Записки Санкт-Петербургского горного института им.Г.В.Плеханова.
Том 141. СПб, 1995

УДК 621.686.7:061.3(430.1)

А.Б.НЕЗАМЕТДИНОВ

ТРУБОПРОВОДНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Трубопроводный транспорт при нормальной работе имеет преимущества перед другими видами транспорта, так как меньше засоряет воздух, воду и землю. При прорыве трубопровода в результате гидроудара, повышенного износа отдельных участков труб или при резких перепадах температуры окружающего воздуха эти преимущества пропадают.

Большинство исследователей направляет свои усилия на предотвращение гидроударов [8], на создание устройств, защищающих системы от гидроударов [9], другие изучают износ труб от различных факторов [3] и предлагают конструктивные решения, уменьшающие износ отдельных участков трубопровода [1].

Но есть разработки, направленные на сохранение окружающей среды при прорыве трубопровода, частично устраняющие выливание содержимого трубопровода наружу [5]. Эта система состоит из двух параллельных трубопроводов, один из которых предназначен для перекачки пульпы, несущей твердые материалы, а второй – для возврата отработавшей воды на головную станцию. Особенностью этой системы является использование нескольких переключающих устройств, каждое из которых состоит из двух трубопроводных перемычек между основными трубопроводами и установленных в этих перемычках клапанов. В случае прорыва одного из трубопроводов окружающая среда от транспортируемой пульпы не защищена. Пока происходит переключение с одного трубопровода на другой, часть пульпы выливается наружу.

Другие системы [6] состоят из трех параллельных трубопроводов, снабженных клапанами. К входной стороне этих клапанов с помощью трубопровода подключен высоконапорный насос, нагнетающий чистую воду. В трубопроводах установлены также клапаны, выходная сторона которых связана с трубопроводом для транспортирования под высоким давлением пульпы, несущей сыпучие материалы. На выходе клапанов подключены трубопроводы, идущие от низконапорного насоса, подающего пульпу. С входной стороны клапанов с трубопроводами, имеющими клапаны, связан трубопровод, используемый для возврата чистой воды.

Насос включается при открытых и закрытых клапанах. При этом пульпа заполняет трубопроводы, после чего первые клапаны закрываются, открываются вторые клапаны и включается насос, в результате чего под давлением чистой воды пульпа поступает в трубопровод. При непрерывной работе насосов освобождение трубопроводов от пульпы производится поочередно, благодаря чему обеспечивается непрерывное транспортирование пульпы по трубопроводу. К недостаткам предыдущей системы [5] добавляется еще повышенная металлоемкость конструкции. Предлагаемая трубопроводная система для гидротранспортирования пульпы с оборотным водоснабжением состоит, как в упомянутом случае [6], тоже из трех труб, только расположенных концентрично одна в другой (рис.I). Пульпа транспортируется по внутренней трубе I, оборотная вода движется между внутренней и средней 2 трубами, а между средней и наружной трубой 3 – свободное пространство.

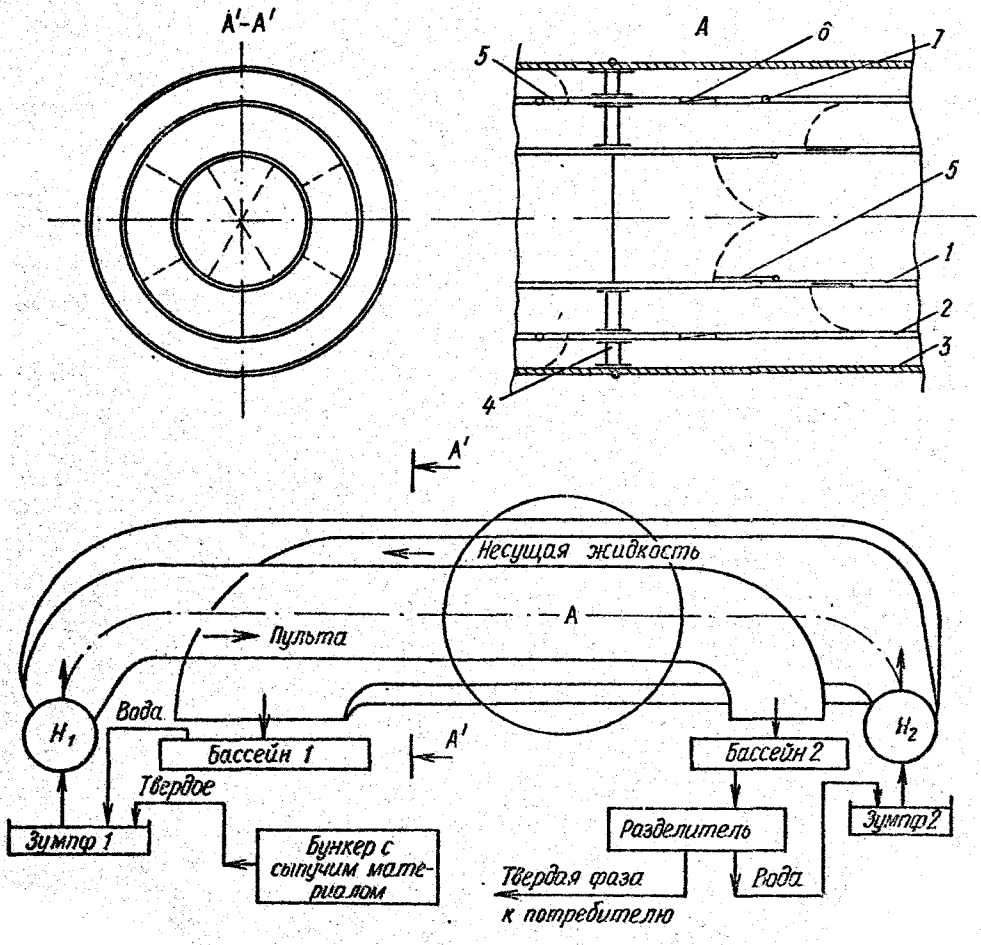


Рис.1. Схема гидротранспорта с оборотным водоснабжением

Таблица 1

Поливинилхлоритовые трубы (ТУ 6-19-100-78)

Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Масса, кг/м	Длина, м
63	3,0	4,72	5,5
110	5,3	14,4	5,5
160	7,7	30,3	5,5
225	10,8	59,8	5,5
280	13,4	92,0	5,5
315	15,0	116,0	5,5

Внутренняя и средняя трубы выполнены из эластичного материала поливинилхлорита, поэтому расход металла в данной схеме намного меньше, чем в системе, описанной в работе [6]. Для быстрого монтажа поливинилхлоритовых труб (табл.I) применяются направляющие втулки с перемычками, которые одновременно и фиксируют эти трубы в наружной стальной трубе.

Длина отрезков стальной и поливинилхлоритовых труб для монтажа берется одинаковой и направляющие втулки 4 способствуют хорошей стыковке всех трех труб. В средней части по длине монтируемых отрезков трубопроводов могут устанавливаться промежуточные упрощенные направляющие втулки с перемычками.

В случае прорыва внутренней трубы I пульпа не выливается наружу, так как попадает в промежуток между средней и внутренней трубами. Если прорывается средняя труба 2, то оборотная вода попадает в пространство между средней 2 и наружной 3 трубами и не выливается наружу. Предложенная система может быть усложнена за счет установки в стенках внутренней и средней труб перемычек 5, клапанов 6 и датчиков 7, сигнализирующих об утечках и подключенных к компьютеру на пульте диспетчера.

С помощью насоса H_1 транспортируется пульпа, смесь хвостов обогащения и воды, а насосом H_2 техническая вода после отделения ее от твердой фазы и осветления транспортируется обратно к месту расположения насоса H_1. При этом все перемычки 5, клапаны 6 закрыты, а датчики давления 7 показывают, что утечек нет.

При прорыве внутреннего трубопровода I датчики давления 7, расположенные по обе стороны от трещины в трубе, будут подавать сигнал об утечке диспетчеру или компьютеру. Останавливается насос H_2, перемычками 5 обеспечивается переход пульпы из внутренней трубы I в промежуток между внутренней и средней трубами, а после прохождения вокруг отсеченного участка трубы I возвращение пульпы происходит через другие клапаны 6 снова во внутреннюю трубу I.

При прорыве среднего трубопровода 2 сигнал об утечках поступает от датчиков давления 7, расположенных на среднем трубопроводе 2 по обе сто-

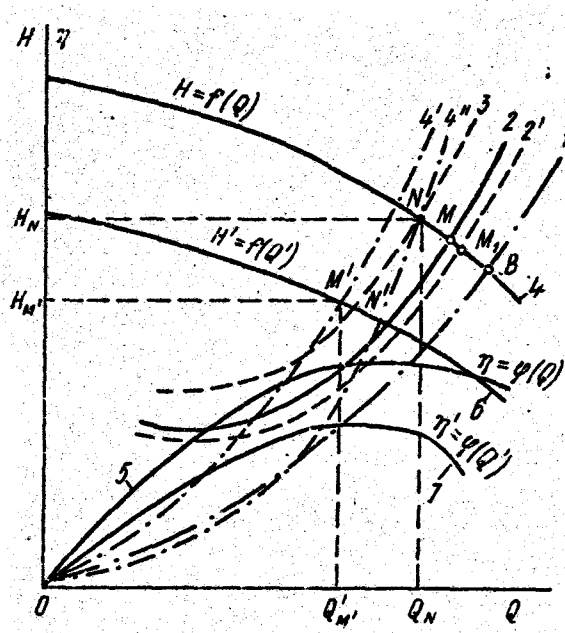


Рис.2. Режимы работы трубопроводов с насосами H_1 и H_2

1 – Q-H-характеристика внутреннего трубопровода при транспортировании воды насосом H_1; 2 – то же при транспортировании пульпы; 2' – то же при прорыве внутреннего трубопровода; 3 – Q-H - характеристика сети при движении пульпы по внутреннему трубопроводу, затем промежутку между внутренним и средним трубопроводом и снова по внутреннему трубопроводу; 4 – Q-H-характеристика центробежного насоса H_1; 4' – Q-H-характеристика трубопровода при транспортировании оборотной воды по кольцевому пространству между внутренней и средней трубой; 4'' – Q-H-характеристика трубопровода при транспортировании воды по кольцевому пространству между внутренней и средней трубой до клапана 6, а дальше по кольцевому пространству между средней и внешней трубой; 5 – η-H-характеристика центробежного насоса H_1; 6 – Q-H-характеристика насоса H_2; 7 – η-H-характеристика насоса H_2

роны от трещины. Несущая жидкость поступает в свободное пространство между средним 2 и внешним 3 трубопроводами и не выливается наружу, а по свободному пространству поступает в бассейн I. Полученный сигнал от датчиков 7 позволяет диспетчеру определить место утечки, с помощью бригады ремонтников ликвидировать трещину или прорыв среднего трубопровода 2, выключив насос H_2

Контроль за работой рабочих трубопроводов производится с помощью датчиков давления 7 типа "МД-250т", равномерно распределенных по длине внутреннего I и среднего 2 трубопроводов и расположенных между перемычками 5 и клапанами 6.

При прорыве внутреннего трубопровода характеристика сети (рис.2, кривая 2) изменит свои параметры. При движении пульпы по внутреннему трубопроводу I суммарные потери напора [2]

$$H_{пот} = 0{,}5\lambda L v_п^2 g^{-1} \gamma_п D_{вн}^{-1} + B v_п^{-1}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент гидравлических сопротивлений; L – длина трубопровода, м; $v_п$ – средняя скорость для всего сечения трубы, м/с; $\gamma_п$ – плотность пульпы, т/м^3; $D_{вн}$ – внутренний диаметр внутренней трубы, м; g – ускорение силы тяжести, м/с^2; B – параметр, зависящий от скорости и являющийся функцией различных характеристик гидросмеси, а также ее жидкой и твердой составляющих.

Коэффициент гидравлических сопротивлений при турбулентном режиме для полиэтиленового трубопровода можно определить по формуле Ф.А.Шевелева [7] (табл.2)

$$\lambda = 0{,}25\,Re^{-0{,}226}. \quad (2)$$

Таблица 2

Значения λ для полиэтиленовых труб

Скорость, м/с	Диаметр трубопровода, мм					
	63	110	160	225	280	315
1	2,0	1,834	1,67	1,545	1,47	1,42
2	1,68	1,566	1,423	1,323	1,26	1,22
3	1,53	1,412	1,296	1,207	1,148	1,117
6	1,286	1,204	1,116	1,03	0,988	0,954
8	1,2	1,124	1,04	0,952	0,918	0,894

После того как пульпа часть пути будет проходить по промежутку между внутренней I и средней 2 трубами, суммарные потери напора можно определить по формуле

$$H'_{пот}=0{,}5v_п^2g^{-1}\left\{\left[(\lambda l_1+\lambda l_3)D_{вн}^{-1}+\lambda_2 l_2(D_{ср}-D_{вн})\right]+0{,}5v_п^2g(\xi_{M_1}+\xi_{M_2})+n\xi_{M_3}v_п^2g+\Sigma(Bv_п^{-1}),\right. \quad (3)$$

где $D_{ср}$ – внутренний диаметр среднего трубопровода, м; l_1, l_3 – длина участков внутреннего трубопровода I, по которому течет пульпа, соответственно до и после места прорыва, м; l_2 – длина участка трубопровода, по которому пульпа огибает место прорыва, по промежутку между внутренним I и средним 2 трубопроводами, м; λ_2 – коэффициент сопротивления пульпы при движении по промежутку между внутренним и средним трубопроводами,

$$\lambda_2 = 0{,}6Re_к^{-0{,}23}; \quad (4)$$

$$Re_к = v_п(D_{ср}-D_{вн})\rho_п\mu_п^{-1}; \quad (5)$$

$\rho_п$ – плотность пульпы; $\mu_п$ – коэффициент динамической вязкости пульпы; $Re_к$ – число Рейнольдса для промежутка между внутренними и средними полиэтиленовыми трубами; n – число стыков полиэтиленовых труб; ξ_{M_1}, ξ_{M_2} – коэффициенты сопротивления клапанов 6 соответственно при входе и выходе из промежутка между внутренней и средней трубой; ξ_{M_3} – коэффициент сопротивления одного стыка полиэтиленовых труб.

Характеристика сети, представленная зависимостью (3), на рис.2 показана кривой 3. В момент прорыва внутреннего трубопровода I характеристика сети на рис.2 переместится в положение 2, т.е. увеличится расход и уменьшится давление в трубопроводе, что и будет зафиксировано датчиком давления 7, осуществляющим контроль за работой внутреннего трубопровода.

Во втором случае, когда прорывается средний трубопровод 2, изменяется характеристика сети (рис.2, вместо кривой $4''$ – кривая $4'$), вода из промежутка между двумя полиэтиленовыми трубами через клапан 6 попадает в промежуток, где одна стенка полиэтиленовая, а вторая металлическая.

Суммарные потери напора в этом случае

$$H''_{пот}=0{,}5v_п^2g^{-1}\left[\lambda_в l_4 \gamma_в (D_{ср}-D_{вн})^{-1}+\lambda'_в l_5 \gamma_в (D_{внеш}-D'_{ср})+\xi_{M_4}+n_2\xi_{M_5}+n_3\xi_{M_6}\right], \quad (6)$$

где $\lambda_в, \lambda'_в$ – коэффициент гидравлических сопротивлений при движении воды соответственно по кольцевому пространству между внутренней I и средней 2 трубами, а также между средней 2 и внешней 3 трубами; l_4, l_5 – длины труб соответственно от насоса H_2 до клапана 6 и от клапана до бассейна I (см. рис.I), м; $\gamma_в$ – плотность воды, т/м^3; $D_{внеш}$ – внутренний диаметр внешней металлической трубы 3, м; $D'_{ср}$ – внешний диаметр средней полиэтиленовой трубы 2, м; $\xi_{M_4}, \xi_{M_5}, \xi_{M_6}$ – местные сопротивления соответственно клапана 6, стыков полиэтиленовых и металлических труб; n_2, n_3 – количество стыков соответственно полиэтиленовых и металлических труб;

$$\lambda_в = 0{,}6\,Re_в^{-0{,}23}; \quad (7)$$

$$Re_в = v_в(D_{ср}-D_{вн})\rho_в \mu_в^{-1}; \quad (8)$$

$\rho_в$, $\mu_в$ – соответственно плотность и коэффициент динамической вязкости воды,

$$\lambda'_в = 0{,}4\,Re_0^{-0{,}22}, \quad (9)$$

$$Re_0 = v_в(D_{внеш}-D'_{ср}). \quad (10)$$

Приведенные зависимости (I)–(IO) характеризуют параметры системы при турбулентном режиме движения пульпы и оборотной воды. Для ламинарных режимов рекомендуются зависимости, предложенные в работе [4].

Рабочие точки M' и N' пересечения напорных характеристик насоса (рис.2, кривая 6) и Q–H–характеристики сети (кривые 4′ и 4") показывают, в каком режиме работает насос H_2 до и после прорыва среднего трубопровода.

Наиболее рационально данную систему применять при:

переходе на транспортирование более сгущенной пульпы (с концентрацией по объему более 40 %);

сокращении производительности по переработке руды и соответственно количества хвостов обогащения более чем на 50–40 %;

подборе схем гидротранспорта, уменьшающих суммарный расход электроэнергии в процессе транспортирования хвостов обогащения и оборотной воды;

транспортировании отравляющих окружающую среду жидкостей и пульп (например, цианидов);

транспортировании высокоабразивных пульп, содержащих в твердой фазе частиц кремнезема более I5 % по массе; предпочтительно, чтобы крупность частиц не превышала I мм, а класса менее 200 меш было не менее 30–40 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.с. 109826 СССР. Способ футеровки металлических транспортирующих труб / Ф.П.Агарышев, И.И.Золотов, А.Е.Клюев и др. // Бюл. изобр. 1957. № 12.

2. Инструкция по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов. Л.: Энергия, 1972.

3. Л я ш е в и ч В.В. Исследование износа пульповодов высокоабразивных вскрышных пород / Московский горный ин-т. М., 1967.

4. Р а б и н о в и ч Е.З. Гидравлика. М.: Недра, 1980.

5. Трубопроводная система для транспортирования твердых материалов: Патент США № 4553112 // Изобретение за рубежом. 1986. № 1.

6. Устройство для гидравлического транспортирования сыпучих материалов: Патент США № 4371294 // Изобретение за рубежом. 1983. № 2.

7. Ш е в е л е в Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, пластмассовых и других труб. М.: Стройиздат, 1973.

8. W i l k e r s o n C.W. // Oil and Gas j. 1989, 87, N 29.

9. G i l t a s s e n R., Lange H. // 3R Tn.., 1989, 26, N 5.