

Е.В. Семененко, канд. техн. наук

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

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Для многих регионов Украины вода – наиболее ценный экологический ресурс, возобновление которой крайне затруднительно, а потребление – постоянно растет [1 – 3]. Наиболее сильно эта проблема касается промышленно развитых регионов нашей страны, где сконцентрированы крупные металлургические, коксохимические, угле- и рудодобывающие предприятия. Все эти промышленные объекты являются крупнейшими потребителями воды, которая необходима для технологических процессов, и затем требует очистки от твердых примесей [3].

Так, при открытой разработке месторождений для доставки исходных песков от мест добычи к месту переработки широко используется напорный гидротранспорт. В технологиях обогащения минерального сырья, где применяются гравитационные аппараты, вода служит средой разделения твердых частиц по плотности и крупности. Эти технологии характеризуются экологической безопасностью, надежностью, простотой конструкции и удобством в эксплуатации, однако требуют значительных объемов технической воды, а также места и средств для складирования и очистки большого количества жидких отходов обогащения. Использование таких технологий без обоснования их рациональных параметров и учета экологических требований приводит к нарушению водного баланса региона, образованию большого числа хранилищ жидких отходов и, в конечном итоге, к экологической катастрофе.

Одно из успешных решений снижения водопотребления горных предприятий – внедрение оборотного водоснабжения, когда из одного водохранилища отбирается техническая вода и там же осуществляется осветление отходов обогатительного производства [1, 3, 4]. Для надежного сбережения экологических ресурсов и обеспечения регламентированных параметров технологических процессов добычи, транспортирования и переработки требуется обоснование расходов воды и пульпы в гидравлической сети, состоящей из водохранилища, систем водоснабжения карьера и обогатительного производства, гидротранспортного комплекса и системы отвода отходов обогащения.

Вопросы гидротранспортирования исходных песков и отходов обогащения рассматривались в ряде работ [1, 2, 4 – 8]. Некоторые из них посвящены определению гидравлических уклонов и критических скоростей, выбору диаметров трубопроводов или расходно-напорных характеристик центробежных насосов [5 – 7], другие направлены на обоснования технологии намыва дамб и пляжа при складировании отходов [4]. Однако во всех известных исследованиях гидротранспортные комплексы, доставляющие

исходные пески и отводящие отходы обогащения, рассматриваются по отдельности, без учета их взаимного влияния и влияния на них режима водоснабжения обогатительного производства. Этот недостаток не позволяет обосновать рациональные параметры системы, оценить энергоемкость технологии и обеспечить сбережение экологических ресурсов региона [7, 8].

Цель статьи – разработка метода расчета параметров гидравлической сети состоящей из водохранилища, системы водоснабжения карьера и обогатительного производства, гидротранспортного комплекса и системы отвода отходов обогащения, что позволяет сохранить баланс воды.

На основании закона сохранения массы для рассматриваемой гидравлической сети можно составить уравнения баланса для обогатительного производства и водохранилища:

$$Q_M + Q_w = \alpha Q_T + Q_X^w + Q_X^S + Q_*; \quad (1)$$

$$Q_0 + Q_w = Q_0^w + (1 - \alpha)Q_T, \quad (2)$$

где Q_M – расход гидросмеси; Q_w – расход воды, забираемой из водохранилища прямо в технологию обогащения; Q_X^w – расход воды, поступающей в водохранилище с отходами обогащения; Q_X^S – расход твердых частиц, поступающих в водохранилище с отходами обогащения; Q_* – объем воды, «теряемый» в технологии обогащения; Q_0 – расход воды в системе водоснабжения гидротранспортного комплекса; Q_0^w – расход воды, поступающей в водохранилище с отходами обогащения, при котором уровень зеркала не изменяется; α – объемная доля ценных минералов в исходных песках; Q_T – производительность гидротранспортного комплекса по исходным пескам.

Если технологические параметры трубопроводных магистралей известны, то для обеспечения регламентированной производительности гидротранспортного комплекса по исходным пескам потребуется следующий расход воды и пульпы [7, 8]:

$$Q_0 = \psi Q_T; \quad (3)$$

$$Q_M = (1 + \psi)Q_T; \quad (4)$$

$$S = \frac{1}{1 + \psi}; \quad (5)$$

$$\psi = \frac{1 + q_z}{A},$$

где S – концентрация гидросмеси; q_z – соотношение расходов воды, подаваемой в зумпф гидротранспортной установки и на гидромониторы [8]; A – удельный расход воды при размыве исходных песков.

Если известен расход воды, необходимый для обеспечения технологического процесса, помимо воды, поступающей при гидротранспортировании исходных песков, и объем воды, «теряемый» внутри обогатительного производства, то на основании уравнения (1) параметры системы отведения отходов можно записать как

$$Q_X = [1 + \sigma q] Q_w; \quad (6)$$

$$p = \frac{(1 - \alpha)q}{\psi(1 + \sigma q)}; \quad (7)$$

$$Q_X^w = \left[1 + \frac{\psi - \varphi}{\psi} q \right] Q_w; \quad (8)$$

$$Q_X^S = (1 - \alpha) \frac{q}{\psi} Q_w; \quad (9)$$

$$q = \frac{Q_0}{Q_w}; \quad \varphi = \frac{Q^*}{Q_T}; \quad \sigma = \frac{1 - \alpha + \psi - \varphi}{\psi},$$

где Q_X – объемный расход отходов обогащения, поступающих в водохранилище; p – концентрация отходов обогащения.

Из приведенных формул видно, что величина Q_X всегда больше Q_w , а p может быть меньше S , если q меньше величины

$$q^* = \frac{\psi}{\varphi - \alpha\psi}, \quad (10)$$

или большей S , если q больше критической величины (см. рис. 1).

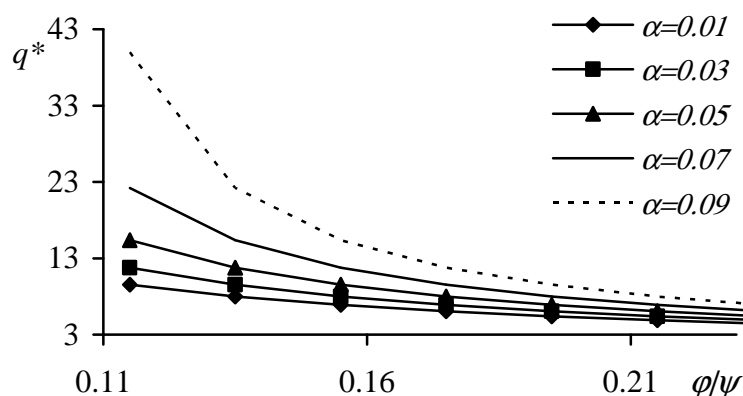


Рис. 1. Зависимость величины q^* от отношения φ/ψ при различных значениях α

Для существующих технологий добычи и переработки минерального сырья величина q_z изменяется от 1.061 до 4.450, а q от 1 до 3. Значения Q_X и p для указанного диапазона q приведены на рис. 2, из которого видно, что

величины q , φ и ψ существенно влияют на требуемую концентрацию отходов обогащения. В некоторых случаях обеспечить такую степень сгущения пульпы практически невозможно. Очевидно, что работа рассматриваемой системы в таких условиях приводит к нарушению водного баланса водохранилища или вызывает повышенное потребление воды, для отведения отходов обогащения.

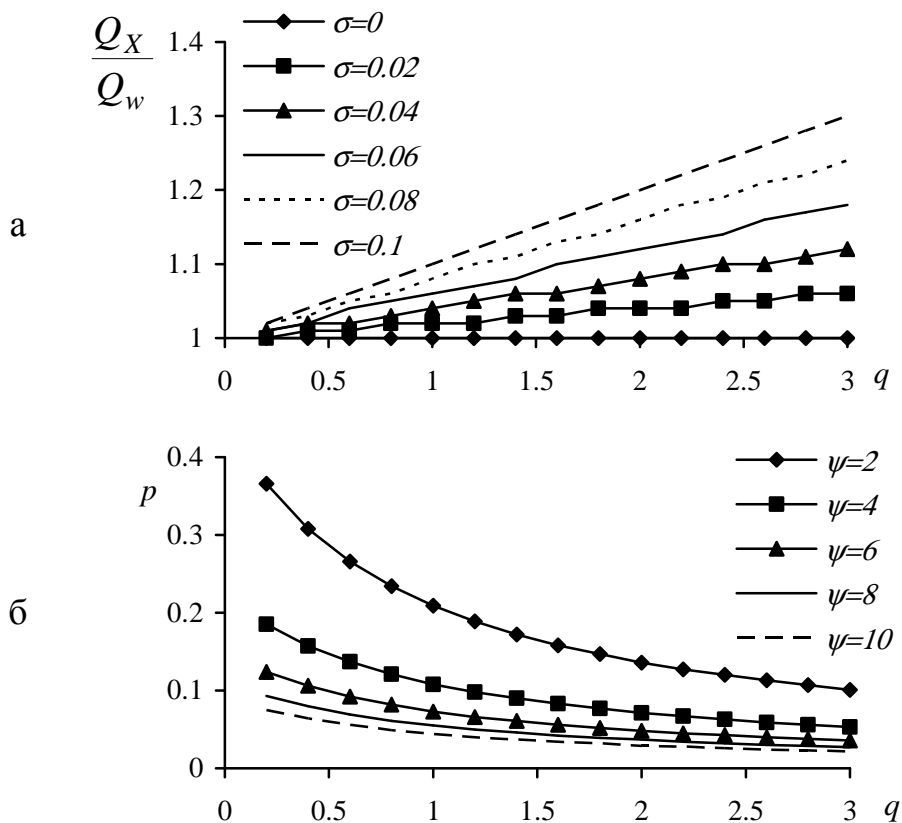


Рис. 2. Зависимость величин $\frac{Q_X}{Q_w}$ (а) и p (б) от q

Если концентрация отходов обогащения ограничена величиной p^* , которая обусловлена или критической скоростью гидротранспортирования или мощностью насосов, то для обеспечения этого условия требуется, чтобы значение параметра q было меньше допустимого (см. рис. 3), т.е.

$$[q] = \frac{\psi}{(1-\alpha) \frac{1-p^*}{p^*} - (\psi - \varphi)}, \quad (11)$$

где p^* – допустимое значение концентрации отходов обогатительного производства.

На основании выражений (2) – (9), расход воды, поступающие в водохранилище с отходами обогащения, при котором уровень зеркала не изменяется, может быть определен так:

$$Q_0^w = \left(1 + \frac{\psi - 1 + \alpha}{\psi} q \right) Q_w. \quad (12)$$

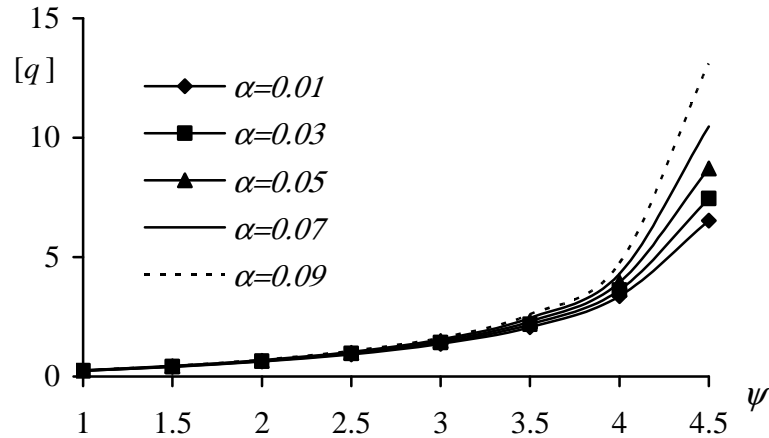


Рис. 3. Зависимость величин $[q]$ от ψ при различных значениях α

Из сравнения уравнений (8) и (10) следует, что величины Q_0^w и Q_X^w будут равны, если выполняется условие

$$\varphi = 1 - \alpha. \quad (13)$$

С использованием выражений (3) – (9), а также известных зависимостей потерь напора при течении гидросмеси и воды в круглых трубопроводах [4 – 6] суммарные затраты электроэнергии на доставку исходных песков, их переработку и складирование отходов обогащения можно вычислить по формуле

$$\begin{aligned} \frac{\eta N}{g \rho_0} = & Q_T^3 \left[z_0 \psi^3 + \rho_S a_S (1 + \psi)^3 + (z_1 + \rho_P a_P (1 + \sigma q)^3) \frac{\psi^3}{q^3} \right] + \\ & + Q_T \left[\rho_S (1 + \psi) c_S + (\Delta z_0 q + \Delta z_1 + \rho_P (1 + \sigma q) c_P) \frac{\psi}{q} \right] + [\rho_S b_S + \rho_P b_P] \end{aligned} \quad (14)$$

$$a_i = \frac{1 + 2Ar_1 R_1 i - Ar_1 R_1^2 i^2}{0.125 \pi^2 g (1 + Ar_1 R_1 i)} \left(\xi_i + \frac{L_i \Delta_i^{0,25}}{9.01 D_i^{1,25}} \right);$$

$$b_i = \frac{\pi Ar_2 (Ar_2 - Ar_1 R_1 i) R_2}{12.5 (1 + Ar_1 R_1 i)} i \frac{w}{\sqrt{d}} D_i^{2.5} L_i \cos \theta_i;$$

$$c_i = \frac{0.3 (Ar_3 - Ar_1 R_1 i) R_3 i}{(1 + Ar_1 R_1 i)} f L_i \cos \theta_i + \Delta z_i (1 + Ar_1 R_1 i); \quad z_k = \frac{8 \lambda_k L_k}{\pi^2 g D_k^5} + \frac{8 \xi_k}{\pi^2 g D_k^4};$$

$$\rho = \frac{\rho_M \alpha + \rho_P (1 - \alpha) + \psi}{1 + \psi}; \quad \rho_P = \frac{\psi + (\psi + \rho_P (1 - \alpha) - \varphi)q}{\psi + (1 - \alpha + \psi - \varphi)q}; \quad Ar_j = \rho_j - 1,$$

где g – ускорение свободного падения; ρ_o – плотность воды; a_i, b_i, c_i – коэффициенты расходно-напорной характеристики магистралей гидротранспортных комплексов, i – индекс, показывающий принадлежность к гидротранспортному комплексу, доставляющему исходные пески ($i = S$) или отводящему отходы обогащения ($i = P$); R_1, R_2, R_3 – объемная доля частиц тонких, мелких, кусковых, соответственно, в транспортируемом материале [4 – 6]; ξ_i – коэффициент местных гидравлических сопротивлений; L_i – длина трубопровода; Δ_i – шероховатость внутренней поверхности трубопровода; D_i – диаметр трубопровода; w – гидравлическая крупность мелких частиц [4]; d – средневзвешенный диаметр мелких частиц [4]; θ_i – угол наклона магистрали к горизонту; f – обобщенный коэффициент трения частиц кусковой фракции о стенку трубопровода [5]; Δz_i – разность геодезических отметок конца и начала магистрали; λ_k – коэффициент гидравлического сопротивления трению [1, 5], k – индекс трубопровода системы водоснабжения ($k = 0$ – трубопровод системы водоснабжения гидротранспортного комплекса, $k = 1$ – трубопровод системы водоснабжения обогатительного производства) Ar_j – параметр Архимеда частиц j -го типа; ρ_j – относительная плотность частиц j -го типа.

Таким образом, с помощью формул (3) – (9) можно рассчитать расчеты параметров гидравлической сети, состоящей из водохранилища, систем водоснабжения карьера и обогатительного производства, гидротранспортного комплекса и системы отвода отходов обогащения, а (10) – (13) – обосновать их рациональные значения. Энергоемкость рассматриваемой системы оценивается выражением (14), которое в комплексе учитывает параметры процессов пульпообразования, гидротранспортирования и обогащения.

Список литературы

1. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения / Е.Л. Звягильский, Б.А. Блюсс, Е.И. Назимко, Е.В. Семеновко.– Севастополь: 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. Литвяк В.Г., Шербина А.И., Пиниэлле М.М. Опыт проектирования Укргипромезом систем производственного водоснабжения предприятий черной металлургии // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – №1. – С. 127 – 130.
4. Нурок Г.А. Процессы и технологии гидромеханизации открытых горных работ. – М.: Недра, 1985. – 583 с.
5. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
6. Смолдырѐв А.Е. Гидро- и пневмотранспорт в металлургии. – М.: Металлургия, 1985. – 383 с.

7. Семененко Е.В. Выбор и обоснование типов насосов и электродвигателя для системы водоснабжения гидротранспортного комплекса // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2004. – Вип. 73. – С. 86 – 94.
8. Моделирование режимов работы и разработка методического обеспечения расчетов параметров гидротранспорта с учетом процесса пульпобразования, х/т №295: Отчет о НИР (заключительный) / ИГТМ НАН Украины; Рук. Е. Семененко. – Днепропетровск, 2004. – 151 с.