

*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;  $\alpha$  – 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).

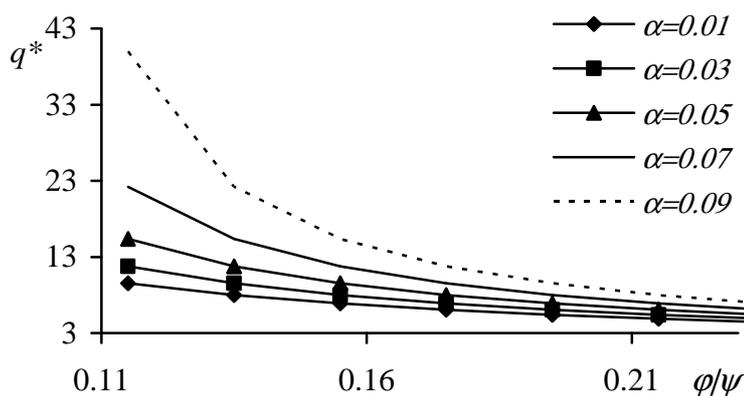


Рис. 1. Зависимость величины  $q^*$  от отношения  $\varphi/\psi$  при различных значениях  $\alpha$

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  $q$ ,  $\varphi$  и  $\psi$  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.

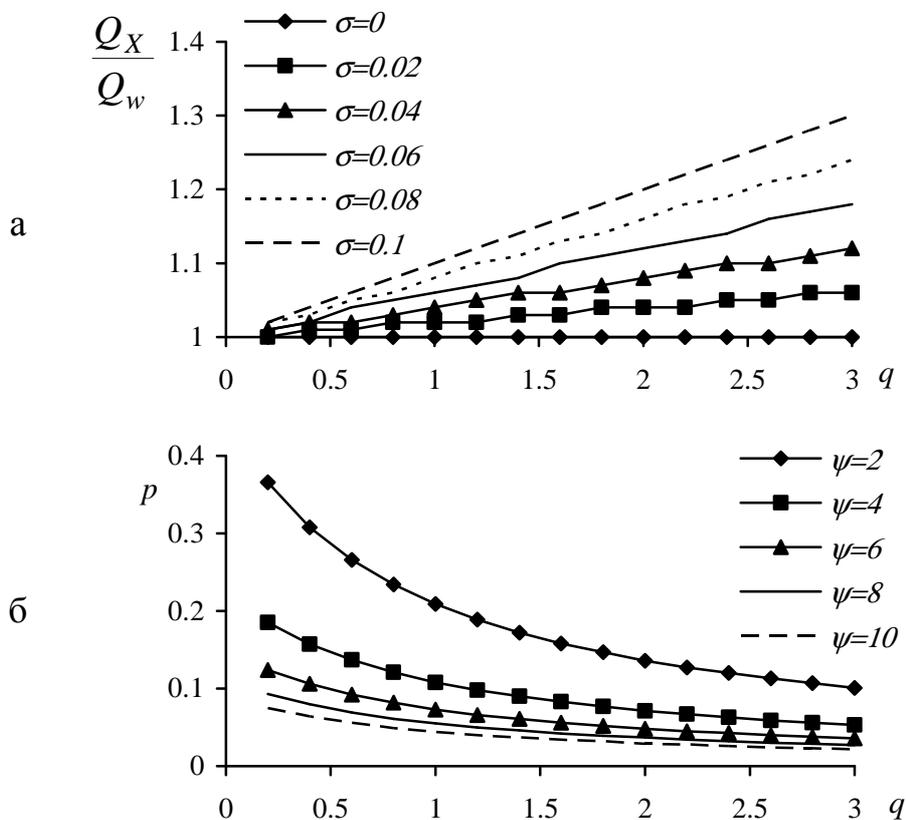


Рис. 2. Зависимость величин  $\frac{Q_X}{Q_w}$  (а) и  $p$  (б) от  $q$

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:

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

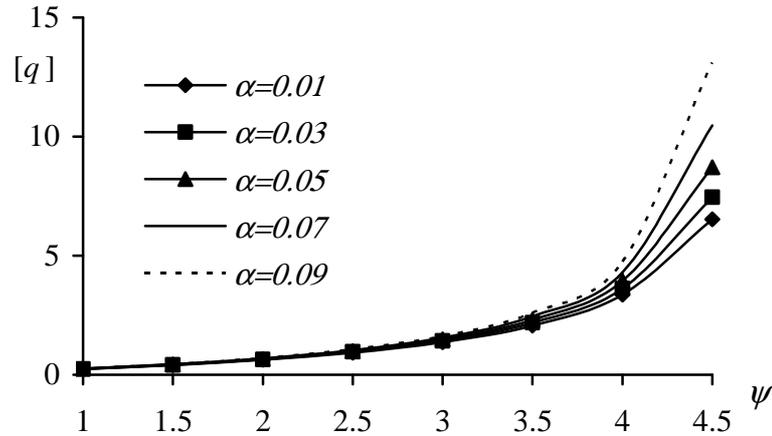


Рис. 3. Зависимость величин  $[q]$  от  $\psi$  при различных значениях  $\alpha$

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;  $\rho_o$  – 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];  $\xi_i$  – коэффициент местных гидравлических сопротивлений;  $L_i$  – длина трубопровода;  $\Delta_i$  – шероховатость внутренней поверхности трубопровода;  $D_i$  – диаметр трубопровода;  $w$  – гидравлическая крупность мелких частиц [4];  $d$  – средневзвешенный диаметр мелких частиц [4];  $\theta_i$  – угол наклона магистрали к горизонту;  $f$  – обобщенный коэффициент трения частиц кусковой фракции о стенку трубопровода [5];  $\Delta z_i$  – разность геодезических отметок конца и начала магистрали;  $\lambda_k$  – 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;  $\rho_j$  – 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. Семененко.– Севастополь: Вебер, 2002. – 247 с.
2. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семененко, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.
3. Литвяк В.Г., Шербина А.И., Пиниэлле М.М. Опыт проектирования Укргипрометом 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. Смолдырёв 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.