

Н.Н. ХВОРОСТЯНОЙ, Д.Ю. ТИМОФЕЕВ

(Украина, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ВОДООТЛИВА ГЛУБОКИХ ШАХТ

При добыче полезных ископаемых, переход на более глубокие горизонты, за частую, является неизбежным. Таким образом, ряд шахт центрального Донбасса уже производят добычу угля на горизонтах глубиной свыше 1000 м, что приводит к осложнению работы предприятия в целом и водоотливного хозяйства в частности.

Целью настоящей работы является рассмотрение путей повышения эффективности и надежности водоотлива глубоких шахт.

Организация водоотлива глубоких шахт возможна с использованием как ступенчатой, так и прямой технологической схемы. Непосредственная откачка шахтной воды на поверхность, обеспечиваемая прямой схемой, обладает преимуществами по сравнению со схемой водоотлива предусматривающей применение перекачных насосных станций. Такими преимуществами являются повышенная энергоэффективность и надежность [2].

В работе [2] приводится количественная оценка надежности водоотлива, полученная с помощью методов математической статистики и теории вероятности. В данной работе было произведено сравнение надежности использования прямого и погоризонтного водоотлива с применением перекачных насосных станций, исходя из уравнения характеризующего количественную оценку надежности:

$$P_0 = [(1 - mr)P_H^m + mrP_H^{m-1} + (1 - m_T r_T)P_T^{m_T} + m_T r_T P_T^{m_T-1} + P_\varepsilon] P_v \tau,$$

где P_H – вероятность вынужденного простоя отдельных насосов (определяется статистической частотой вынужденных простоев); P_T – вероятность вынужденного отключения одного трубопровода; m и m_T – число насосов и трубопроводов; P_ε – вероятность перерыва энергоснабжения водоотлива; P_v – вероятность затопления водосборника; $\tau = t_{\text{раб}}/t_{\text{год}}$ – относительная продолжительность работы насосов в год; r – относительная продолжительность останова насосов на капитальный ремонт (по отношению к рабочему времени); r_T – относительная продолжительность плановых отключений трубопроводов на капитальный ремонт.

Основным результатом сравнения надежности различных схем водоотливов является то, что при равных условиях надежность работы прямой схемы водоотлива будет выше, чем в случае применения ступенчатой схемы откачки шахтной воды. Следует также заметить, что как правило, прямая схема водоот-

Загальні питання технології збагачення

лива требует значительно меньших капитальных и эксплуатационных затрат.

Сравнительный экономический анализ прямой и ступенчатой схемы водоотлива с последующим контрольным расчетом показал, что в условиях шахт центрального Донбасса при Глубине шахты $H_{ш} = 1000$ м и нормальном суточном притоке воды в шахту $Q_n = 7440$ м³/сутки переход главного водоотлива от ступенчатой к прямой схеме откачки воды, позволит сократить расходы электроэнергии с 16066500 кВт·ч/год до 14927000 кВт·ч/год, а также увеличить удельную производительность труда, за счет сокращения персонала необходимого для обслуживания установки, и повысить ее надежность в результате сокращения цепи последовательно работающих механизмов. Таким образом, предложенная прямая схема водоотлива позволяет снизить эксплуатационные расходы на 1197,000 тыс. грн/год.

Однако прямая схема водоотлива в виду возникновения высоких давлений и отсутствия запорно-регулирующей арматуры способной их выдерживать при этом, обеспечивая безопасную и бесперебойную работу, имеет ограниченный диапазон применения. Одним из практических способов расширения диапазона применения прямой схемы, является организация водоотлива в виде двухфазной смеси с транспортировкой в напорном трубопроводе шахтной воды виде водовоздушной смеси, плотность которой меньше плотности воды, что и обеспечивает снижение давления [2]. Предложенное решение позволяет увеличить диапазон применения, то есть высоту прямой откачки шахтной воды, на 20-30%.

Схема насосной установки, осуществляющая предлагаемый способ шахтного водоотлива показана на рис. 1. На схеме представлен многоступенчатый насос 1 с всасывающим 2 и нагнетательным 3 трубопроводами, компрессор 4, расположенный в промежуточном сечении нагнетательного трубопровода, аккумулятор пневмоэнергии 5, соединенный дополнительным трубопроводом 6 с промежуточной ступенью 7 насоса 1 и компрессором 4. При этом все сообщенные с аккумулятором 5 трубопроводы снабжены управляемыми задвижками [6].

Согласно предлагаемому способу отделяемый от жидкости в аккумуляторе сжатый воздух вновь подается в промежуточную ступень насоса и цикл повторяется. Таким образом, основная часть нагнетательного трубопровода длиной $H-X$ (рис. 1) заполнена водовоздушной смесью, плотность которой меньше плотности воды, что и обеспечивает снижение давления в нижнем сечении этого трубопровода.

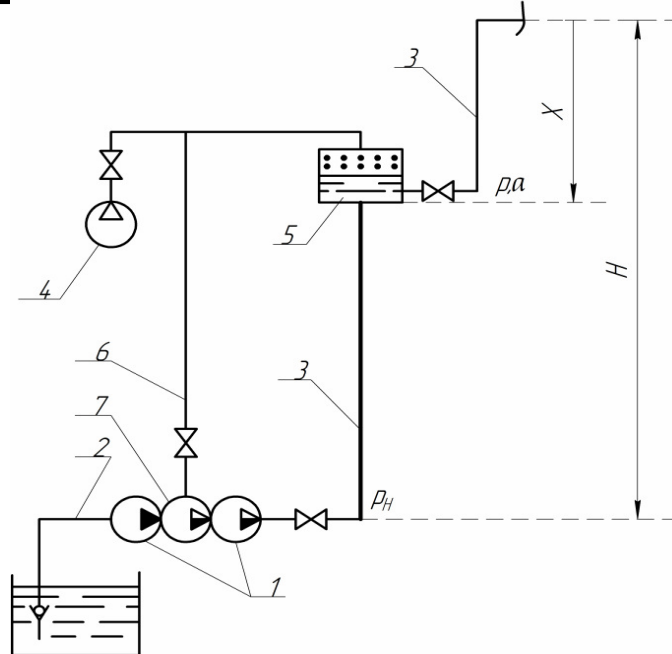


Рис. 1. Схема насосной установки

При эксплуатации водоотливных установок неизменным спутником высоких давлений являются такие опасные гидродинамические явления как гидроудары. По оценкам экспертов, гидроудары являются причинами разрыва трубопроводов приблизительно в 60% случаев. Общепринятые методики контроля вибросостояния трубопроводов и существующие методы снижения высоких пульсаций давления не могут считаться достаточно эффективными в задаче повышения безопасности и обеспечения бесперебойной эксплуатации водоотливной установки.

В предыдущих работах не было проведено исследования аварийных режимов и способов их предотвращения для предложенного водоотлива осуществляющей откачку шахтной воды в виде водовоздушной смеси. Поэтому рассмотрение предложенного водоотлива с позиции возникновения гидравлических ударов требует особого внимания.

Явление гидравлического удара, характеризующееся главным образом лавинообразным увеличением давления в трубопроводе при внезапном торможении двигавшегося по нему потока жидкости, определяется по формуле Н.Е. Жуковского:

$$D_p = \rho \cdot (v_0 - v_1) \cdot c ,$$

где D_p – увеличение давления в Н/м^2 ; ρ – плотность жидкости в кг/м^3 ; v_0 и v_1 – средние скорости в трубопроводе до и после закрытия задвижки (запорного клапана) в м/с ; c – скорость распространения ударной волны вдоль трубопровода.

Рассмотрим данное уравнение по составляющим, применительно к трубопроводу, в котором происходит движение водовоздушной смеси. Величина

Загальні питання технології збагачення

плотности двухфазной смеси (ρ) будет варьироваться, в зависимости от давления, на протяжении всего напорного трубопровода и очевидно, что она будет меньше, чем плотность воды без газовых включений. Разницы скоростей потока ($v_0 - v_1$) является зависимой от конструктивных особенностей и расчетных режимов работы конкретной водоотливной установки. Произведенные контрольные расчеты для широкого диапазона условий показали отсутствия существенного изменения данной величины. Скорость распространения ударной волны (c) вдоль трубопровода, заполненного водовоздушной смесью, в разы меньше скорости в аналогичном трубопроводе заполненного водой. Следовательно, данная величина является ключевой составляющей, претерпевающей разительное изменение.

Известно, что ударная волна в эпицентре возникновения в малый период своего распространения превышает скорость звука, затем вырождается, что приводит к ее отставанию от звуковой волны. Однако скорость распространения ударной волны в водовоздушной среде, с допустимой погрешностью, можно считать равной скорости звука при адиабатическом процессе в данной среде рис. 2. Из приведенного графика следует, что наличие газовой фазы в жидкости существенно снижает скорость звука в смеси.

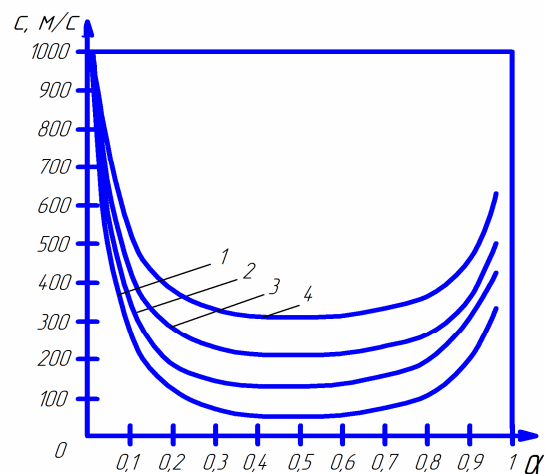


Рис. 2. Зависимости скорости звука в водовоздушной смеси от газосодержания при различных давлениях:

1 – $p = 1 \cdot 10^5$ Па; 2 – $p = 25 \cdot 10^5$ Па;
3 – $p = 50 \cdot 10^5$ Па; 4 – $p = 100 \cdot 10^5$ Па

Таким образом, скорость распространения ударной волны в трубопроводе транспортирующем двухфазную смесь будет в 5-10 раз ниже, чем в идентичном трубопроводе транспортирующем только воду.

Учитывая различие величин в уравнении Н.Е. Жуковского и проведенные контрольные расчеты в широком диапазоне начальных условий, справедливо сделать вывод, что сила гидроудара в трубопроводе заполненном водовоздушной смесью будет в 10-15 раз меньше чем в таком же трубопроводе транспор-

Загальні питання технології збагачення

тирующем только воду. Отсюда следует, что гидроудары, в условиях транспортирования водовоздушной смеси в напорном трубопроводе, неспособны повлиять на работоспособность водоотлива.

Предложенная альтернативная установка, осуществляющая водоотлив в виде водовоздушной смеси, позволяет не только увеличить максимальную глубину эффективного применения прямой схемы откачки шахтной воды, а также способствует повышению надежности шахтного водоотлива за счет исключения таких опасных гидродинамических явлений как гидроудары.

Выводы

Произведен анализ с последующим контрольным расчетом о влиянии применения прямой и ступенчатой схемы водоотлива на эффективность и надежность работы водоотливного хозяйства.

Впервые рассмотрен предложенный альтернативный способ водоотлива с позиции возникновения аварийных ситуаций, в частности гидроударов.

Выявлен механизм влияния воздействия гидравлического удара на работоспособность водоотливной установки, нагнетательный трубопровод которой заполнен водовоздушной смесью.

Список литературы

1. Кириченко В.Е., Хворостяной Н.Н. Разработка комплексной математической модели насосной установки для откачки шахтной воды в виде водовоздушной смеси // Збагачення корисних копалин: Науч.-техн. зб. – 2013. – Вип. 52(93). – С. 115-129.

2. Водоотлив глубоких шахт. Труды Всесоюзного научно-технического семинара по водоотливу глубоких шахт / Под ред. Г.М. Нечушкина, К.С. Борисенко. – М.: Недра, 1967. – С. 26-39, 136-144.

3. Кириченко Е.А., Евтеев В.В. Об одном альтернативном способе организации водоотлива глубоких шахт // Научный вестник НГУ: Серия Горная механика и машины. – 2004. – №7. – С. 51-55.

4. Финкельштейн З.Л., Швиндин А.И., Твердохлеб И.Б. Состояние и перспективы насосного оборудования для шахтного водоотлива // Вестн. Нац. техн. ун-та Украины "Киев. политехн. ин-т". Машиностр. – 1999. – № 35. – С. 257-261.

5. Фуруя О. Аналитическая модель для расчета характеристики насоса при прокачке двухфазной среды с неконденсирующейся газовой фазой. // Труды ASME: Серия Теоретические основы. – 1985. – Т. 107, №1. – С. 225-235.

6. Пат. 61294 України, F04F1/00, F04F1/20, E21F17/00. Спосіб підйому багатокомпонентної суміші з великих глибин і насосна установка для його реалізації / Кириченко Є.О., Чеберячко І.М., Євтеев В.В., Шворак В.Г., Кириченко В.Є. – Опубл. 25.06.2007, Бюл. № 9.

7. Пат. 64541 України, F04F1/20. Спосіб регулювання подачі насосом рідини та система для його реалізації / Кириченко Є.О., Чеберячко І.М., Шворак В.Г., Євтеев В.В. – Опубл. 25.06.2007, Бюл. № 9.

© Хворостяной Н.Н., Тимофеев Д.Ю., 2014

*Надійшла до редколегії 28.08.2014 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*