

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСОВ ШАХТНОГО ВОДООТЛИВА

Тимухин С. А., Угольников А. В., Долганов А. В.

В последнее время в связи с новыми технологиями ведения горных работ накопилось немало нерешенных задач в области проектирования и эксплуатации комплексов шахтного водоотлива. Большой проблемой на горнорудных предприятиях является очистка водосборных емкостей, так как при современном уровне средств и технологий очистки водосборников трудозатраты на эти работы весьма значительны, а это напрямую связано с угрозой затопления горных выработок. Для эффективного решения этой проблемы необходимы новые способы и средства очистки емкостей, что обеспечит высокую производительность и полную механизацию всего рабочего цикла очистки. Решением задач усовершенствования комплексов шахтного водоотлива является применение в составе главных водоотливов шахт и рудников высоконапорных гидроэлеваторных установок, разработка методики дифференцированного подхода при выборе насосного оборудования и конструктивное совершенствование шахтных центробежных насосов. Отмеченные в статье задачи, стоящие перед комплексами шахтного водоотлива, не охватывают всего многообразия проблем. Однако результативное решение возможно только на комплексной основе.

Ключевые слова: водоотливные установки; комплексы шахтного водоотлива; водосборники; насосы; очистка водосборников; водоотливное оборудование.

За последние десятилетия в области проектирования и эксплуатации комплексов шахтного водоотлива накопилось немало нерешенных задач, связанных, главным образом, с переходом страны на иные принципы хозяйствования и применением новых, более производительных и эффективных технологий ведения горных работ. Так, значительное возрастание стоимости электрической энергии обусловило принципиально новые подходы к расчету и выбору параметров главных водосборных емкостей комплексов водоотлива. Вероятно, во многих случаях для реализации минимального затратного внепикового электропотребления экономически более выгодным станет увеличение этих емкостей по сравнению с принимаемыми в настоящее время объемами водосборников, исходя из требований правил безопасности (ПБ).

При реализации внепикового электропотребления на шахтных водоотливных установках емкости водосборников, рассчитываемые согласно требованиям ПБ, зачастую оказываются недостаточными, что вызывает необходимость их увеличения. Для обоснования размеров этого увеличения необходима, прежде всего, оценка технико-экономической эффективности мероприятий, направленных на его реализацию. При этом необходимо учи-

тывать эффект от перевода водоотливных установок в режим регуляторов нагрузки энергосистемы с целью формирования наиболее эффективных графиков электрических нагрузок предприятия. Все это связано с расчетом и реализацией соответствующих графиков включения и работы насосных агрегатов (НА), расположенных в насосной камере, в течение суток [1, 2]. При переменном притоке $Q_{пр}(t)$ в систему управления водоотливом перед каждым периодом максимума нагрузки энергосистемы должна поступать информация о средней величине притока для определения величины коэффициента k_3 (отношение времени цикла работы НА к времени заполнения рабочего объема водосборника).

Перевод водоотливных установок в режим регулятора нагрузки энергосистемы значительно упрощается, если водоотливная установка обладает избыточными гидравлическими мощностями (завышенные значения емкости водосборника и производительности водоотливных средств для данного притока воды по сравнению со значениями, нормируемыми ПБ). При наличии трех-четырёхкратного запаса по гидравлической мощности организация работы водоотлива в режиме регулятора нагрузки энергосистемы сводится к совмещению времени работы установки с

ночными провалами в суточном графике нагрузки энергосистемы.

Для подготовки водосборников водоотливных установок к началу периода сброса нагрузки горного предприятия (t_{x1}) должно соблюдаться следующее соотношение:

$$\begin{aligned} & \Sigma Q_{\text{nc}} \cdot (t_{x1} - t_{x-1}) = \\ & = \int_{t_{x-1}}^{t_x} Q_{\text{np}}(t) dt + V(t_{x-1}) - V_{\text{доп}}(t_{x1}), \end{aligned} \quad (1)$$

где ΣQ_{nc} – суммарная подача водоотливных установок насосной станции, включаемых в работу в момент времени t_{x-1} ; t_x – время отключения насосных агрегатов в начале периода сброса нагрузки энергосистемы; $V(t_{x-1})$; $V_{\text{доп}}(t_{x1})$ – объем воды в водосборнике в момент времени t_{x-1} и минимально допустимый объем в момент времени t_{x1} .

Отсюда момент времени сброса нагрузки энергосистемы НА t_{x1} (при условии, что $Q_{\text{np}}(t) = \text{const}$ – наиболее частый случай в практике шахтного водоотлива) определяется следующим образом:

$$t_{x1} = \frac{t_{x-1} + [V(t_{x-1}) - V_{\text{доп}}(t_{x1})]}{[\Sigma Q_{\text{nc}} - Q_{\text{np}}(t)]}. \quad (2)$$

Так как величина $V_{\text{доп}}(t_{x1})$ пропорционально зависит от строительного объема водосборника $V_{\text{стр}}$, то с его увеличением сокращается время ($t_x - t_{x-1}$), что способствует формированию более эффективных графиков нагрузки предприятия и снижению связанной с ними оплаты за электроэнергию.

Более подробный анализ уравнения (2) показывает, что значение параметра $V_{\text{доп}}(t_{x1})$, прямо пропорционально связанное с объемом водосборника, возрастает с увеличением его размеров. Следовательно, в соответствии с уравнением, снижается требуемое время работы НА в период, предшествующий сбросу нагрузки энергосистемы. С учетом того, что НА в отключенном состоянии могут находиться более длительное время (весь период максимума нагрузки энергосистемы), целесообразность увеличения гидравлических мощностей водоотливных установок становится более очевидной, так как это приводит

не только к повышению безопасности функционирования горного предприятия, но и к снижению энергозатрат. Следовательно, для реализации этого в каждом конкретном случае требуется соответствующее обоснование необходимого увеличения объема водосборника, обеспечивающего минимизацию приведенных годовых расходов по водоотливному комплексу.

Большой проблемой на горнорудных предприятиях является очистка водосборных емкостей от шламовых смесей. Обусловлено это, прежде всего, внедрением технологий отработки рудных залежей с закладкой выработанного пространства и широким применением самоходной погрузочно-доставочной техники, что привело к многократному увеличению количества шламовых смесей, несоизмеримому с объемами предшествующего этапа развития горнодобывающей отрасли. Так, например, на подземном руднике ОАО «Гайский ГОК» годовое количество шламовых смесей составляет величину порядка 150 000–160 000 т. Причем, кроме количественного увеличения шламов существенно изменяется и их качественный состав (например, увеличивается содержание наиболее абразивных частиц с размером 0,2–0,3 мм и более).

Все это поставило подземные горнорудные предприятия в достаточно сложное положение, поскольку при современном уровне средств и технологий очистки водосборников трудозатраты на эти работы весьма значительны. Так, по Узельгинскому руднику (Южный Урал) годовые трудозатраты на очистку водосборников составляют 800–900 человеко-смен [3]. Такие значительные трудозатраты обусловлены, прежде всего, несовершенными технологиями и средствами очистки, не изменявшимися в течение уже довольно продолжительного времени (скреперы, ПДМ, вагонетки, комплексы клетового подъема). Подобное положение приводит на практике к ситуациям, когда водосборники заполняются шламовыми смесями на 60–80 % и более (при том, что значение этого показателя, допускаемое ПБ, равно 30 %), что напрямую связано с угрозами затопления горных выработок. Следовательно

но, для эффективного решения проблемы необходимы разработки принципиально новых способов и средств очистки емкостей, обеспечивающих высокую производительность и полную механизацию всего рабочего цикла очистки.

Одним из направлений решения этой задачи является применение в составе главных водоотливов шахт и рудников высоконапорных гидроэлеваторных установок, способных осуществлять откачку шламовых смесей из водосборных емкостей на высоту 300–400 м и более по существующим нагнетательным трубопроводным ставам в обход рабочих насосов [4]. При этом должна также решаться задача защиты трубопроводов от гидроабразивного износа, обусловленного перемещением (транспортированием) по ним шламовых смесей. Определенный опыт в этом направлении уже имеется в системах транспортирования водоугольных смесей. Существуют также необходимые технические и технологические предпосылки для практической реализации этого способа очистки, так как в настоящее время серийно освоены высоконапорные секционные насосы (с напором до 1700–1800 м и более), кроме того осваивается производство высоконапорных трубопроводов, фасонных элементов и запорной арматуры, в том числе из различных композитных материалов, и др. Параллельно с вопросами очистки водосборных емкостей рудников может также решаться задача дополнительного извлечения из шламовых смесей полезных компонентов (меди, цинка, серебра, золота и др.), содержащихся там в достаточно больших количествах, позволяющих после откачки, транспортирования и соответствующей подготовки эффективно использовать шламовые смеси в процессах обогащения.

При проектировании подземных водоотливных установок главным и определяющим параметром является величина нормального суточного (или часового) притока воды в горные выработки $Q_{\text{норм}}$ (м³/ч). От этого параметра зависит выбор не только насосов, но и всего комплекса водоотливного оборудования. Расчет этого параметра традицион-

но осуществляется на основе коэффициента водообильности $K_{\text{в}}$ [5–8], который равен отношению количества откачиваемой воды за некоторый период к количеству добываемого за тот же период полезного ископаемого. Таким образом, зная фактический коэффициент водообильности и проектную (годовую) производительность горного предприятия по полезному ископаемому, можно рассчитать ожидаемый нормальный суточный приток воды по следующей формуле:

$$Q_{\text{норм}} = \frac{K_{\text{в}} A_r}{365}, \quad (3)$$

где A_r – годовая производительность шахты.

Вследствие постоянных изменений гидрогеологических и горно-технологических условий значения параметров, входящих в эту формулу, могут значительно изменяться, и причем случайным образом, однако в расчет принимается детерминированное среднее значение величины $Q_{\text{норм}}$. Поэтому расчет $Q_{\text{норм}}$ по величине $K_{\text{в}}$ носит ориентировочный характер даже при условии корректирования ее гидрогеологическими службами. Ошибки при ее определении могут быть как в сторону уменьшения, так и увеличения. В первом случае это может привести к созданию аварийной ситуации вплоть до затопления горных работ, а во втором – к неэффективному использованию выбранного водоотливного оборудования.

Кроме того, в условиях рыночных отношений, когда производительность предприятий не является плановой, а определяется конъюнктурой рынка, расчет $Q_{\text{норм}}$ по величине $K_{\text{в}}$ неизбежно связан с дополнительными погрешностями. Поэтому формирование величины $Q_{\text{норм}}$ на основе коэффициента водообильности, предполагающее постоянство этой величины (в рамках принятого цикла), представляется неправомерным. Отсюда возникает необходимость в подходах, учитывающих изменчивость $Q_{\text{норм}}$ как случайной величины, зависящей от множества факторов.

В соответствии с этим определение величины $Q_{\text{норм}}$ правомерно осуществлять на основе статистико-вероятностного анализа

случайного процесса, отражающего фактические зависимости притоков воды в горные выработки за предшествующий, достаточно значительный период.

Выбор насосного оборудования по максимальному притоку осуществляется в настоящее время обычно исходя из его двухмесячного времени действия в течение года (периоды весеннего и осеннего паводков). Однако практика шахтного водоотлива показывает, что максимальные притоки по своим характеристикам могут значительно различаться по разным месторождениям. Так, например, по Узельгинскому руднику время действия максимального притока составляет около двух месяцев (апрель–май), а по шахте «Северопесчанская» около пяти месяцев (апрель–сентябрь). Анализ притоков воды по некоторым другим месторождениям также показывает большой разброс данных, трудно поддающихся какой-либо унификации в их оценке. Все это приводит к тому, что формирование исходных данных по притокам воды в горных выработках более правомерно осуществлять индивидуально по конкретному месторождению или предприятию на основе статистических данных за предшествующий, достаточно длительный период. Возникает задача разработки методологии более точного определения величины $Q_{\text{норм}}$ и ее промышленной апробации. Кроме того, уточненный подход требуется также и к выбору материалов, из которых осуществляется изготовление насосов и трубопроводов (углеродистые, нержавеющие и легированные стали, чугун, стеклопластики, углепластики, различные композиты и др.). Связано это с тем, что насосное оборудование испытывает совместное воздействие кислотности и гидроабразивности перекачиваемой среды. Разработка методики дифференцированного подхода к учету этих факторов при выборе насосного оборудования также является важной задачей.

Отдельно следует сказать и о конструктивном совершенствовании шахтных центробежных насосов, являющихся основой всего комплекса водоотливного оборудования горных разработок. Выпускаемые в настоящее

время отечественные секционные однопоточные насосы типов ЦНС(К), ЦНСГ, НЦС, НЦСР и другие в достаточной мере покрывают поля потребных водоотливных режимов шахт, рудников и открытых горных разработок. Широко применяются они и в различных смежных отраслях промышленности: металлургической, химической и др. Насосы были разработаны еще в 40-х гг. прошлого века (удостоены Государственной премии СССР за 1946 г.), и с того времени их гидравлическая схема не претерпела сколько-нибудь существенных изменений, несмотря на проводимые модернизации (АЯП – МС(К) – ЦНС(К)).

В настоящее время выпускаемые секционные однопоточные насосы не удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к шахтным центробежным насосам, как с точки зрения их экономичности, так и надежности работы. Применяемое в них для компенсации осевой силы гидравлическое разгрузочное устройство, состоящее из вращающегося диска и неподвижных элементов, является источником значительных механических и объемных потерь (до 5–6 % и более от номинальной подачи насоса) и обладает низкой эксплуатационной надежностью (наработка до отказа составляет в среднем всего 110–140 ч.). На загрязненной воде наработка до отказа снижается до 60–80 ч., что создает большие проблемы при техническом обслуживании насосов. На протяжении всего времени эксплуатации секционных однопоточных насосов в горной промышленности предпринимались многочисленные попытки совершенствования их разгрузочных устройств с целью снижения объемных потерь и повышения надежности работы [9, 10, 11, 12]. Однако принципиального улучшения работы разгрузочных устройств добиться не удалось, и шахтные секционные насосы, несмотря на некоторые свои очевидные преимущества в сравнении с насосами других типов, продолжают эксплуатироваться с низким уровнем эффективности.

Главная причина этого кроется, по нашему мнению, в несовершенной гидравлической

схеме однопоточного насоса, неотъемлемой составной частью которой является наличие гидравлического разгрузочного устройства. В связи с этим необходима разработка принципиально других схем секционных насосов, в которых компенсация осевых сил осуществлялась бы наиболее эффективным способом – симметричным расположением на валу рабочих колес одностороннего всасывания и применением рабочих колес двухстороннего всасывания. Данному требованию отвечают, например, секционные двухпоточные насосы, состоящие из двух одинаковых групп секций, расположенных симметрично по отношению друг к другу [13]. Поэтому разработка и освоение серийного производства этих насосов представляет собой важную народно-хозяйственную задачу, решение которой позволит заменить разнотипное и неэффективное используемое в настоящее время насосное оборудование.

В связи с постоянным углублением горных работ в практике проектирования и эксплуатации шахтного водоотлива глубоких горизонтов шахт и рудников все большее применение находят многоступенчатые схемы. Обусловлено это не только самим характером постоянного 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 за-

мыкания в системах подземного электроснабжения [14, 15, 16, 17]. 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 большое значение, особенно в условиях обводненных месторождений, при отработке которых расходы электроэнергии на водоотлив могут достигать половины, и более общего расхода по шахте или руднику.

Обоснование рациональной высоты ступени в таких задачах практически невозможно без технико-экономической оценки стоимостных показателей всего комплекса водоотливного электромеханического оборудования, стоимости капитальных горных выработок околоствольного двора и др. в функции высоты ступени. Поэтому получение и анализ этих зависимостей с последующим использованием при обосновании рациональной высоты многоступенчатого водоотлива представляет важную научно-практическую задачу.

В заключение следует сказать, что отмеченные здесь задачи, стоящие перед комплексами шахтного водоотлива, не охватывают всего многообразия проблем, которых в действительности, конечно, больше. Результативное их решение, на наш взгляд, возможно только на комплексной основе, так как любое частное решение в этой многосвязной задаче не может дать значимых положительных результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация производственных процессов угольных шахт / Н. Г. Попович [и др.]. Киев: Высш. шк., 1978. 335 с.
2. Хронусов Г. С. Формирование эффективных режимов электропотребления промышленных предприятий. Ч. 1. Екатеринбург: Изд-во УГГА, 1998. 340 с.
3. Долганов А. В. Повышение эффективности эксплуатации водоотливных установок медноколчеданных рудников: автореф. дис ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2011. 18 с.
4. Шахтная водоотливная установка / С. А. Тимухин [и др.]. Пат. РФ № 2472971. 09.06.2011. №2011123628/06; опубли. 20.01.2013, бюл. № 2.
5. Попов В. М. Рудничные водоотливные установки. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1983. 304 с.
6. Веселов А. И. Рудничный водоотлив. М.: ГНТИ, 1956. 532 с.
7. Шевяков Л. Д., Бредихин А. Н. Шахтный водоотлив. М.: ГНТИ, 1960. 356 с.
8. Носырев Б. А. Насосные установки горных предприятий: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГА, 1997. 162 с.
9. Паламарчук Н. В., Тимохин Ю. В. Повышение эффективности работы гидравлического разгрузочного устройства шахтных насосов / Теоретические и эксплуатационные проблемы шахтных стационарных установок: сб. науч. трудов ВНИИГМ им. М. М. Федорова. Донецк, 1986. С. 153–157.
10. Попов В. М. Водоотливные установки: справ. пособие. М.: Недра, 1990. 254 с.
11. Тимохин Ю. В., Паламарчук Н. В. Выбор оптимальных конструктивных размеров гидравлического

разгрузочного устройства шахтного насоса с учетом энергетических потерь / Стационарное оборудование шахт: сб. научных трудов ВНИИГМ им. М. М. Федорова. Донецк, 1987. С. 144–122.

12. Тимохин Ю. В. Исследование и совершенствование гидравлических разгрузочных устройств шахтных центробежных насосов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: ВЗПИ, 1990. 15 с.

13. Центробежный секционный двухпоточный насос. Пат. РФ 2081351. МПК7: F04Д1/06.

14. Нечушкин Г. М. Состояние и проблемы водоотлива глубоких шахт // Водоотлив глубоких шахт. М.: Недра, 1967. С. 67–70.

15. Изюров В. В. Выбор оптимальной высоты ступени водоотлива для глубоких горизонтов шахт Кизеловского бассейна // Водоотлив глубоких шахт. М.: Недра, 1967. С. 79–81.

16. Мазуренко В. В. Исследование технологической схемы ступенчатого водоотлива глубоких шахт последовательно включенными насосами // Водоотлив глубоких шахт. М.: Недра, 1967. С. 84–87.

17. Попов В. М. Водоотлив с глубоких горизонтов в условиях североуральских бокситовых рудников // Вопросы горной электромеханики. М.: Недра, 1969. С. 55–62.

Поступила в редакцию 30 июня 2014 г.

Тимухин Сергей Андреевич – доктор технических наук, профессор кафедры горной механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

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

Долганов Алексей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры горной механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30. E-mail: av.dolganov@yandex.ru