

В.Б. Бобров

(Украина, Днепрпетровск, ИГТМ НАН Украины)

ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОЙ ВЫСОТЫ ПОДАЧИ ПУЛЬПЫ ПРИ НАМЫВЕ КАРТ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

В настоящее время условием устойчивого развития горно-обогатительных предприятий Украины является удешевление процесса производства и повышение конкурентоспособности продукции. При этом наиболее эффективным способом воплощения такой стратегии развития является оптимизация системы транспортирования и складирования отходов обогащения. Как показывает опыт, наиболее рациональным решением при транспортировании и складировании отходов обогащения является применение напорного гидротранспорта [3 – 5].

Наиболее часто для складирования отходов обогащения используется картовый способ намыва хвостохранилищ (см. рис 1). При таком способе намыва пульпа из магистрального трубопровода подается в хранилище отходов через раздаточный контур. При этом подъем пульпы к месту намыва осуществляется по бортовому трубопроводу, который проложен по дамбам хвостохранилища.

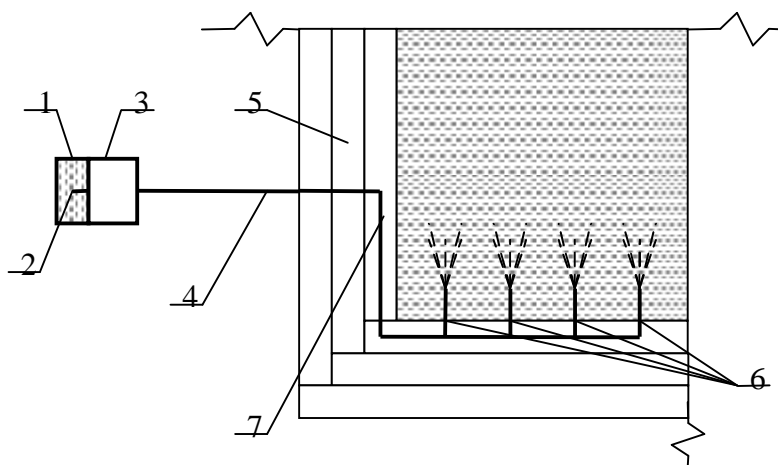


Рис.1. Схема картового способа намыва хранилищ отходов обогащения:

- 1 – зумпф насосной станции; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – насосная станция;
4 – магистральный трубопровод; 5 – ограждающая дамба; 6 – дамбовый трубопровод;
7 – бортовой трубопровод

Однако для эффективного использования таких систем гидротранспорта отходов необходимо произвести анализ и обоснование параметров гидротранспортирования [5]. При этом следует выделить группу параметров, от которых непосредственно зависит выбор оборудования для гидротранспорта [6]. К таким параметрам можно отнести расходно-напорную характеристику насоса, критическую скорость течения пульпы, гидравлический уклон и сопротивление

трассы. Следует отметить, что значительное влияние на все эти параметры оказывает гранулометрический состав транспортируемых песков [7].

Существует достаточно методик, которые позволяют рассчитать перечисленные выше параметры. Однако они не позволяют произвести оценку максимально возможной высоты подачи гидросмеси в хранилище, что для картового способа намыва имеет первостепенное значение [1-5].

Под максимально возможной высотой подачи пульпы подразумевается максимальная геодезическая отметка дамбы хранилища отходов, на которой обеспечивается намыв карт с регламентированной подачей пульпы. Очевидно, что эта величина определяется соотношением расходно-напорной характеристики магистрали и суммарной расходно-напорной характеристикой используемых насосов при регламентированной подаче пульпы.

Расходно-напорная характеристика магистрали гидротранспортного комплекса отражает зависимость потерь напора, возникающих при течении пульпы заданной концентрации по рассматриваемому трубопроводу, от расхода гидросмеси [1-3]:

$$H_T = k_z J L + r D Z, \quad (1)$$

где H_T – потери напора в магистрали (м вод. ст.); k_z – коэффициент, учитывающий местные гидравлические сопротивления; J – гидравлический уклон (м вод. ст./м); L – длина трубопровода магистрали (м); r – относительная плотность пульпы; DZ – разница геодезических отметок конца и начала трубопровода (м).

Расходно-напорная характеристика гидротранспортной магистрали определяется с учетом особенностей прокладки трубопроводов по бортам хранилища отходов и специфики намыва карт. Магистрали гидротранспортных установок, отводящих отходы обогащения в такие хранилища, можно условно разделить на три части – магистральную, бортовую и дамбовую.

Магистральная часть трубопроводов обеспечивает подачу пульпы от пульпонасосных станций до упорной дамбы хранилища отходов обогащения. Бортовая часть обеспечивает подачу пульпы на геодезическую отметку намыва (см. рис. 2). Дамбовая часть обеспечивает подачу пульпы по дамбам хранилища непосредственно к месту намыва. В ходе эксплуатации системы гидротранспорта отходов обогащения наиболее сильно подвержена изменению дамбовая часть трубопроводов, бортовая часть изменяется при переходе на новую отметку намыва, а магистральная остается практически неизменной.

Таким образом, длина трубопровода гидротранспортной установки будет зависеть от места размещения насосной станций, высоты выпуска пульпы, а также от геометрических характеристик оградительных и разделительных дамб:

$$L_n = L_M + L_B^{(n)} + L_D^{(n)}; \quad L_B^{(n)} = L_B^0 + (L_H + L_D)(n-1) + nL_P; \quad (2)$$

$$L_D^{(n)} = L_D^0 - nmD; \quad D = 2\left(L_P + \sqrt{L_D^2 - H_B^2}\right); \quad DZ^{(n)} = H_B^0 + (n-1)H_B, \quad (3)$$

где L_n – длина трубопровода гидротранспортной установки при подаче пульпы на дамбу номер n (м); L_M – длина магистральной части трубопровода (м); $L_B^{(n)}$ – длина бортовой части трубопровода (м); $L_D^{(n)}$ – длина дамбовой части трубопровода (м); L_B^0 – длина откоса упорной ограждающей дамбы хранилища (м); L_H – удлинение бермы дамбы после намыва отметки (м); L_D – длина откоса ограждающей дамбы хранилища (м); n – номер дамбы, начиная с упорной ограждающей дамбы хранилища; L_P – ширина бермы дамбы в период намыва (м); L_D^0 – длина дамбового трубопровода, проложенного по упорной ограждающей дамбе хранилища (м); m – количество прямых участков в дамбовом трубопроводе (шт.); D – величина сокращения длины прямолинейных участков дамбовых трубопроводов при переходе на один уровень (м); $DZ^{(n)}$ – разница геодезических отметок технологического коридора в основании упорной ограждающей дамбы хранилища и бермы дамбы, с которой осуществляется намыв (м); H_B^0 – высота упорной ограждающей дамбы хранилища (м); H_B – высота ограждающей дамбы хранилища (м).

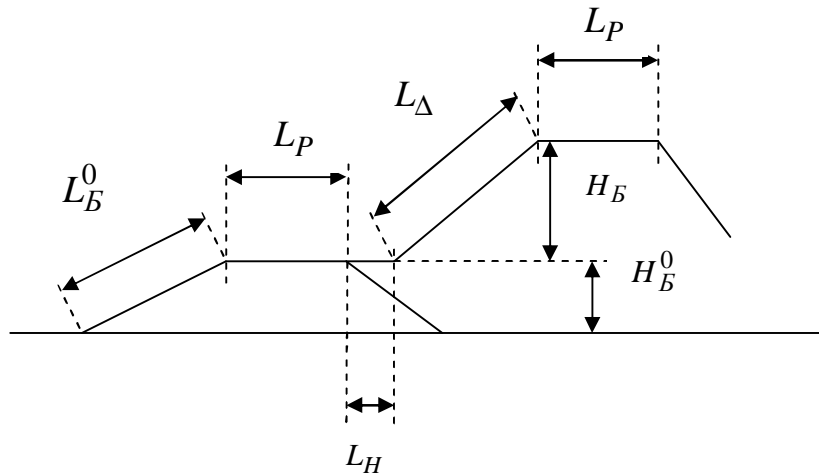


Рис. 2. Пояснение обозначений геометрических характеристик бортового трубопровода

Напор насосов при перекачивании пульпы рассчитывался на основании паспортной расходно-напорной характеристики с использованием следующих зависимостей [6, 7]:

$$H_0 = A_0 + A_1Q - A_2Q^2, \quad H = K_P H_0; \quad K_P = \frac{rs + r_0(1-s)}{r}; \quad (4)$$

$$s = 1 - K_Z \sum_i \left(1.813 + 0.15 \frac{r_T - r_0}{r_0} + 0.56 \lg \frac{d_i}{D_P} \right) P_i, \quad (5)$$

где H_0 – напор насоса при работе на воде (м вод. ст.); A_0, A_1, A_2 – коэффициенты аппроксимации; Q – подача насоса (м³/ч); H – напор насоса при перекачивании пульпы (м вод. ст.); K_P – коэффициент пересчета; S – коэффициент, учитывающий влияние плотности, крупности и концентрации частиц транспортируемого материала; K_Z – коэффициент, учитывающий влияние конструктивных особенностей насоса; D_P – диаметр рабочего колеса.

При работе на пульпе изменяется также и величина КПД насоса [7]:

$$h = h_0 \frac{1.16}{r^2}, \quad (7)$$

где h – КПД насоса при работе на пульпе, %; h_0 – КПД насоса при работе на воде, %.

Оценка максимально возможной высоты подачи пульпы производится из условия, что регламентированная подача пульпы реализуется в рабочей точке гидротранспортной установки. Это предполагает равенство суммарного напора насосов и потерь напора в магистрали. Из этого условия при известных диаметре магистрали, коэффициентах аппроксимации расходно-напорных характеристик насосов и величине регламентированной подачи пульпы определяют длину и перепад геодезических высот, для которых это равенство справедливо.

Учитывая, что длина трубопровода и разность его геодезических отметок зависят от номера дамбы, отсчитанного от упорной ограждающей дамбы хранилища, для рабочей точки гидротранспортной установки можно записать:

$$H_p = k_z J L + r Z; \quad (6)$$

$$H_p = K_P (A_0 + A_1 Q_p + A_2 Q_p^2); \quad J = \frac{8 I S_k Q_p^2}{g p^2 D^5}; \quad (7)$$

$$L = B_0 - B_n n; \quad Z = E_0 + H_B n; \quad (8)$$

$$r = \frac{1}{1 - C + \frac{C}{r_T}}; \quad l = \frac{1}{3,24(\lg \text{Re} - 1)^2}; \quad (9)$$

$$S_k = \left(1 + \frac{(r-1)^2}{r_T - 1} P \right) \left[1 - \left(1 + \frac{2 \lg k}{\lg 0.1 \text{Re}_{kp}} \right) \frac{1}{k^3} \right] + \left(1 + \frac{2 \lg k}{\lg 0.1 \text{Re}_{kp}} \right) \frac{C_r}{k^3} r^{1,5}; \quad (10)$$

$$B_0 = L_M + L_B^0 + L_D^0 - L_H - L_\Delta; \quad B_n = m \Delta - L_H - L_\Delta - L_P; \quad E_0 = H_B^0 - H_B; \quad (11)$$

$$\text{Re} = \frac{4Q}{p D n}; \quad C_r = 1 + 150 \frac{d_{cp}}{D}; \quad \text{Re}_{kp} = \frac{V_{kp} D}{n}; \quad \Delta = 2 \left(L_P + \sqrt{L_\Delta^2 - H_B^2} \right); \quad (12)$$

$$K_P = 1 + C \left(1 - \frac{1}{r_T} \right) K_Z \sum_i \left(1.813 + 0.15(r_T - 1) + 0.56 \lg \frac{d_i}{D_P} \right) P_i; \quad (13)$$

$$k = \frac{4Q_p}{pD^2V_{kp}}; \quad V_{kp} = 15 \sqrt[3]{D} \cdot \sqrt[4]{w} \cdot (r - 0,4) \cdot \Delta_0^{0,1}; \quad \Delta_0 = \frac{3d_{10}}{d_{90}}; \quad d_{cp} = \sum d_i P_i, \quad (14)$$

где H_p – напор насоса при перекачивании пульпы при регламентированной подаче пульпы (м вод. ст.); Q_p – регламентированная подача пульпы (м³/ч); D_p – диаметр рабочего колеса (м), C – массовая доля твердого в пульпе (доли единицы) принимается 6%; r_T – плотность транспортируемого материала (т/м³); D_0 – коэффициент однородности; d_{10} и d_{90} – диаметры частиц, соответствующие 10- и 90%-му содержанию фракций по кривой гранулометрического состава; d_{cp} – средневзвешенный диаметр частиц транспортируемого материала (мм); d_i – средняя крупность i -й стандартной фракции (мм); P_i – массовая доля i -й фракции в пробе (доли единицы); V_{kp} – критическая скорость гидротранспортирования (м/с); D – внутренний диаметр трубопровода (м); n – кинематический коэффициент вязкости чистой воды; P – массовая доля фракции $d < 0,1$ мм в пробе (доли единицы); I – коэффициент гидравлического сопротивления трения [1, 5 – 6].

Уравнение (6) с учетом выражений (7) – (14) можно преобразовать в зависимость для расчета номера дамбы, начиная с упорной ограждающей дамбы хранилища, на которой будет реализовываться регламентированная подача пульпы,

$$n^* = \frac{H_p - rE_0 - k_z J B_0}{rH_B - k_z J B_n}. \quad (15)$$

Подставляя значение n^* в зависимости (9), получим формулы для расчета максимально возможной высоты подачи пульпы и соответствующей ей длины трубопровода, а также разницы геодезических отметок конца и начала трубопровода:

$$L^* = B_0 - B_n n^*; \quad Z^* = E_0 + H_B n^*, \quad (16)$$

которые с учетом формулы (15) после несложных преобразований запишем в виде:

$$H^* = B_0 H_B + B_n E_0; \quad L^* = \frac{rH^* - H_p B_n}{rH_B - k_z J B_n}; \quad Z^* = \frac{H_p H_B - k_z J H^*}{rH_B - k_z J B_n}. \quad (17)$$

Формулы (17) позволяют получить оценочные величины параметров, которые можно использовать для оперативного расчета с инженерной точностью. Более точные значения определяются только серией последовательных расчетов.

По предлагаемой методике, для условий проектируемой на ЮГОКе второй карты хранилища отходов «Объединенное» были произведены расчеты параметров и режимов гидротранспорта.

В соответствии с «Исходными данными на 2006 – 2015 г.г. по потреблению воды и выходу хвостов обогатительных фабрик ОАО «ЮГОК» при производительности до 22 млн. т/год сырой руды с массовой долей влаги 1%», все расчеты производились для плотности отводимой пульпы $1,04 \text{ т/м}^3$, что соответствует массовой концентрации 6%. При этом подача пульпы составляет $5500 \text{ м}^3/\text{ч}$. Результаты расчета приведены ниже (см. рис 3).

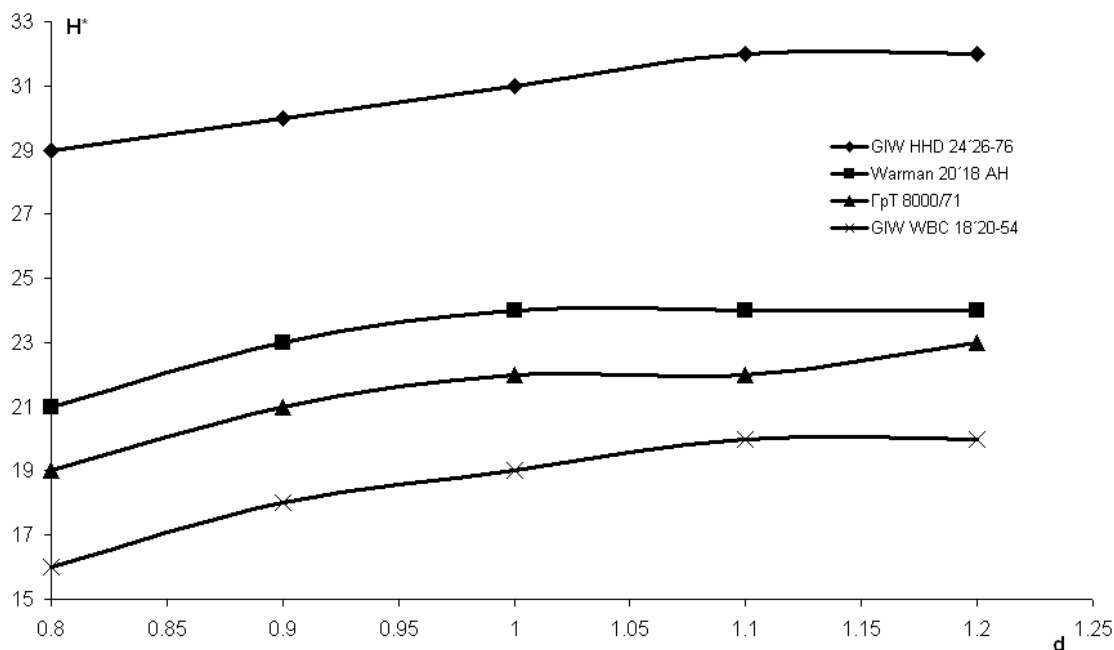


Рис 3. Максимально возможная высота подачи пульпы различными насосами в зависимости от диаметра магистрального трубопровода

Список литературы

1. Коберник С.Г., Войтенко В.И. Напорный гидротранспорт хвостов горно-обогатительных комбинатов. – К.: Наук. думка, 1967. – 138 с.
2. Карасик В.М., Асауленко И.А., Витошкин Ю.К. Интенсификация гидротранспорта продуктов и отходов обогащения горно-обогатительных комбинатов. – К.: Наук. думка, 1976. – 156 с.
3. Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов / И.А. Асауленко, Ю.К. Витошкин, В.М. Карасик, С.И. Криль и др. – К.: Наук. думка, 1981. – 364 с.
4. РСН 275–75. Временные указания по технологии возведения намывных хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов. – К.: Госстрой УССР, 1975. – 180 с.
5. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семеновко, В.Д. Шурыгин. – Д.: Січ, 2001. – 224 с.
6. Самойлович Д.С., Кузнецов О.В. К расчету параметров центробежных грунтовых насосов для гидросмеси // Горн. Журн.. – 1986. – №8. – С. 43 – 46.
7. Заря А.Н. Влияние твердого компонента гидросмеси на рабочую характеристику центробежного насоса // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1975. – №26. – С. 143 – 149.