Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1987, т.110

УДК 622.273.217.4

ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ТВЕРДЕЮЩИХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ ПО ПОЛИЭТИЛЕНОВЫМ ТРУБАМ

Л.Г.ГАМБАРЬЯН

Закладочные смеси в выработанное пространство подаются обычно по стальным трубопроводам, проложенным по существующим выработкам, и их трассы далеко не идеальны по условиям максимально необходимой длины доставки в самотечном режиме. Значительные изменения трасс трубопроводов как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях приводят к росту гидравлических сопротивлений и, соответственно, к уменьшению длины самотечной доставки, увеличению энергоемкости процесса и расхода сжатого воздуха, а также значительному росту себестоимости закладки.

Закладочная смесь при поступлении в вертикальный трубопровод создает в нем гидростатическое давление, которое в общем случае может быть выражено следующим образом:

$$P_{В} = H(\rho_{Г} g - \Delta P_{ВУ}) , \qquad (1)$$

где H - высота заполнения вертикального става, м; $\rho_{Г}$ - плотность закладочной смеси, кг/м^3; $\Delta P_{ВУ}$ - удельное сопротивление трубопровода на вертикальном участке.

Закладочная смесь перемещается по горизонтальному трубопроводу до тех пор, пока давление под коленом не уравновесится общим сопротивлением на этом участке, т.е. когда

$$P_{В} = \ell_{Г} \Delta P_{ГУ} \qquad (2)$$

или

$$H\rho_{Г} g \geq H\Delta P_{ВУ} + \ell_{Г} \Delta P_{ГУ} , \qquad (3)$$

где $\Delta P_{ГУ}$ - удельное сопротивление трубопровода на горизонтальном участке; $\ell_{Г}$ - длина горизонтального участка, м.

Из рассмотрения неравенства (3), которое является основным уравнением движения гидросмеси на горизонтальном участке, видно, что общее сопротивление движению гидросмеси зависит от физико-механических характеристик гидросмеси, длин вертикального и горизонтального участков, а также удельных сопротивлений на этих участках. Расчет удельных сопротивлений весьма затруднен, так как имеющиеся различные зависимости, полученные на основе экспериментальных данных и некоторых теоретических сооб-

ражений, не позволяют с достаточной точностью определять искомые параметры - гидравлические сопротивления - из-за чрезвычайного разнообразия условий гидротранспорта твердеющей закладки.

Зависимость гидравлических сопротивлений при движении твердеющей закладки на самотечном участке в наиболее общем случае имеет следующий вид:

$$\Delta P_{ГУ} = f(u, D, c, d_{ср}, \rho_{т}, \Delta), \qquad (4)$$

где u - средняя скорость потока, м/с; D - диаметр трубопровода, м; c - концентрация гидросмеси; $d_{ср}$ - диаметр частиц заполнителя, мм; $\rho_{т}$ - плотность частиц твердого, мм; Δ - шероховатость стенок трубопровода, мм.

Наиболее правильно эту зависимость при турбулентном режиме движения гидросмеси позволяет раскрыть расчетная формула, предложенная Р.В.Балахом [I], которая основана на хорошо апробированной в гидравлике зависимости Дарси - Вейсбаха и имеет следующий вид:

$$\Delta P_{ГУ} = \lambda_{Г} \frac{\rho u^2}{2D} \qquad (5)$$

или

$$\Delta P_{ГУ} = x \lambda_{В} \frac{\rho u^2}{2D} \qquad (6)$$

где $\lambda_{Г}$ - коэффициент гидравлических сопротивлений при движении гидросмеси; $\lambda_{В}$ - коэффициент гидравлических сопротивлений при движении чистой воды; x - безразмерный параметр, учитывающий влияние гидравлической крупности частиц, скорости потока и массовой плотности пульпы, величина x может быть определена согласно формуле Р.В.Балаха:

$$x = 1 + \frac{W}{u \lambda_{В}} \mu^{m} \qquad (7)$$

W - гидравлическая крупность, м/с; μ - массовая плотность, %; m - показатель степени, m = 0,7-I,0.

Подставляя выражения для x в зависимость (6), получим

$$\Delta P_{ГУ} = \lambda_{В} \frac{\rho u^2}{2D} + \frac{W}{u} \mu^{m} \frac{\rho u^2}{K 2D} \qquad (8)$$

где K - безразмерный коэффициент гидродинамического подобия потоков.

В более общем случае

$$\Delta P_{ГУ} = \Delta P_{В} + \Delta P_{Т} \qquad (9)$$

где $\Delta P_{В}$ - удельные сопротивления при движении воды, Па/м; $\Delta P_{Т}$ - дополнительные удельные сопротивления, обусловленные наличием в потоке твердых частиц, Па/м.

Полученная зависимость полностью совпадает с традиционно используемой двухчленной зависимостью $J_{Т} = J_{В} + \Delta J$ для определения удельных

потерь напора при гидротранспорте сыпучих материалов и позволяет анализировать гидравлические сопротивления труб при течении по ним закладочных смесей, тем более, что в последнее время для транспортирования закладочных смесей используются трубы из синтетических материалов.

Использование труб из синтетических материалов при транспорте закладочных смесей продиктовано в первую очередь необходимостью увеличения длины самотечного и самотечно-пневматического участков, более полного использования гидростатического давления, создаваемого гидросмесью в вертикальном ставе и уменьшения расхода сжатого воздуха за счет снижения гидравлических сопротивлений. Согласно имеющимся данным [2] использование синтетических труб позволяет снизить гидравлические сопротивления на 20-60 % по сравнению со стальными трубами, традиционно используемыми при гидрозакладке.

Для сравнительного анализа гидравлических сопротивлений при использовании синтетических труб воспользуемся зависимостями (8) и (9). Зависимость (9) представляет собой двучлен, достаточно точно определяющий соотношение удельных сопротивлений при движении закладочных смесей по горизонтальному трубопроводу. Первое слагаемое правой части представляет собой удельные сопротивления при движении чистой воды по горизонтальному трубопроводу со средней скоростью, равной скорости гидросмеси. Согласно зависимости (8) это слагаемое может быть представлено в виде широко используемой расчетной формулы Дарси - Вейсбаха:

$$\Delta P_{\text{В}} = \lambda_{\text{В}} \frac{\rho u^2}{2D} \qquad (10)$$

Чтобы вычислить удельные сопротивления при заданных средней скорости потока и диаметре трубопровода, необходимо знать коэффициент сопротивления $\lambda_{\text{В}}$. Однако большинство исследователей не указывают, по каким формулам следует подсчитать этот коэффициент, считая, по-видимому, что этот вопрос легко разрешается средствами гидравлики для однородной жидкости и обычных водопроводимых труб и поэтому не требуется каких-либо четких рекомендаций. Между тем, коэффициент гидравлических сопротивлений находится в зависимости от тех или иных условий гидротранспортирования и для его определения требуется совершенно четкие рекомендации.

Закладочные трубопроводы подвержены значительному гидроабразивному и коррозионному износу, поэтому при расчете коэффициента гидравлических сопротивлений для таких трубопроводов следует пользоваться зависимостями, учитывающими корродированность внутренней поверхности, например, расчетной формулой, предложенной в работе [3]:

$$\lambda_{\text{В}} = 0{,}24 \left[\frac{1{,}9 \cdot 10^{-6}}{D} + \frac{1}{\text{Re}} \right]^{0{,}226} \qquad (11)$$

где Re - число Рейнольдса.

Для труб с установившейся шероховатостью трубопроводов обычных гидротранспортных линий необходимо пользоваться зависимостью вида

$$\lambda_B = \frac{0,31}{(\ell g Re - 1)^2} \qquad (I2)$$

или зависимостью для теоретически гладких труб

$$\lambda_B = \frac{1}{(1,8 \ell g Re - 7)^2} \qquad (I3)$$

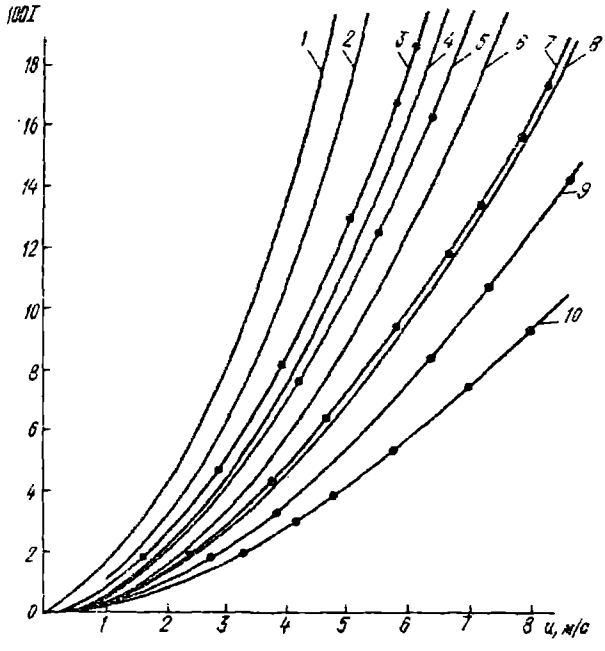
Для полиэтиленовых труб при определении коэффициента гидравлических сопротивлений можно воспользоваться зависимостью, предложенной Ф.А.Шевелевым [4]:

$$\lambda_B = \frac{0,25}{Re^{0,226}}. \qquad (I4)$$

Приведенные расчетные зависимости позволяют достаточно легко определять величину коэффициента гидравлических сопротивлений и выполнить сравнительный анализ гидравлических характеристик стальных полиэтиленовых труб (см. таблицу).

Значения λ для стальных труб

Скорость, м/с	Диаметр трубопровода, мм					Тип труб
	125	150	200	250	300	
	1,71	1,64	,55	1,48	1,43	Гидравлически гладкие трубы
2	1,48	1,43	1,36	1,30	1,26	
3	1,38	1,33	1,26	1,22	1,19	
4	1,21	1,185	1,147	1,08	1,05	
5	1,16	1,140	1,076	1,03	1,00	
	1,84	1,77	1,66	1,60	1,54	Трубы с установившейся шероховатостью
2	1,60	1,54	1,46	1,40	1,35	
3	1,48	1,43	1,35	1,30	1,26	
6	1,30	1,24	1,20	1,15	1,12	
8	1,24	1,19	1,14	1,10	1,07	
1	2,24	2,10	1,93	1,85	1,77	Трубы шероховатые с корродированной поверхностью
2	2,16	2,00	1,85	1,78	1,70	
3	2,125	1,98	1,82	1,75	1,67	
6	2,10	1,94	1,79	1,72	1,64	
8	2,10	1,94	1,79	1,72	1,63	
1	1,76	1,69	1,58		1,44	Полиэтиленовые трубы
2	1,51	1,44	1,355	1,28	1,24	
3	1,374	1,31	1,24	1,175	1,13	
6	1,175	1,13	1,08	1,00	0,964	
8	1,10	1,08	0,964	0,94	0,904	



Зависимость удельных потерь напора при движении воды шероховатым стальным и полиэтиленовым трубопроводам: 4, 6, 8 – стальные трубы; 3, 5, 7, 9, 10 – полиэтиленовые трубы

Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что коэффициент гидравлических сопротивлений для полиэтиленовых труб во всем диапазоне представленных диаметров и скоростей меньше коэффициента не только для стальных шероховатых труб (с корродированной поверхностью), но и для труб с установившейся шероховатостью.

Таким образом, значения коэффициента для полиэтиленовых труб лежат в области между λ_B для гидравлически гладких труб и труб с установившейся шероховатостью. Кроме того, из приведенных данных видно, что величина λ_B для полиэтиленовых труб уменьшается с увеличением диаметра и еще более интенсивно с увеличением скорости потока. Сопоставление данных показало, что полиэтиленовые трубы с учетом изменения диаметров и скорости потока обладают сопротивлениями на 20-60 % меньшими, чем шероховатые стальные трубы, широко используемые при транспортировании закладочных смесей. Это обстоятельство позволяет сделать вывод, что использование полиэтиленовых труб позволит значительно снизить удельные сопротивления ΔP_B, что наглядно видно из графических зависимостей $\Delta P_B = f(u)$ (см. рисунок).

Второе слагаемое зависимости (9) ΔP_T представляет собой дополнительные удельные сопротивления, обусловленные наличием в потоке твердых частиц. Согласно зависимости (8) ΔP_T находится в функциональной зависимости от основных параметров гидротранспортирования:

$$\Delta P_T = f\left(\frac{\mu^m W \rho_T u}{K 2D}\right), \qquad (15)$$

Из зависимости (15) видно, что величина ΔP_T прямо пропорциональна массовой плотности или концентрации твердых частиц и обратно пропорциональна диаметру трубопровода. Иными словами величина ΔP_T при прочих равных условиях возрастает с увеличением скорости потока и уменьшается с увеличением диаметра трубопровода.

Таким образом, можно сделать вывод, что суммарные сопротивления $\Delta P_{г.у}$ при использовании полимерных труб будут всегда меньше удельных сопротивлений стальных шероховатых труб. Следовательно, применение полимерных (полиэтиленовых) труб для гидротранспорта твердеющей закладки позволит сократить энергозатраты и расход сжатого воздуха (на участке самотечно-пневматического транспортирования) и значительно увеличить длину доставки закладочных смесей без увеличения высоты заполнения вертикального става.

ЛИТЕРАТУРА

Балах Р.В. Разработка месторождений с за щения. Алма-Ата. Наука, 1978.

2. Вяткин орбачев В.Д., В.А. Твердею закладка на рудниках. М., Недра, 1983.

3. Инструкция гидротранспорта грунтов. П-58-7 Л., Энергия, 1972.

4. Шевелев Ф. Таблицы стмассовых и других труб. М., Стройиздат, 1973.