

Е.В. Семененко, канд. техн. наук

(Украина, г. Днепрпетровск, ИГТМ им.Н.С. Полякова НАН Украины)

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ТИПОВ НАСОСОВ И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГИДРОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Удешевление процесса производства, снижение себестоимости и повышение конкурентоспособности продукции в настоящее время – условие выживания для всех промышленных предприятий Украины [1]. Для горнодобывающих и горно-обогачительных предприятий наиболее эффективным способом воплощения такой стратегии является сокращение затрат на добычу и транспортирование минерального сырья [2 – 5]. При напорном гидротранспортировании исходных продуктов эта проблема заключается в снижении энергозатрат и удельного расхода воды.

Энергоемкость напорного гидротранспортирования россыпей от мест добычи к месту переработки во многом определяется режимом процесса пульпообразования и параметрами системы водоснабжения гидротранспортного комплекса [2, 5]. Технология разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом предполагает продвижение фронта горных работ, а следовательно периодическое изменение параметров как гидротранспортного комплекса, так и его системы водоснабжения. Это приводит к изменению давления и расхода воды подаваемой на гидромониторы, что нарушает процесс пульпообразования и существенно повышает затраты на гидротранспортирование россыпей [5]. В этих условиях задача обоснования рациональных параметров системы водоснабжения гидротранспортного комплекса, а также режимов работы узла пульпообразования является актуальной и имеет большое практическое значение.

Известные методики расчетов параметров и режимов работы систем водоснабжения карьерных гидротранспортных комплексов не позволяют обосновать возможное место установки дополнительных повышающих насосов и не учитывают влияние параметров процесса пульпообразования [2 – 5]. Это не позволяет использовать их для оценки перспективы развития карьерных гидротранспортных комплексов, а также для разработки рекомендаций по снижению энергоемкости таких систем.

Поэтому цель статьи состоит в разработке метода расчета параметров и режимов работы системы водоснабжения карьерных гидротранспортных комплексов с учетом параметров процесса пульпообразования, который позволит определить места размещения насосов и требуемые расходно-напорные характеристики.

Поставленная задача рассмотрена на примере системы водоснабжения гидротранспортного комплекса Вольногорского горно-металлургического комбината (ВГМК).

Водоснабжение гидротранспортного комплекса ВГМК производится по

следующей схеме (рис. 1). Водозабор осуществляется с отметки 110 м из водохранилища, созданного в балке Глубокая, двумя насосами Д6300 на станции первого подъема. Затем по трубопроводу диаметром 1020 мм вода поступает на борт карьера и по междурядному телу с отметкой 130 м доставляется на расстояние 2700 м, где организован отвод диаметром 630 мм на узел пульпообразования первой очереди гидротранспорта. На расстоянии около 200 м от этого отвода по ходу течения воды организован отвод диаметром 630 мм на узел пульпообразования второй очереди гидротранспорта. Узел пульпообразования первой и второй очереди размещаются на отметке 117 м или 116 м. В случае необходимости в систему включают насосную станцию второго подъема, установленную на борту карьера и оснащенную одним насосом Д6300.

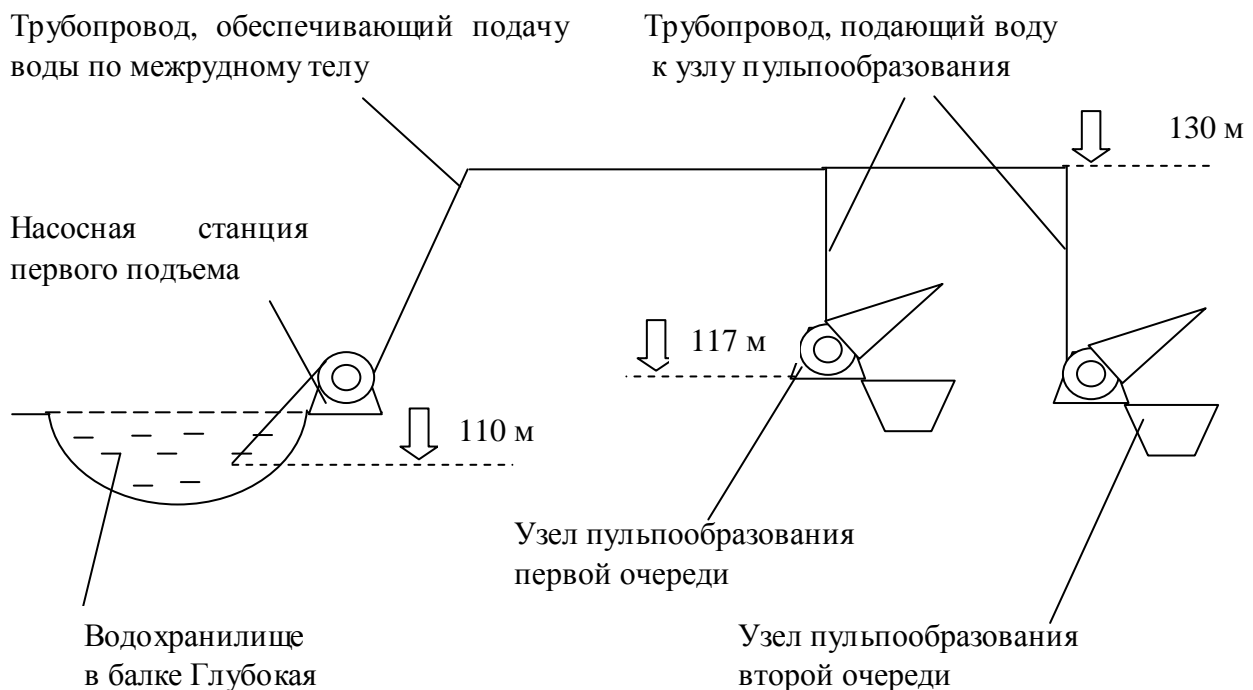


Рис. 1. Принципиальная схема системы водоснабжения карьерного гидротранспортного комплекса

На первой и второй очередях гидротранспортного комплекса используются одинаковые узлы пульпообразования, каждый из которых включает зумпф объемом 5 м^3 , два гидромонитора ГМД250 с насадкой диаметром 800 мм, коллектор диаметром 630 мм, трубопроводы подачи воды в зумпф диаметром 270 мм и трубопроводы подачи воды на гидромониторы диаметром 230 мм (см. рис. 2).

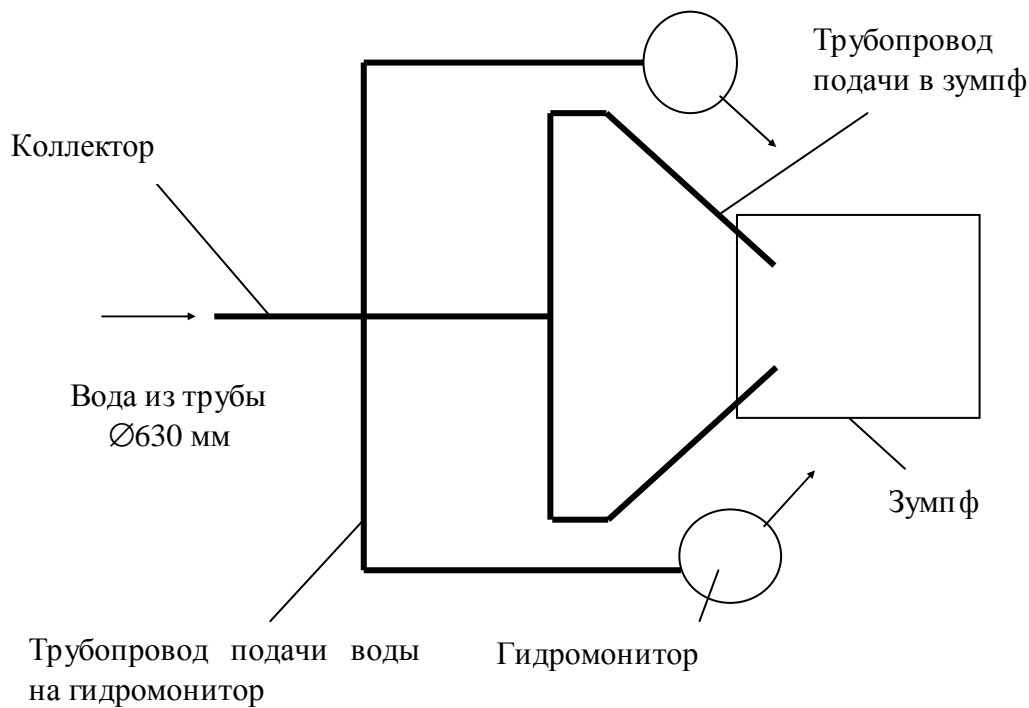


Рис. 2. Схема узла пульпообразования

Особенность карьерных гидротранспортных комплексов состоит в незначительных различиях в системах водоснабжения отдельных очередей. Так, для условий Восточного участка Малышевского месторождения разность длин трубопроводов, проходящих по междурядного тела, не превышает 200 м, разность длин трубопроводов, подающих воду от междурядному к узлу пульпообразования, не превышает 17 м, а разность геодезических отметок сопел гидромониторов и зумпфов – 1 м.

Расчеты показывают, что такая разница в параметрах магистралей, при расходах воды в трубопроводе по междурядному телу превышающих 3000 м³/ч, является пренебрежимо малой и для определения параметров и режимов работы системы водоснабжения таких карьерных гидротранспортных комплексов можно использовать следующие выражения:

$$\Delta H_g = z_g Q_g^2 + z_R Q_R^2 + z_m Q_m^2 - H_m - H_R - H_g; \Delta H_z = z_z Q_z^2 + z_R Q_R^2 + z_m Q_m^2 - H_m - H_R; \quad (1)$$

$$H_R = c_R - b_R Q_R - a_R Q_R^2; H_g = c_g - b_g k Q_g - a_g k^2 Q_g^2; H_m = c_m - b_m Q_m - a_m Q_m^2; \quad (2)$$

$$Q_R = k Q_g + n Q_z; Q_m = km Q_g + nm Q_z; \Delta H_z = h_0 - h_z; \Delta H_g = h_0 - h_g;$$

$$c_m = I_m C_m; b_m = \frac{I_m}{K_m} B_m; a_m = \frac{I_m}{K_m^2} A_m,$$

где ΔH_g – перепад геодезических отметок водозабора и насадка гидромонитора, м; ΔH_z – перепад геодезических отметок водозабора и трубопровода, подающего воду в зумпф, м; h_0 – геодезическая отметка водозабора, м; h_g – среднее для первой и второй очередей значение геодезической отметки насадки гидромонитора, м; h_z – среднее для первой и второй очереди значение геодези-

ческой отметки выхода из трубопровода в зумпфе, м; Q_g – расход воды через насадок гидромонитора, м³/с; Q_z – расход воды через трубопровод, подающий воду в зумпф, м³/с; Q_m – расход воды через трубопровод, проходящий по межрудному телу, м³/с; Q_R – расход воды через трубопровод, подающий воду с межрудного тела к узлу пульпообразования, м³/с; z_z – гидравлическое сопротивление трубопровода, подающего воду в зумпф; z_g – гидравлическое сопротивление трубопровода, подводящего воду к гидромонитору; z_R – гидравлическое сопротивление трубопровода, подающего воду с межрудного тела к узлу пульпообразования; z_m – гидравлическое сопротивление трубопровода, подающего воду по межрудному телу; n – количество трубопроводов, обеспечивающих подачу воды в зумпф забойной насосной станции; m – количество забойных насосных станций; H_R – напор насосов на промежуточной станции, размещенной внутри карьерного поля, м.в.с.; H_g – напор насосов на бустерной станции перед гидромониторами, м.в.с.; H_m – напор насосов на водозаборной станции, м.в.с.; k – количество гидромониторов, обеспечивающих процесс пульпообразования на забойной насосной станции; c_R, b_R, a_R – эффективные коэффициенты аппроксимации расходно-напорной характеристики насосов на промежуточной станции, размещенной на межрудном теле; c_g, b_g, a_g – эффективные коэффициенты аппроксимации расходно-напорных характеристик насосов на бустерной насосной станции перед гидромониторами; c_m, b_m, a_m – эффективные коэффициенты аппроксимации расходно-напорных характеристик насосов водозаборной станции; I_m – количество последовательных подъемов давления; K_m – количество параллельно работающих насосов; C_m, B_m, A_m – коэффициенты аппроксимации расходно-напорных характеристик насосов.

Гидравлические сопротивления водоводов определяются зависимостью [5, 6]:

$$z_j = \frac{8\lambda_j L_j}{\pi^2 g D_j^5} + \frac{8\xi_j}{\pi^2 g D_j^4}, \quad (3)$$

где λ_j – коэффициент гидравлического сопротивления трению [5, 6]; L_j – длина трубопровода, м; D_j – диаметр трубопровода, м; ξ_j – коэффициент местных гидравлических сопротивлений; j – индекс трубопровода ($j = m, R$).

Коэффициенты гидравлического сопротивления трению для рассматриваемых водоводов с учетом характерных режимов течения вычисляются по одной из следующих формул [5, 6]

$$\lambda_j = \frac{a}{lg^2 \left(b \frac{D_j Q_j}{\nu_0} (1 + 0,0337t + 0,00022t^2) \right)}; \quad \lambda_j = 0.11 \left(\frac{\Delta_j}{D_j} \right)^{0,25}, \quad (4)$$

где a, b – эмпирические коэффициенты [6]; ν – кинематический коэффициент вязкости подаваемой воды, $\text{м}^2/\text{с}$; Q_j – расход воды через трубопровод, $\text{м}^3/\text{с}$; ν_0 – кинематический коэффициент вязкости воды при 0°C , $\text{м}^2/\text{с}$; t – температура гидросмеси, $^\circ\text{C}$; j – индекс трубопровода ($j = u, g$); Δ_j – абсолютная шероховатость внутренней поверхности водовода, м .

Перенос головной насосной станции вслед за фронтом горных работ приводит к периодическому удлинению магистрали и к удалению узла пульпообразования от места водозабора, что может привести к недопустимому снижению давления и расхода подаваемой на гидромониторы воды, и следовательно к изменению схемы водоснабжения, к установке дополнительных повышающих насосов. При этом дополнительные насосы можно разместить в следующих местах системы водоснабжения: на станции первого подъема, на промежуточной станции, размещенной внутри карьерного поля, и на бустерной станции перед гидромониторами. Для принятия решения, где устанавливать дополнительный насос, и определения мощности требуемого электродвигателя следует оценить расходно-напорную характеристику необходимого насоса на основе новых параметров магистрали и нужных расходов воды на процесс пульпообразования.

Для разрушения отвала и обеспечения регламентированных параметров процесса пульпообразования требуется некоторый расход воды, величина которого обусловлена видом размываемого материала и расстоянием от насадка гидромонитора до отвала [5]:

$$Q_g = \sigma 0,057 \pi d (2,06 + \bar{l}) \sqrt{\frac{[\tau]}{\rho_0}}; \quad \bar{l} = \frac{l}{d}, \quad (5)$$

где σ – коэффициент запаса ($\sigma > 1$); \bar{l} – безразмерное расстояние от насадка гидромонитора до отвала; $[\tau]$ – разрушающее напряжение для размываемого материала, Па; ρ_0 – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$; l – расстояние от насадка гидромонитора до отвала, м ; d – диаметр насадки гидромонитора, м .

Зная расход воды на гидромониторы, по формулам (1) и (2) можно вычислить расход воды, которая будет поступать в зумпф:

$$Q_z = \frac{\sqrt{\beta'^2 + 4n\alpha'\gamma'_g - 4n\alpha'(z_g + \psi_g a_g k^2)Q_g^2 - 4n\alpha'k\psi_g b_g Q_g - 2k\alpha'Q_g - \beta'}}{2n\alpha'}; \quad (6)$$

$$\beta' = k(\psi_R b_R + m\psi_m b_m); \quad \alpha' = z_R + \psi_R a_R + (z_m + \psi_m a_m)m^2;$$

$$\gamma'_g = \Delta H_g + \psi_m c_m + \psi_R c_R + \psi_g c_g;$$

$$\psi_j = \begin{cases} 1, & \text{если насос используется;} \\ 0, & \text{если насос не используется,} \end{cases}$$

где ψ_j – коэффициент, который показывает, используется или нет j -тая насосная станция; j – индекс насосной станции ($j = m, R, g$).

Это решение накладывает ограничение на величину расхода воды на гидромонитор в виде неравенства

$$Q_g < \frac{\sqrt{4n^2\alpha'^2k^2\psi_g^2b_g^2 + (\beta'^2 + 4n\alpha'\gamma'_g)4n\alpha'(z_g + \psi_g a_g k^2)} - 2n\alpha'k\psi_g b_g}{4n\alpha'(z_g + \psi_g a_g k^2)}. \quad (7)$$

Решив численно или аналитически в зависимости от существующего режима течения воды уравнение (6), с учетом ограничения (7) можно рассчитать остальные расходы воды в системе водоснабжения, а затем по формулам (3) и (4) определить гидравлические сопротивления трубопроводов и построить расходно-напорные характеристики планируемых насосов:

$$H_m = z_g Q_g^2 + z_R Q_R^2 + z_m Q_m^2 - \Delta H_g - \psi_g H_g - \psi_R H_R; \quad (8)$$

$$H_R = z_g Q_g^2 + z_R Q_R^2 + z_m Q_m^2 - \Delta H_g - \psi_g H_g - \psi_m H_m; \quad (9)$$

$$H_g = -(n\psi_g a_g k^2 + (n-1)z_g) Q_g^2 - k(2\beta' + n\psi_g b_g) Q_g - \gamma'_g (n-1). \quad (10)$$

Если установка насоса в данном месте при рассматриваемых режимах не требуется, то величины, рассчитываемые по формулам (8) – (10), будут отрицательными, поскольку напор в системе достаточен для реализации регламентированного расхода воды на гидромониторы.

Зная требуемую расходно-напорную характеристику планируемого насоса, по каталогам заводов-изготовителей можно выбрать насос с наиболее близкой характеристикой. Сравнение требуемой и реальной расходно-напорных характеристик может проводиться по границе рабочей области насоса или по значениям коэффициентов аппроксимации этих характеристик. Для рассматриваемых насосов на основании формул (8) – (10) и с учетом выражения (6) можно предложить следующие зависимости для определения коэффициентов аппроксимации расходно-напорной характеристики:

$$b_m = \frac{\psi_g b_g}{m(k + nq_z)} + \frac{\psi_R b_R}{m}; \quad a_m = \frac{\psi_g a_g - z_g}{m^2(k + nq_z)^2} + \frac{\psi_R a_R - z_R}{m^2} - z_m; \quad c_m = c - \psi_R c_R; \quad (11)$$

$$b_R = \frac{\psi_g b_g}{k + nq_z} + m\psi_m b_m; \quad a_R = \frac{\psi_g a_g - z_g}{k + nq_z} + m(\psi_m a_m - z_m) - z_R; \quad c_R = c - \psi_m c_m; \quad (12)$$

$$a_g = n\psi_g a_g k^2 + (n-1)z_g; \quad b_g = 2k^2(\psi_R b_R + m\psi_m b_m) + kn\psi_g b_g; \quad (13)$$

$$c_g = (n-1)(c - \psi_m c_m - \psi_R c_R); \quad q_z = \frac{Q_z}{Q_g}; \quad c = h_g - h_0 - \psi_g c_g. \quad (14)$$

Зависимость величины q_z от расхода воды на гидромонитор рассчитывается для шести расчетных вариантов (см. таблицу) по формуле (6) с учетом режима течения воды (рис. 3).

**Параметры расчетных вариантов
для проектировочного расчета системы водоснабжения**

| Номер расчетного варианта | Диаметр трубопровода подачи воды в зумпф, мм | Задвижка на трубопроводе подачи воды в зумпф открыта, %; на |
|---------------------------|--|---|
| 1. | 320 | 100 |
| 2. | 273 | 100 |
| 3. | 150 | 100 |
| 4. | 320 | 40 |
| 5. | 273 | 40 |
| 6. | 150 | 40 |

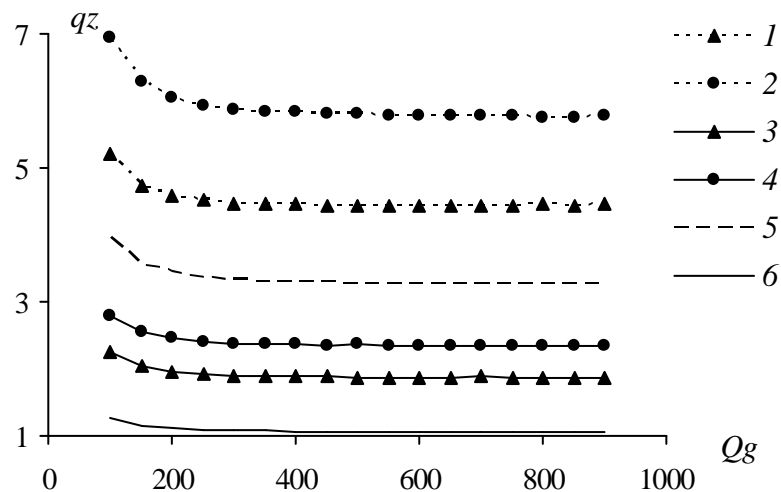


Рис. 3. Проектные значения относительного расхода воды в зумпф в зависимости от расхода вода на гидромонитор для различных расчетных вариантов (см. таблицу)

Как видно из рис. 3, в исследуемом диапазоне расхода воды величина относительного расхода практически постоянна, поэтому для рассматриваемых расходов воды на гидромонитор можно использовать их средние значения.

Мощность электродвигателя для дополнительных насосов определяется как

$$N_i = \varphi \rho_0 g Q_i H_i(\tilde{Q}_i); \quad \tilde{Q}_i = \frac{Q_i}{K_i}, \quad (15)$$

где: φ – коэффициент запаса ($\varphi > 2$); N_i – суммарная мощность насосов станции i -го подъема; \tilde{Q}_i – подача одного насоса на i -й станции; Q_i – суммарная подача воды насосами i -й станции; i – индекс насосной станции ($i = m, R, g$).

Таким образом, на основании зависимостей (5) – (15) можно определить рациональные параметры системы водоснабжения гидротранспортного комплекса при изменении параметров ее трубопроводов и установке дополнительных насосов, обеспечивающих регламентированные режимы работы узла пульпообразования.

Список литературы

1. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения / Е.Л. Звягильский, Б.А. Блюсс, Е.И. Назимко, Е.В. Семеновко. – Севастополь: Изд-во «Вебер», 2002. – 247 с.
2. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семеновко, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.
3. Смолдырёв А.Е. Гидро- и пневмотранспорт в металлургии. – М.: Металлургия, 1985. – 383 с.
4. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
5. Нурок Г.А. Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ. – М.: Недра, 1985. – 583 с.
6. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. – Л.: Стройиздат, 1973. – 408 с.