

УДК 622.272:621.3.07



А. В. РУХЛОВ,
канд. техн. наук
(Национальный горный
университет)



Н. Ю. РУХЛОВА,
аспирант
(Национальный горный
университет)

Практически все угледобывающие предприятия Украины были построены более 30 лет назад, в связи с этим технологические условия функционирования большинства из них не соответствуют современным Правилам безопасности в угольных шахтах (ПБ) и Правилам технической эксплуатации угольных шахт (ПТЭ).

Угольная шахта имеет технические и технологические возможности для выполнения регулирования режимов электропотребления, т. е. участвует в решении проблемы неравномерности энергопотребления (снижении уровня потребления электроэнергии в часы максимума нагрузок в энергосистеме).

* Статья подготовлена под руководством профессора Ю. Т. Разумного.

Работа главного водоотлива в режиме эффективного потребителя-регулятора*

Разработан способ определения вместимости водосборника главной водоотливной установки угольной шахты, который позволяет повысить эффективность регулирования режимов электропотребления. Получены зависимости удельного объема водосборника на 1 м^3 притока воды от количества и условий равномерности его ветвей. Обоснована целесообразность сооружения равных по объему ветвей по сравнению с неравными.

Ключевые слова: главный водоотлив, потребитель-регулятор, энергоэффективность, максимум нагрузки энергосистемы, водосборник, ветвь, приток воды, угольная шахта.

Контактная информация: 7169103@i.ua

Шахтный водоотлив – классический потребитель-регулятор (П-Р). Энергоэффективность его работы преимущественно сводится к определению режимов регулирования электропотребления для условий применения дифференцированного по периодам суток тарифа на электроэнергию. Однако на многих шахтах устройство главного водоотлива не позволяет полностью обеспечивать его энергоэффективную работу. Поэтому для повышения энергоэффективности главной водоотливной установки (ГВУ) необходимо создавать технологические условия, одно из которых – выбор целесообразной вместимости водосборника.

Вместимость водосборника на стадии проектирования определяют в соответствии с Правилами безопасности в угольных шахтах (ПБ) и Правилами технической эксплуатации угольных шахт (ПТЭ). Однако в этих документах нет единого подхода к определению его вместимости. Так, в соответствии с ПБ, действующими до 2010 г., вместимость водосборника ГВУ должна быть рассчитана не менее чем на 4-часовой максимальный приток воды (без учета заилиения). При этом для того же периода времени ПТЭ редакции 1975 г. [1] рекомендовали, чтобы вместимость водосборника ГВУ была рассчитана не менее чем на 8-часовой нормальный приток воды. В 2005 г. вышло новое издание ПТЭ [2], которое рекомендовало вместимость водосборника ГВУ, рассчитанную на 12-часовой нормальный приток. Из этого следует, что требования нормативных документов не согласованы.

В статьях [3, 4] показано, что требование к вместимости водосборника, приведенное в ПТЭ редакции 2005 г., не строго обосновано. Кроме того, сооружение водосборников, рассчитанных на 12-часовой приток, приводит к значительному увеличению единовременных капитальных затрат, создаются неблагоприятные условия во время проектирования и эксплуатации главного водоотлива. В процессе строительства водосборника такой большой вместимости необходимо учитывать количество ветвей, прочность породы, неравномерность их объема и другие факторы [3].

В 2010 г. вышло новое издание Правил [5], в которых рекомендовано вместимость водосборника ГВУ рассчитывать не менее чем на 8-часовой приток. При этом не указывается характер водопритока (нормальный или максимальный) и не учитывается степень заилиения водосборника. При нормальных условиях работы водоотливной установки водосборник, исходя из необходимости ремонта и чистки, должен иметь не менее двух выработок. Ввиду отсутствия единых требований и условий в нормативных документах использование шахтного водоотлива в качестве эффективного П-Р затруднительно.

Изменения, вносимые в последние издания ПБ и ПТЭ и направленные на улучшение технологических условий работы ГВУ, относятся к реконструируемым и строящимся шахтам, при этом реализация данных мероприятий в последние годы минимальна. Практически все шахты строили по Правилам [1] с ГВУ, рассчитанными на 4-часовой водоприток, следовательно, на большинстве действующих шахт вместимость водосборника не удовлетворяет требованиям ПТЭ редакции 2005 г. для угольных шахт, и ее рассчитывали без учета чистки одной из ветвей и заилиения водосборника.

Чистка ветвей водосборника – трудоемкий процесс, его выполняют, как правило, вручную (по ПТЭ – не менее одного раза в год перед весенними паводками, а также по мере заилиения), т. е. большую часть времени водосборники находятся в эксплуатации значительно заиленные, что не может не отразиться на их фактическом (регулируемом) объеме. Поэтому возникает задача эффективного определения необходимой вместимости водосборника и количества его ветвей, достаточных для отключения насосов в часы максимума нагрузок энергосистемы независимо от графика чистки.

Цель статьи – разработка способа определения вместимости водосборника главной водоотливной установки шахты для повышения энергоэффективности ее работы в режиме потребителя-регулятора. Достигнуть этого можно путем определения технологических условий, выполнение которых позволяет повысить энергоэффективность шахтного водоотлива в процессе регулирования режимов электропотребления. По данным измерений водопритока, которые на шахте должны выполняться не реже 2 раз в год, задают максимальный часовой приток воды $Q_{пр}$, м³/ч.

Согласно нормативным документам допустимый коэффициент заилиения водосборника $K_{з, доп}$ =

= 30 %. Процесс чистки – периодический и последовательный, т. е. ветви подвергаются чистке в порядке очереди, когда коэффициент заилиения для одной из них достигает допустимого значения (30 %). Например, при наличии трех ветвей одна находится в чистке и не участвует в процессе накопления воды, а заилиение других рабочих ветвей отвечает промежуточному уровню, поэтому устанавливается среднее значение коэффициента заилиения рабочих ветвей водосборника $K_з = 15$ %.

В соответствии с требованиями Национальной комиссии регулирования электроэнергетики суммарная длительность двух периодов максимальных (пиковых) нагрузок в энергосистеме не должна превышать 6 ч в суточном интервале, а распределение по часам для утреннего и вечернего максимумов в зависимости от времени года составляет соответственно 3 : 3 или 2 : 4. С учетом этого устанавливается наибольшая длительность одного периода максимума нагрузки в энергосистеме $t_{max} = 4$ ч.

Для того чтобы главный водоотлив мог выполнять функции эффективного П-Р, необходимы технологические условия, при которых регулируемый объем водосборника $V_{пер}$ за вычетом объема одной ветви, находящейся в чистке, был бы достаточным для аккумуляции 4-часового максимального притока воды (учитывая среднее заилиение рабочих ветвей), т. е.

$$V_{пер} = K_з t_{max} Q_{пр} = 1,15 \cdot 4 Q_{пр} = 4,6 Q_{пр}. \quad (1)$$

При этом, если ветвь, находящаяся в чистке, наибольшая по вместимости при неравных ветвях, то суммарная вместимость ветвей, которые остались в работе, должна отвечать условию

$$V_{в2} + V_{в3} + \dots + V_{вi} = \sum_{i=2}^{n_b} V_{вi} \geq 4,6 Q_{пр}, \quad (2)$$

где n_b – количество ветвей водосборника;

$V_{в2}, V_{в3}, \dots, V_{вi}$ – вместимости (объемы) ветвей, м³.

Принятое среднее значение коэффициента заилиения ($K_з = 15$ %) непосредственно влияет на вид условия (2). В этом случае вместимость водосборника прямо пропорциональна значению $K_з$. Например, если принять его равным 20 %, то условие (2) примет вид

$$\sum_{i=2}^{n_b} V_{вi} \geq 1,2 \cdot 4 Q_{пр} = 4,8 Q_{пр}. \quad (3)$$

Однако из опыта эксплуатации установлено, что при условии регулярной чистки среднее заилиение

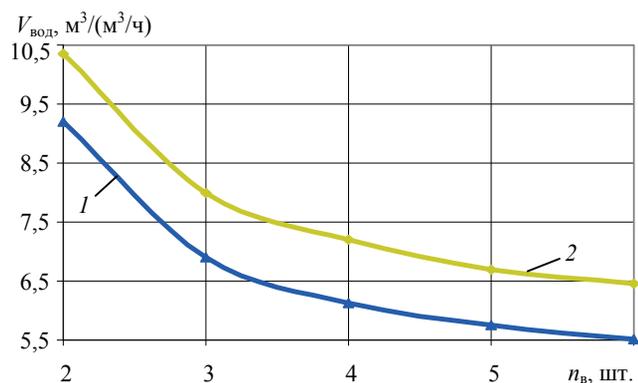


Рис. 1. Зависимость удельного объема водосборника $V_{вод}$ от количества ветвей $n_{в}$ при равных (кривая 1) и неравных (кривая 2) по вместимости ветвях.

рабочих ветвей водосборника составляет 15 %, поэтому в дальнейшем используем условие (2).

Анализ объемов ветвей действующих ГВУ шахт, а также изучение многих планов горных выработок, которые относятся к водоотливу, показали, что вместимость каждой следующей ветви водосборника увеличивается в среднем на 25–35 %, за редким исключением на 40 % и больше.

Например, водосборник включает: шахта «Красноармейская-Западная» (горизонт 708 м) – две ветви вместимостью 1900 и 1400 м³ (разница составляет 35,7 %); шахта «Благodatная» (горизонт 210 м) – две ветви вместимостью 900 и 640 м³ (разница составляет 40,6 %); шахта «Самарская» (горизонт 300 м) – три ветви – одна вместимостью 1200 и две по 900 м³ (разница объемов 1-й и 2-й, а также 1-й и 3-й ветвей составляет 33,3 %); шахта «Днепровская» (горизонт 265 м) две ветви вместимостью 1900 и 1100 м³ (разница 72,7 %); шахта им. Н. И. Сташкова (горизонт 225 м) – две ветви вме-

стимостью 2000 и 950 м³ (разница составляет 110,5 %) и т. д.

Результат подобной существенной разницы вместимостей ветвей (при $n_{в} = 2$) – невозможность регулирования электропотребления во время чистки большей ветви, т. е. нельзя использовать такие ГВУ в качестве эффективных потребителей-регуляторов. Подобную проблему можно решить путем построения равных по вместимости ветвей, что дает возможность регулировать электропотребление независимо от графика чистки водосборника. С учетом этого и условия (2) зададим удельные (на 1 м³ притока воды в час) объемы водосборника $V_{вод}$ и его ветвей $V_{в}$ в зависимости от их количества $n_{в}$ (таблица).

Количество ветвей водосборника и критерий равенства или неравенства их объемов определяют исходя из имеющихся конструктивных условий устройства водосборника на конкретном предприятии, а именно: технических возможностей и горно-геологических условий строительства, соответствия технологической схемы водосборника плану околоствольного двора, производственной необходимости, экономической целесообразности и т. п.

На основании указанного и анализа вместимостей ветвей действующих главных водоотливных установок шахт неравенство ветвей водосборника (см. таблицу) можно определить так:

$$V_{vi+1} = V_{vi} \cdot K_{н.в} \quad (4)$$

где V_{vi} и V_{vi+1} – удельные объемы ветвей водосборника при их неравенстве;

$K_{н.в}$ – коэффициент неравномерности (принимается в пределах 1,25–1,35).

Принимая во внимание современное конструктивное устройство водосборника с учетом выполнения условий соединения горных выработок, его ветви почти всегда неравны по вместимости, а количество не может быть меньше двух (самые распространенные – две и три ветви).

Установлено, что удельный объем водосборника, т. е. необходимый объем подземных строительных работ, меньше для равных по вместимости ветвей и для большего их количества, что подтверждают данные таблицы и рис. 1. Так, для трех неравных по вместимости ветвей водосборника его удельный объем должен составлять 8 м³/(м³/ч), и только 6,9 м³/(м³/ч) – для равных. Разница удельного объема 1,1 м³/(м³/ч), что может существенно повлиять на капитальные затраты при сооружении водосборника на шахте с большим притоком воды.

Количество ветвей водосборника $n_{в}$	Равные по удельному объему ветви, м ³ /(м ³ /ч)		Неравные по удельному объему ветви, м ³ /(м ³ /ч)		$\Delta V_{вод}$, м ³ /(м ³ /ч)
	$V_{вод}$	$V_{в}$	$V_{вод}$	$V_{в}$	
2	9,2	2×4,6	10,35	5,75; 4,6	1,15
3	6,9	3×2,3	8,0	3,4; 2,6; 2,0	1,10
4	6,13	4×1,53	7,2	2,6; 2,0; 1,5; 1,1	1,07
5	5,75	5×1,15	6,7	2,1; 1,6; 1,3; 0,95; 0,75	0,95
6	5,52	6×0,92	6,45	1,85; 1,5; 1,1; 0,85; 0,65; 0,5	0,93

Кроме того, на период чистки не самой большой ветви, при неравенстве ветвей, вместимость водосборника будет избыточной. Например, при выведении в чистку третьей ветви с удельным объемом $2 \text{ м}^3/(\text{м}^3/\text{ч})$ для водосборника из трех неравных ветвей суммарный объем двух рабочих будет $3,4 + 2,6 = 6 \text{ м}^3/(\text{м}^3/\text{ч})$, что значительно больше необходимого по условию (2) значения $4,6 \text{ м}^3/(\text{м}^3/\text{ч})$.

Установлено, что увеличение количества ветвей (свыше пяти) вызывает незначительное снижение удельного объема водосборника (см. таблицу). Например, для водосборника из двух и трех равных ветвей разница между удельными объемами $9,2 - 6,9 = 2,3 \text{ м}^3/(\text{м}^3/\text{ч})$, а при пяти и шести равных ветвях $5,75 - 5,52 = 0,23 \text{ м}^3/(\text{м}^3/\text{ч})$. Отметим, что количество ветвей водосборника (более пяти) значительно осложняет его строительство и технологическую схему. Это подтверждает опыт проектирования, сооружения и эксплуатации главных водоотливных установок шахт.

Такой подход позволит полностью исключить работу насосов в периоды пиковых нагрузок в энергосистеме в течение всего года при любом режиме чистки ветвей водосборника при их среднем заилении на уровне 15 %.

С учетом удельных объемов определяем вместимость водосборника:

$$V_{\text{всб}} = V_{\text{вод}} Q_{\text{пр}}, \quad (5)$$

а соотношение удельных объемов его ветвей

$$\begin{aligned} V_{\text{всб}1} \geq V_{\text{всб}2} \geq \dots \geq V_{\text{всб}n_{\text{в}}} = \\ = V_{\text{в}1} Q_{\text{пр}} \geq V_{\text{в}2} Q_{\text{пр}} \geq \dots \geq V_{\text{в}n_{\text{в}}} Q_{\text{пр}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Способ определения вместимости водосборника главной водоотливной установки шахты [6] обеспечивает возможность управления режимами электропотребления ГВУ с полным исключением работы насосов главного водоотлива в периоды пиковых нагрузок в энергосистеме в течение года независимо от режима чистки ветвей водосборника. Это дает возможность снизить расходы на оплату потребляемой насосами электроэнергии

(до 15–20 %). Кроме этого, приведенные условия обеспечивают уменьшение (до 15 %) объема подземных строительных работ на сооружение водосборника. Эти преимущества достигаются при условии строгого соблюдения требований действующих нормативных документов относительно процесса откачивания воды из подземных горных выработок.

Выводы. Технологические условия работы главной водоотливной установки шахты обеспечивают улучшение ее функций как потребителя-регулятора электрических нагрузок за счет снижения потребляемой электроэнергии насосами главного водоотлива в периоды пиковых нагрузок в энергосистеме и расходов на ее оплату, а также сокращение подземных строительных работ во время сооружения водосборника в случае строгого соблюдения требований действующих нормативных документов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Правила* технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт: НАОП 1.1.30-1.05-75. – М.: Минуглепром СССР, 1975. – 303 с.
2. *Правила* технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт: СОУ 10.1-00185790-002-2005. – К.: Минуглепром Украины, 2006. – 353 с.
3. *Разумний Ю. Т.* Визначення ємності водозбірника головного водовідливу / Ю. Т. Разумний, А. В. Рухлов, К. С. Родна // Уголь Украины. – 2010. – № 4. – С. 31–32.
4. *Наннес Ю. В.* О требованиях по шахтному водоотливу новых ПТЭ и подготавливаемых ПБ / Ю. В. Наннес, В. Н. Недолужко, С. А. Федор // Уголь Украины. – 2008. – № 5. – С. 15–17.
5. *Правила* безопасности в угольных шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10. – К.: Госгорпромнадзор Украины, 2010. – 432 с.
6. *Пат.* 82512 Україна, МПК Е 02 D 19/00. Спосіб визначення об'єму водозбірника головної водовідливної установки шахти / Разумний Ю. Т., Рухлов А. В., Рухлова Н. Ю.; заявник і патентовласник Національний гірничий університет. – № у 2013 00039; заявл. 02.01.13; опубл. 12.08.13, Бюл. № 15.