

ГИДРАВЛИКА

Ա. Մ. ԳԱՏՔԱՐՅԱՆ, Կ. Ա. ԱԼՄԱՏՅԱՆ, Բ. Ե. ԱԿՈՅԱՆ

РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ
 АЭРОСМЕСЕЙ

В работах [1, 2, 3] нами были выявлены некоторые закономерности движения аэросмесей и раскрыт характер зависимости потерь давления на трение по длине трубопровода при горизонтальном перемещении. В настоящей статье рассматриваются правоплунные трубопроводы, включающие также вертикальные и наклонные участки, с разработкой методики их расчета.

1. О негоризонтальных участках трубопроводов. В любой трассе транспорта наличие негоризонтальных участков неизбежно. Рассмотрим вертикальный участок. Исследования показали, что потери на трение на вертикальном участке несколько меньше потерь на горизонтальном. Поэтому применение расчетных уравнений [1, 2] для негоризонтальных участков, которые обычно составляют небольшую часть трассы, вполне приемлемо. Это дает возможность высоты вертикальных участков сложить к длине горизонтальных и при расчете всю трассу рассмотреть как горизонтальную. Но это касается только сопротивления трения. Кроме трения, на вертикальных участках возникает действие веса транспортируемого материала, для учета которого в уравнение (8) [3] нужно внести новый член, что крайне осложняет решение задачи. Было найдено целесообразным к учету действия веса на вертикальных участках подойти несколько упрощенно, следующим образом.

Если вертикальный участок имеет высоту H , а средний удельный вес аэросмеси на этом участке γ' , то очевидно, перепад давления (без учета потерь на трение) составит $\Delta P = H\gamma'$. Из этого следует, что ΔP зависит от местонахождения вертикального участка на трассе. Если участок находится в начале трассы, то ΔP может оказаться в несколько раз больше того перепада давления, который имел бы место при нахождении этого же участка в конце трассы, где удельный вес аэросмеси меньше. Эта зависимость ΔP от местонахождения вводит дополнительные затруднения в расчете трассы. Если же вертикальные участки учитывать не по перепаду давления, а по затрате энергии, то задача упрощается.

Затрата энергии на подъем аэросмеси может быть выражена как

$$I = HG + hG, \quad (1)$$

где H — высота вертикального участка, а h — расстояние по вертикали, на которое отстают частицы от потока при подъеме на H в результате стесненного падения.

Продолжительность подъема частиц на высоту H будет:

$$\tau = H/(V - C), \quad (2)$$

где V —средняя скорость движения потока на участке, а C —средняя скорость стесненного наделения частиц в потоке.

Очевидно, что $h = \tau C$, следовательно,

$$h = \frac{C}{V - C} H. \quad (3)$$

Когда средняя крупность частиц не превышает 50—60 микронов, скорость C составляет порядка 0,05 м/сек, а V —несколько м/сек. Поэтому величиной h , по сравнению с H , можно пренебречь, тогда (1) запишется так:

$$L = H G \text{ кг/м/час.} \quad (4)$$

Это означает, что затрата работы на подъем материала не зависит от местонахождения вертикального участка и практически равна произведению высоты подъема H на вес материала.

При наличии на трассе нескольких участков подъема, спуска или уклона их не нужно учитывать в отдельности, а следует взять их алгебраическую сумму. Иначе говоря, за вертикальный подъем (или спуск) H следует брать разницу между отметками начала монтажной трубы и конца транспортного трубопровода, а затрату (или приобретение) работы определить по (4).

2. Сопротивление колен (поворотов). Явления, происходящие на повороте аэросмеси и приводящие к возникновению местного сопротивления, весьма сложны и разнообразны. Сопротивление поворота аэросмеси зависит не только от свойств фаз, концентраций, скорости, диаметра трубопровода, радиуса кривизны, плавности, угла поворота и прочего, но и от непосредственного расположения самого поворота. На сопротивление вертикального поворота значительное влияние оказывает направление потока: если поток из вертикального положения переходит в горизонтальное, то возникают одни сопротивления, если же поток из горизонтального положения переходит в вертикальное, то — другие.

В настоящем исследовании мы не занимались поисками обобщающих количественных выводов и ограничивались только опытным нахождением величин сопротивлений плавных поворотов под углом 90° (при некоторых диаметрах труб). В результате было установлено, что сопротивление колена быстро растет с ростом скорости аэросмеси. Если колено находится в начале трассы, то его сопротивление эквивалентно сопротивлению 0,3—0,5 м соседнего прямого горизонтального участка, а на конечных участках трассы достигает 5—7 м сопротивления прямого участка. Не опасаясь заметных погрешностей в расчете всей трассы, можно принимать, что в среднем сопротивление плавного колена с радиусом поворота более 1,5 м равно среднему сопротивлению 5 м прямого горизонтального участка.

3. **Трубопровод постоянного диаметра.** Начальный диаметр трубопровода (диаметр монжусной трубы) определяют исходя из принятой производительности, начальной концентрации \bar{c}_1 и критической скорости $V_{kp} = V_1$. Если этот диаметр постоянен по длине трассы, то остается определить начальное давление в монжусе P_1 .

Определение P_1 можно произвести так: а) определяется фактическая длина всей трассы l_1 от начала монжусной трубы до конца трубопровода; б) задаваясь значениями P_1 , определяются соответствующие длины l горизонтального трубопровода и строится кривая $P_1 = f(l)$ для трубопровода данного диаметра D (на рис. 1 приведен пример для четырех диаметров, для глинозема); в) по уравнению (9) [3] определяется несколько значений работоспособности одной тонны аэросмеси (L) при различных значениях P_1 , принимая конечное давление равное 1 ата, и строится кривая $L = f(P_1)$ (на рис. 2 приведены такие кривые для глинозема* и цемента); г) принимая, что вся трасса l_1 горизонтальна, из рис. 1 определяется давление P_1 , соответствующее l_1 , а по P_1 из рис. 2 определяется L' ; д) выявляется разница между отметками начала монжусной трубы и конца трубопровода H ($1000 H$ это — работа на подъем одной тонны материала, $L_{хол}$), затем определяется число поворотов (колен) по всей трассе N , и из выражения $L_{хол} = 5 NL'/l$ — дополнительные затраты работы на этих поворотах; е) по сумме

$$L = L' + L_{хол} + L_{хол} \tag{5}$$

из рис. 2 определяется необходимое давление P_1 .

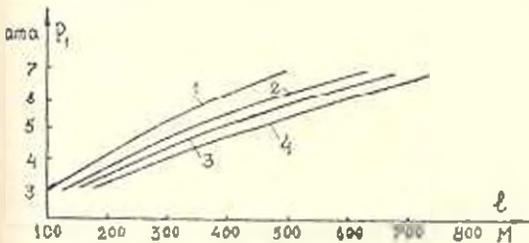


Рис. 1. Зависимость длины перемещения от давления (при постоянном диаметре трубы):

- 1 — при $D=51$ мм и $G=16,9$ т/час;
- 2 — при $D=76$ мм и $G=42,5$ т/час;
- 3 — при $D=100$ мм и $G=81,6$ т/час;
- 4 — при $D=125$ мм и $G=140,8$ т/час;

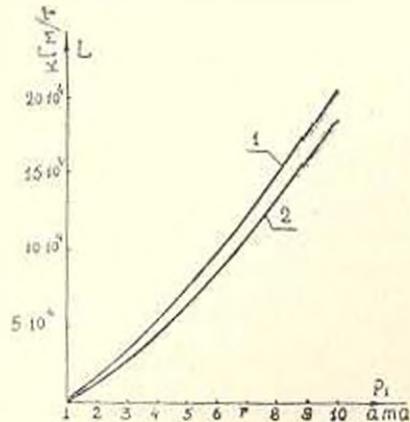


Рис. 2. Зависимость удельной работоспособности воздуха (L) от давления: 1 — для глинозема; 2 — для цемента.

Решение ряда примеров и анализ результатов показал, что такой способ расчета дает несколько заниженное значение P_1 .

* Отметим, что (9) [3] написано для глинозема, для другого материала следует подставить соответствующие значения n и γ_1 .

Вышеприведенный способ расчета дает вполне удовлетворительные результаты, если (5) написать в виде

$$L = L' + L_{\text{под}} + L_{\text{кол}} + L_k, \quad (6)$$

где L_k — кинетическая энергия одной тонны аэросмеси в конце трубопровода, определяемая из выражения:

$$L_k = 1000 \frac{V_k^2}{2g}, \quad (7)$$

Такой метод расчета можно применять для любой трассы с $D = \text{const}$, даже для случая, когда вся трасса состоит из вертикального трубопровода любой высоты.

Пример 1. Для пневмотранспорта глинозема трубопровод должен обеспечить производительность 40 т/час. Сумма фактических длин всех участков трассы $l_1 = 160$ м. Общая высота подъема аэросмеси $H = 20$ м, число плавных поворотов под углом 90° на трассе $N = 1$. Конечное давление $P_k = 1$ ата. Известно, что для глинозема $\varphi_1 = 0,265$ ($\mu = 0,8 \cdot 10^{-3}$ м²/кг), а $\gamma_1 = 3470$ кг/м³. Определить диаметр трубопровода D и величину начального давления аэросмеси P_1 .

Решение. Начальный удельный вес аэросмеси составит: $\gamma_1 = 0,265 \cdot 3470 = 920$ кг/м³. Начальный объем — $W_1 = 40000 : 920 = 43,5$ м³/час. Начальную скорость V_1 принимаем равной $V_{\text{кр}} = 1,84 + 13D$. Следовательно, $W_1 = 43,5 = V_{\text{кр}} \cdot 0,785 \cdot D^2 \cdot 3600$.

Из этих выражений путем подбора определяем $D = 76$ мм и $V_1 = V_{\text{кр}} = 2,83$ м/сек.

По кривой 2 рис. 1 находим $P_1 = 4$ ата, соответствующее горизонтальному прямому трубопроводу длиной $l_1 = 160$ м. Из рис. 2 по кривой 1 находим работоспособность аэросмеси $L' = 5,3 \cdot 10^4$ кгГм/т, соответствующую P_1 . Определяем работу подъема $L_{\text{под}} = 20 \cdot 1000 = 2 \cdot 10^4$ кгГм/т. Находим затраты работы на преодоление сопротивлений колен $L_{\text{кол}} = 5 \cdot 4 \cdot 5,3 \cdot 10^4 : 160 = 0,66 \cdot 10^4$ кгГм/т.

По (5) находим общую затрату энергии $L = 7,96 \cdot 10^4$ кгГм/т и по этой величине из рис. 2 находим $P_1 = 5,2$ ата.

Далее, согласно вышеизложенному, вводим поправку на кинетическую энергию. Находим конечную скорость V_k для $P_1 = 5,2$ ата, а именно:

$$V_{\text{кр}} = 2,83 (0,265 + 0,735 \cdot 5,2) = 11,6 \text{ м/сек. Следовательно,}$$

$$L_k = 1000 \cdot 11,6^2 : 19,62 = 6700 \text{ кгГм/т.}$$

Уточненный расход работы согласно (6) составит $8,63 \cdot 10^4$ кгГм/т, уточненное значение P_1 согласно рис. 2 составит 5,45 ата.

Сама трасса может иметь любую конфигурацию с общим подъемом в 20 м и числом колен 4.

4. Ступенчатый трубопровод. Начальный диаметр D_1 определяется аналогично п. 3. Затем, зная D_1 , строится кривая $P_1 = f(l)$ для ступенчатого трубопровода. Принимая $P_1 = 3$ ата (для более низких P_1 рекомендуется применять трубопровод постоянного диаметра), опре-

деляются длины участков ступеней. При этом перепад давления в первой ступени рекомендуется принимать $\Delta P_1 = 1 \text{ ата}$ (от 3 до 2 ата), а во второй и третьей ступенях — по 0,5 ата. Сумма длин трех ступеней даст l_3 .

Аналогичный расчет производится и при $P_1 = 4 \text{ ата}$, с разбивкой трассы на четыре участка (на первых двух перепад давления по 1 ата, а на последних двух — по 0,5 ата). Сумма длин ступеней даст l_4 . Таким образом, определяют l_5 , l_6 и l_7 соответственно для $P_1 = 5$; 6 и 7 ата. На рис. 3 приведены кривые $P_1 = f(l)$ для четырех начальных диаметров (для глинозема), построенные указанным способом. Допуская, что вся трасса горизонтальная, из кривой $P_1 = f(l)$ определяется необходимое начальное давление P_1' , и по нему из рис. 2 находят L' . Имея общий подъем H и число колен, по (5) определяется общая начальная работоспособность аэросмеси L , а по ней — давление P_1 .

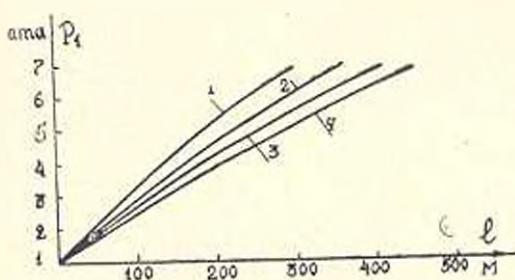


Рис. 3. Зависимость длины перемещения от давления при ступенчатом трубопроводе. (Номера кривых, начальные диаметры и производительности соответствуют приведенным на рис. 1).

Пример 2. Для пневмотранспорта глинозема ступенчатый трубопровод должен обеспечить производительность 40 т/час. Фактическая длина $l_1 = 320 \text{ м}$; $H = 20 \text{ м}$; $N = 4$; $P_k = 1 \text{ ата}$. Определить начальное давление P_1 и рассчитать трубопровод.

Решение. Аналогично предыдущему примеру находим начальный диаметр $D_1 = 76 \text{ мм}$. Из рис. 3 (кривая 2) при $l_1 = 320 \text{ м}$ находим $P_1 = 4,9 \text{ ата}$, которому соответствует $L' = 7,3 \cdot 10^4 \text{ кг·м/т}$. Далее, $L_{\text{пол}} = 2 \cdot 10^4$, а $L_{\text{н}} = 5,4 \cdot 7,3 \cdot 10^4 : 320 = 0,46 \cdot 10^4$. Общая начальная работоспособность аэросмеси по (5) получится: $L = 9,76 \cdot 10^4 \text{ кг·м/т}$. Из рис. 2 находим $P_1 = 5,8 \text{ ата}$.

Структура трубопровода (число и длины ступеней и их диаметры) определяется, допуская, что он горизонтальный и прямолинейный, а начальное давление $P_1 = 4,9 \text{ ата}$. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Участок	$D, \text{ м.м}$	$\Delta l, \text{ м}$	Перепад давления, ата	
I	76	40	от 4,9	до 4,0
II	82	50	от 4	до 3,0
III	88	80	от 3	до 2,0
IV	100	60	от 2	до 1,5
V	110	90	от 1,5	до 1,0

Институт органической химии АН АрмССР

Поступило 28.X.1970.

Ա. Մ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, ՅԱ. Ա. ԱԼՄԱՍՅԱՆ, Ռ. Ե. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

ԱՆՐՈՒԿՈՒՄԻՐՎԵԼԻՐԻ ՏԵՂԱՓՈԽՄԱՆ ԽՈՂՈՎԱԿԱԳՆԵՐԻ ՀԱՇՎՈՒՄԸ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Մշակված է խիտ շերտով պնեմոտրանսպորտի հաշվման մեթոդիկա խողովակաղծերի ցանկացած ձևի համար՝ երբ խողովակաղծում առկա են վերաիկալ բարձրացող ու իջնող հատվածներ, հորիզոնական հատվածներ, անկյուններ և թիրուխյուններ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гаспарян А. М., Алмасян Я. А., Акопян Р. Е. «Известия АН АрмССР, серия технических наук», т. XXIV, № 2, 1971.
2. Алмасян Я. А., Гаспарян А. М., Акопян Р. Е. «Известия АН АрмССР, серия технических наук», т. XXIV, № 3, 1971.
3. Гаспарян А. М., Акопян Р. Е., Алмасян Я. А. «Известия АН АрмССР, серия технических наук», т. XXVI, № 5, 1973.