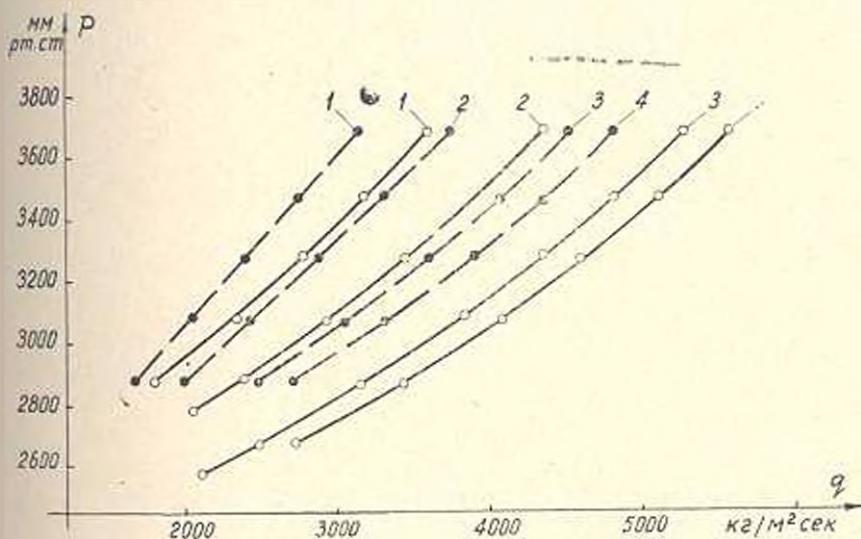


Рис. 2. Зависимость давления (P) от удельной производительности трубопровода q для различных вариантов (номера кривых соответствуют рассмотренным вариантам)
 — — — цемент; ————— глинозем

Сравнение опытных данных этой установки с расчетными показало отклонения, не превышающие $\pm 6\%$.

4. Применение более высоких давлений. На практике для пневмотранспорта обычно применяют сжатый воздух с давлением не более 6 ат. Все предыдущие расчеты исходили из этого. Однако, если ставится задача возможного увеличения дальности перемещения аэрозольей, то возникает вопрос о повышении давления транспортирующего воздуха, как одно из средств решения этой задачи.

Табл. 3 иллюстрирует влияние начального давления воздуха P_1 на основные показатели пневмотранспорта глинозема, когда диаметр трубопровода постоянный (100 мм), начальная скорость аэрозольей $V_1=V_{кр}=3,14$ м/сек, а конечное давление $P_2=1$ ат. Принято также, что трубопровод горизонтальный, не имеет поворотов, и в его начале концентрация $\tau_1=0,265$.

Выражение $l/(P_1-1)$ показывает среднюю дальность перемещения на каждую затраченную атмосферу давления. Отношение L/l дает работу на перемещение одной тонны материала на один метр. Эта работа в таблице разделена на два слагаемые — $L_{тр}$ и L_k . Отметим, что l рассчитана по уравнению (13) [2], $V_{кр}$ — по (10) [1]. Общая работа изотермического расширения одной тонны аэрозольной смеси определена из выражения:

$$L = 0,8 \cdot 2,3P_1 \lg \frac{P_1}{P_k} \cdot \frac{1000}{3470} (P_1 - P_k), \quad (9)$$

где 0,8 — объем воздуха в одной тонне аэрозольной смеси в m^3 (при давлении P_1 и при $z_1 = 0,265$), а 3470 kg/m^3 — удельный вес глинозема.

Таблица 7

$P_1, \text{ ата}$	$l, \text{ м}$	$\frac{l}{P_1-1}$	$V_{кр}, \text{ м/сек}$	$L, \text{ кг·м/т}$	$L_{тр}, \text{ кг·м/т·м}$	$L_k, \text{ кг·м/т·м}$
2	52	52,0	5,5	13960	239,0	29,0
3	115	57,5	7,8	32100	252,3	26,7
4	185	61,6	10,1	52950	257,9	28,1
5	258	64,5	12,4	75830	263,6	30,4
6	335	67,0	14,7	100300	267,2	32,8
7	414	69,0	17,0	126000	268,4	35,6
8	492	70,3	19,3	153140	272,5	38,5
9	575	72,3	21,6	181000	273,7	41,3
10	656	73,0	23,9	210000	275,7	44,3
11	740	74,0	26,2	239600	276,7	47,3
12	823	75,0	28,5	270000	277,7	50,3
13	906	75,5	30,8	301000	278,5	53,5
14	990	76,0	33,2	332600	279,5	56,5
15	1075	76,5	35,5	365000	280,3	59,7

Таблица 8

$P_1, \text{ ата}$	$l, \text{ м}$	$\frac{l}{P_1-1}$	$D_k, \text{ м·м}$	$L, \text{ кг·м/т}$	$L, \text{ кг·м/т·м}$
4	253	84,3	136	52950	209,3
6	519	103,8	154	100300	193,3
7	675	112,5	160	126000	186,6
9	1050	131,3	175	181000	172,3
11	1424	142,4	185	239600	166,2
13	1848	154,0	191	301000	162,9
15	2307	164,8	202	365000	158,2

Кинетическая энергия (L_k) и потери на трение ($L_{тр}$) определены следующими формулами:

$$L_k = \frac{V_{кр}^2}{2g} 1000 : l; \quad L_{тр} = \frac{L}{l} - L_k.$$

Полная получается картина, если транспорт осуществляется по ступенчато расширяющемуся трубопроводу, что приведено в табл. 4 для тех же начальных условий. Как видно, при $P_1 = 15 \text{ ата}$ дальности перемещения увеличивается до 2 км.

Примечательным является то, что с повышением P_1 значительно сокращаются удельные энергетические расходы.

Вывод. При тех же затратах энергии (давления и расхода воздуха) дальность передачи аэросмеси может быть увеличена применением трубопровода конического сечения вместо цилиндрического. Из-за трудностей изготовления целесообразнее конический трубопровод заменить ступенчатым.

Институт органической химии
АН Арм. ССР

Поступило 9.X.1970.

Ա. Մ. ԳԱՊՊԱՐՅԱՆ, Ի. Ն. ՇԱԿՈՐՅԱՆ, ՅԱ. Ա. ԱՄՈՒՅԱՆ

ԱՆՈՐԱՆԱԲՆՈՒՐԳՆԵՐԻ ՏՆՂԱԲՈՒՆՄԱՆ ՀՅՈՒՅՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՐԿԱՐԱՑՆԵԼՈՒ ՈՐՎԻՆԵՐԸ ԵՎ ՏՆՂԱԲՈՒՆՄԱՆ ՓՆԵՎՄԱՆՍՔԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ԳԵՊՔՈՒՄ

Ա. մ. ֆ. ո. փ. ո. Վ.

Աերոխառնուրդների տեղափոխման հեռավորությունը երկարացնելու ելքատակով առաջարկվում է տեղափոխման արագությունը պահպանել կոնիկականի մակարդակում խողովակաշարի սոց Երկարություն միայն Այդ իրականացնելու համար դիտվում են երկու հնարավոր դեպք՝ կոնաձև խողովակաշար և առաջնաձև փոփոխվող արամաղձով խողովակաշար։ Օդաաղբյուրով փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները, ստացված են հաշվարկի քանաձևեր նշված դեպքերի համար։

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Гаспарян А. М., Алмасян Я. А., Аюбян Р. Е. «Известия АН Арм. ССР, серии технических наук», т. XXIV, № 2, 1971.
- 2 Алмасян Я. А., Гаспарян А. М., Аюбян Р. Е. «Известия АН Арм. ССР, серии технических наук», т. XXIV, № 3, 1971.