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

УДК 622.647.532.678.744.7

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПО НАКЛОННЫМ ПУЛЬПОВОДАМ СО СЛОЕМ ЗАИЛЕНИЯ

А.С.МЕДВЕДЕВ

Одной из важнейших задач народнохозяйственного плана развития промышленности является внедрение высокопроизводительной технологии добычи и переработки полезных ископаемых. Существенной частью этой технологии является перемещение полезных ископаемых в виде сыпучих материалов, а также отходов обогащения в черной и цветной металлургии.

Существующие гидротранспортные линии в большинстве случаев проложены в сложных горных условиях с большими перепадами по высоте. Это обуславливает применение системы наклонных трубопроводов, повторяющих рельеф местности, которые существенно снижают капитальные затраты, исключая строительство вспомогательных инженерных сооружений типа мостов, переходов и тоннелей.

Наиболее характерным примером служит гидротранспортная линия удаления продуктов обогащения Каджаранского ГМК. Гидротранспортная трасса длиной 32 км проложена в горах через ущелья с применением четырех дюкеров, которые являются общим видом наклонного трубопровода. Углы наклона изменяются от 0 до 90^0.

Движение гидросмеси по наклонным трубопроводам существенно отличается от горизонтальных асимметрией распределения эпюры скоростей в сечении, нормальном направлению движения потока, а также распределением концентрации твердого во взвесенесущей среде.

Существенное влияние на эффективность работы гидротранспортной системы и на все затраты по строительству и дальнейшую эксплуатацию оказывает выбор профиля трассы, который зависит от рельефа местности, технологических особенностей добычи и обработки полезных ископаемых. Исследования эксплуатации линии Каджаранского ГМК показали, что большое влияние на процесс гидротранспортирования оказывает еще и слой отложений в нижней части трубопровода.

Гидротранспортирование по круглым трубам с частичным заилением приближается к гидротранспорту по овальным трубам, что значительно снижает энергозатраты при всех равных условиях по круглым трубам.

При заилении создается естественное дифференциальное сечение, причем слой заиления предохраняет данную часть от износа. Поэтому возникает необходимость при проектировании и строительстве гидротранспортных систем учитывать слой заиления и поддерживать его толщину в необходимых пределах.

В наклонных трубопроводах слой заиления образуется в зависимости от угла естественного откоса α_e (угол внутреннего трения) частиц твердого в данной транспортирующей среде. Слой твердого материала образует „тело заиления" при углах наклона трубопровода к горизонту меньших, чем угол естественного откоса, а при больших – тело заиления не образуется. Неравенство $\alpha \leqslant \alpha_e$ является условием заиления. При инженерных расчетах необходимо иметь конкретное значение диапазона углов, при которых существует устойчивый слой заиления.

Рассмотрим наклонный восстающий трубопровод с установившимся режимом движения потока пульпы и формой данной частицы твердого, близкой к сферической. Определяем условие равновесия элементарной частицы со средневзвешенной крупностью d_0. Уравнение динамического равновесия для данной элементарной частицы, находящейся на наклонной части восходящего трубопровода в потоке движущейся пульпы, представляет равновесие всех элементарных сил, проектируемых на направлении движения потока пульпы[x]:

$$\Sigma F_i = 0, \tag{1}$$

$$\Sigma F_i = F_{ск} + F_{тр} + F_{сопр}, \tag{2}$$

где $F_{ск}$ – скатывающая сила; $F_{тр}$ – сила трения элементарной частицы; $F_{сопр}$ – гидродинамическая сила сопротивления;

$$F_{ск} = G_{\Sigma} \sin\alpha, \tag{3}$$

α – угол наклона пульповода к горизонту; G_{Σ} – результирующая сила веса и Архимедовой силы,

$$G_{\Sigma} = G - F_A = (\rho_2 - \rho_1) g V, \tag{4}$$

V – объем частицы; ρ_1, ρ_2 – плотность транспортируемого материала, несущей среды; g – ускорение свободного падения;

$$F_{тр} = G \cos\alpha f_{тр}, \tag{5}$$

$f_{тр}$ – коэффициент трения транспортируемого материала с учетом несущей среды;

$$F_{сопр} = c\,\omega_0 \frac{\rho V^2}{2},$$

c – коэффициент лобового сопротивления[xx],

$$c = f(Re),$$

Re – число Рейнольдса; ω_0 – площадь поперечного сечения, нормального к направлению течения несущей среды.

---

[x] Юфин А.П. Гидромеханизация. М., Стройиздат, 1974.

[xx] Прандтль Л. Гидромеханизация. М., Изд-во иностранной литературы, 1951.

В итоге получим:

$$\sum F_i = G_\Sigma \sin\alpha + G\cos\alpha\, f_{тр} + c\,\omega_0\,\frac{\rho V^2}{2} \qquad (8)$$

В результате ряда преобразований получим для восстающего трубопровода:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{3}{4}\,\frac{c}{g}\,\frac{\rho_1}{\rho-\rho_1}\,\frac{V^2}{d_0\sqrt{1+f_{тр}^2}}\right) - \arcsin\left(\frac{1}{\sqrt{1+f_{тр}^2}}\right). \qquad (9)$$

Аналогично получим для нисходящего потока:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{3}{4}\,\frac{c}{g}\,\frac{\rho_1}{\rho-\rho_1}\,\frac{V^2}{d_0\sqrt{1+f_{тр}^2}}\right) + \arcsin\left(\frac{1}{\sqrt{1+f_{тр}^2}}\right). \qquad (10)$$

В итоге получим диапазон углов наклона трубопроводов, в котором не образуется устойчивого слоя зайления. Следовательно, в этом диапазоне при незначительном повышении консистенции, крупности, плотности транспортируемой породы относительно предусмотренной проектом технологии пульповод может оказаться закупоренным.