

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ ВЫСОТЫ СТУПЕНИ В МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ СХЕМАХ ШАХТНОГО ВОДООТЛИВА

А. В. Угольников, Д. С. Стожков, С. В. Дмитриев

С понижением горных работ до глубины 1200–1600 м ступенчатость схем водоотлива может возрасти до 5–6. Следовательно, анализ и обоснование рациональной высоты ступени в таких схемах приобретают важное значение, особенно в условиях обводненных месторождений, при отработке которых расходы электроэнергии на водоотлив могут достигать половины общего расхода по шахте или руднику.

Ключевые слова: шахтный водоотлив; насосно-трубопроводная система; многоступенчатый водоотлив; рациональная высота ступени.

В практике проектирования и эксплуатации шахтного водоотлива глубоких горизонтов шахт и рудников все большее применение находят многоступенчатые схемы. Обусловлено это не только самим характером постепенного углубления горных работ, но и технической целесообразностью применения многоступенчатых схем, в которых не требуется высоконапорных насосов и арматуры, а электродвигатели имеют сравнительно небольшую мощность, что очень важно с точки зрения допустимой мощности короткого замыкания в системах подземного электроснабжения [1–4]. С понижением горных работ до глубины 1200–1600 м ступенчатость схем водоотлива может возрасти до 5–6. Следовательно, анализ и обоснование рациональной высоты ступени в таких схемах приобретает важное значение, особенно, в условиях обводненных месторождений, при отработке которых расходы электроэнергии на водоотлив могут достигать половины и более общего расхода по шахте или руднику (такой случай имеет место на шахтах ОАО «Севералюбокситруда»).

Уравнения баланса напоров на каждой ступени с числом K для приведенной на рис. 1 схемы могут быть записаны следующим образом:

$$\begin{aligned} [h_{n1} + H_{\text{ст}}(Q)] - (Z_1 - Z_2) + h_{n2} &= h_{1-2}(Q); \\ [h_{n2} + H_{\text{ст}}(Q)] - (Z_2 - Z_3) + h_{n3} &= h_{2-3}(Q); \\ [h_{n,k} + H_{\text{ст}}(Q)] - (Z_{k-1} - Z_k) + h_{n,k} &= h_{(k-1)-k}(Q), \end{aligned} \quad (1)$$

где $H_{\text{ст}}(Q)$ – напор насоса, принимаемый в условиях нашей задачи равным высоте ступени; Z – отметки глубин горизонтов (см. рис. 1); $h_{1-2}(Q) - h_{(k-1)-k}(Q)$ – соответствующие потери напора.

В данной системе уравнений неизвестными являются подпоры между ступенями (перед насосными агрегатами станций) h_{n2}, h_{n3}, \dots и расход Q_p воды по насосно-трубопроводной системе.

При почленном сложении уравнений получим следующее уравнение баланса напоров для всей рассматриваемой насосно-трубопроводной многоступенчатой системы:

$$\begin{aligned} [h_{n1} + \Sigma H_{\text{ст}}(Q)] &= h_k + \\ &+ (Z_1 - Z_k) + \Sigma h_{(k-1)-k}(Q), \end{aligned} \quad (2)$$

где h_{n1}, h_k – подпоры перед первой ступенью и остаточный (избыточный) напор в конце трубопроводной системы, которые в условиях рассматриваемой задачи считаются известными.

Так как при почленном сложении всех уравнений (1) слагаемые h_{n1} исключаются, то полученное уравнение (2) содержит пока одну неизвестную величину – расход Q_p воды по всей многоступенчатой системе насосных станций, работающих по схеме из насоса в насос (рис. 1). При этом левая часть уравнения (2) представляет собой суммарную напорную характеристику $H_{\text{ст}}f(Q)$ последовательно соединенных насосов всех ступеней, а правая часть представляет собой суммарную характеристику трубопровода. Следовательно, точка пересечения этих характеристик

(точка работы всей рассматриваемой насосно-трубопроводной многоступенчатой системы) является решением уравнения (2).

После определения величины Q_p можно будет определить значения подпоры перед насосами всех ступеней, а также значения

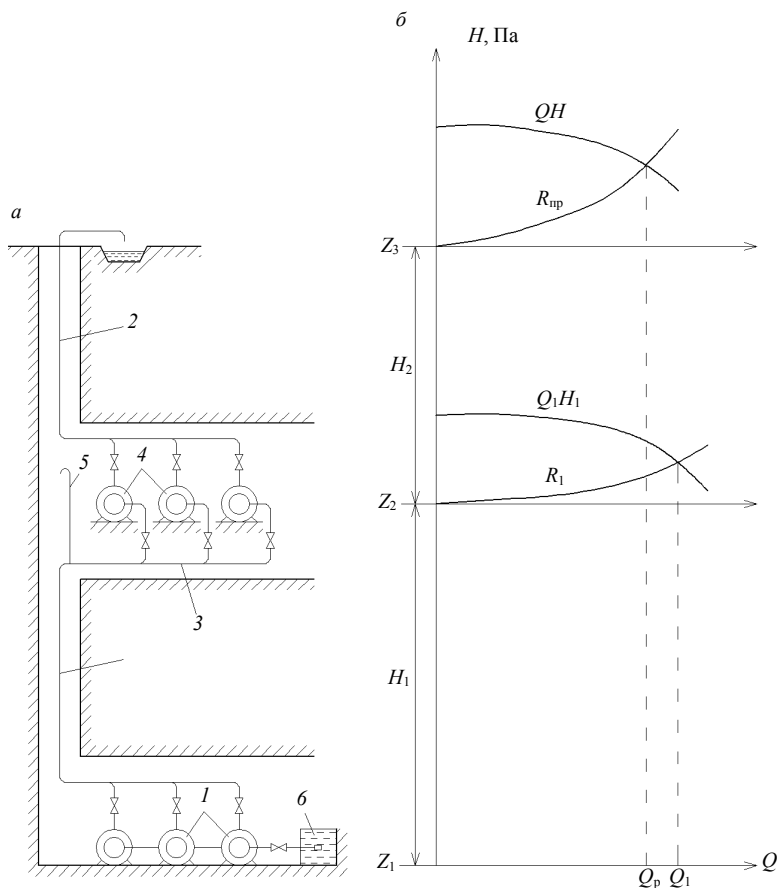


Рис. 1. Схема последовательной работы насосных агрегатов, расположенных на разных горизонтах:

a – схема водолива; *б* – $Q-H$, Q_1-H_1 – соответственно суммарная характеристика установки и насосов нижнего горизонта; R_1 , R_{np} – характеристика трубопровода нижнего горизонта и приведенная характеристика трубопровода всей установки

давлений в линиях всасывания и нагнетания ступеней, что необходимо для оценки фактического кавитационного запаса насосов и для оценки достаточности выбранной толщины стенок трубопроводов.

Составление баланса напоров многоступенчатых схем с последовательным включением насосов необходимо также при решении вопросов рационализации числа ступеней, когда требуются значения подпоры h_p на входе в насосные станции промежуточных ступеней, значения $H_{ст}(Q)$ для каждой станции и общей избыточной напорности насосно-трубопроводной системы. При этом полный гидравлический расчет рассматриваемых схем водоотлива может быть осуществлен только

после того, как выбраны диаметры трубопроводов и число ступеней, определены места расположения насосных станций и выбрано насосно-силовое оборудование, решены вопросы оптимального разбиения общей высоты водоотлива по ступеням.

Решение этой задачи связано прежде всего с установлением зависимостей основных затрат на сооружение и поддержание всего насосно-трубопроводного каскада многоступенчатого шахтного водоотлива в функции высоты ступени. С учетом высоких цен на металл и того, что количество трубопроводных стволов, согласно Правилам безопасности, должно быть не менее двух, а на обводненных месторождениях обычно составляет 3–4,

стоимость трубопроводов в общей сумме затрат на водоотлив может быть весьма значительной.

На шахтном водоотливе обычно применяются стальные бесшовные трубы с наружным диаметром от 89 до 530 мм и толщиной стенки от 2,5 до 20 мм. С увеличением высоты ступени $H_{ст}$ толщина стенок трубопроводов увеличивается, что ведет к увеличению затрат на сооружение или реконструкцию водоотливных установок, которые в общем виде могут быть представлены как

$$C_{тр} = n_{тр} q_m \rho_m f_{тр} H_{ст}, \quad (3)$$

где ρ_m – плотность материала труб; q_m – цена единицы массы материала труб (с учетом транспортных и накладных расходов, ЕНС и взносов по обязательному страхованию от несчастных случаев); $n_{тр}$ – число трубопроводных ставов; $f_{тр}$ – площадь поперечного сечения материала трубопровода.

Так как стоимость трубопроводов определяется их массой и ценой единицы этой массы (килограмма или тонны), то затраты на

приобретение труб для одной ступени составляет

$$C_{ст} = n_{тр} q_m f_{тр} \rho_m H_{ст} = \pi K_k K_c n_{тр} q_m \rho_m \left[\frac{(H_{ст}^2 d_n^2)}{\sigma_b} - \frac{K_k K_c H_{ст}^3 d_n^2}{\sigma_b^2} \right], \quad (4)$$

где K_k – коэффициент коррозии; K_c – коэффициент трубопроводного става.

Для любых конкретных условий все параметры в уравнении (4), кроме значения $H_{ст}$, могут быть приняты постоянными, приводим его к виду, более удобному для анализа

$$C_{тр} = AH_{ст}^2 - BH_{ст}^3, \quad (5)$$

где A, B – постоянные для конкретных условий (гидравлических и горнотехнических) подземного горного предприятия величины, учитывающие также число трубопроводных ставов в ступени,

$$A = \frac{\pi K_k K_c n_{тр} q_m \rho_m d_n^2}{\sigma_b}, \quad B = \frac{\pi K_k^2 K_c^2 n_{тр} q_m \rho_m d_n^2}{\sigma_b^2}.$$

Использование полученных зависимостей (1)–(5) может быть положено в основу определения рациональной высоты ступени $H_{ст}$ по фактору затрат на трубопроводные ставы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нечушкин Г. М. Состояние и проблемы водоотлива глубоких шахт // Водоотлив глубоких шахт. М.: Недра, 1967. С. 67–70.
2. Изюров В. В. Выбор оптимальной высоты ступени водоотлива для глубоких горизонтов шахт Кизеловского бассейна // Водоотлив глубоких шахт. М.: Недра, 1967. С. 79–81.
3. Мазуренко В. В. Исследование технологической схемы ступенчатого водоотлива глубоких шахт последовательного включенными насосами // Водоотлив глубоких шахт. М.: Недра, 1967. С. 84–87.
4. Попов В. М. Водоотлив с глубоких горизонтов в условиях Северо-Уральских бокситовых рудников // Вопросы горной электромеханики. М.: Недра, 1969. С. 55–62.

Поступила в редакцию 26 июня 2013 г.

Угольников Александр Владимирович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электротехники. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: ugolnikov@yandex.ru

Стожков Дмитрий Сергеевич – ассистент кафедры электротехники. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

Дмитриев Сергей Владимирович – соискатель кафедры горной механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.