

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ГЛАВНОГО ВОДООТЛИВА УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Н.Ю. Рухлова, Национальный горный университет, Украина

Обоснована актуальность использования главной водоотливной установки (ГВУ) угольной шахты в качестве эффективного потребителя-регулятора (П-Р). Определены технологические условия, выполнение которых позволяет повысить энергоэффективность шахтного водоотлива в процессе регулирования режимов электропотребления. Выполнен анализ технологических параметров действующих главных водоотливных установок.

Повышение энергоэффективности работы главного водоотлива угольных шахт как потребителя-регулятора потребляемой мощности из энергосистемы достигается за счет регулирования режимов электропотребления (РРЭ), под которым следует понимать комплекс организационно-технических мероприятий, обеспечивающих регламентированный энергоснабжающей организацией режим электропотребления. Однако при этом не рассматриваются технологические условия, позволяющие повысить энергоэффективность работы главного водоотлива шахты. Нередко РРЭ сводится к самым простым мероприятиям (перестановке или замене оборудования, увеличении сечения кабелей и т.п.), тогда как большие резервы эффективного использования электроэнергии, оптимизация режимов ее потребления остаются не использованными. Следовательно, для повышения энергоэффективности ГВУ необходимо выполнить технологические и организационные условия, одним из которых является выбор целесообразного объема водосборника.

Участие главного водоотлива в регулировании режима электропотребления должно быть экономически выгодным как потребителю (шахте), так и производителю (энергосистеме) электроэнергии, что достигается при условии использования дифференцированного по периодам суток тарифа на электроэнергию. Данный подход к способу оплаты за электроэнергию стимулирует предприятие (шахту) ограничивать электропотребление в периоды максимума нагрузок энергосистемы. Исходя из этого, экономический эффект от регулирования режимов работы водоотлива, включающее отключение насосов в периоды пика и интенсивную откачку воды в часы ночного провала энергосистемы, должен быть существенным. Но для реализации таких режимов работы необходимо создать условия, при которых шахтная водоотливная установка будет работать в зоне максимального КПД и с минимальными удельными расходами электроэнергии. В процессе регулирования режимов электропотребления объем водосборника должен быть достаточным для существующего притока воды.

Объем водосборника на стадии проектирования определяется в соответствии с нормативными документами, такими как Правила безопасности в угольных шахтах (ПБ) и Правила технической эксплуатации угольных шахт (ПТЭ). Однако даже между этими документами нет единого подхода при определении емкости водосборника. Так, например, в соответствии с ПБ, действующими до 2010 года, емкость водосборника ГВУ должна составлять не менее 4-часового максимального притока воды (без учета заилиения). При этом, для того же периода времени ПТЭ редакции 1975 г. (НАОП 1.1.30-1.05.75) рекомендовали определять емкость водосборника ГВУ равной не менее 8-часового нормального притока. В 2005 году выходит новое издание ПТЭ (СОУ 10.1-00185790-002-2005), которое рекомендует уже определять емкость водосборника ГВУ равной не менее 12-часового нормального притока. Из приведенного следует, что в требованиях нормативных документов имеется несогласованность.

В работе [1, 2] показано, что условие, приведенное в ПТЭ редакции 2005 г., не есть строго обоснованным. С экономической точки зрения, сооружение водосборников на 12-часовой приток приводит к значительному увеличению единовременных капитальных затрат. Кроме того, создаются неблагоприятные условия во время проектирования и эксплуатации главного водоотлива. Строительство водосборника такого большого объема не является простой технической задачей.

Необходимо учитывать количество ветвей, прочность породы, неравномерность объема ветвей и многие другие факторы. Также в работе [1] показано, что удельная емкость водосборника зависит не только от количества ветвей водосборника, но и от их неравномерности.

В 2010 году выходит новое издание ПБ (НПАОП 10.0-1.01-10), которое рекомендует определять емкость водосборника ГВУ равной не менее 8-часового притока. При этом не указывается о характере водопритока (нормальный или максимальный) и об учете степени заиливания водосборника. При нормальных условиях работы водоотливной установки исходя из необходимости ремонта и чистки водосборника, он должен иметь не менее двух выработок. Следовательно, требования нормативных документов не позволяют использовать шахтный водоотлив в качестве эффективного П-Р.

Изменения, вносимые в последние издания ПБ и ПТЭ и направленные на улучшение технологических условий работы ГВУ, относятся к реконструируемым и строящимся шахтам, при этом интенсивность данных мероприятий в последние годы минимальна. Практически все шахты строились по ПБ 1975 г. с ГВУ рассчитанными на 4-часовой водоприток, следовательно на большинстве действующих шахт емкость водосборника не удовлетворяет требованиям новых ПТЭ редакции 2005 г. для угольных шахт, и рассчитывалась без учета чистки одной из ветвей и заиливания водосборника. Чистка ветвей водосборника является трудоемким процессом и выполняется, как правило, вручную, (по ПТЭ – не менее одного раза в год перед весенними паводками, а также по мере заиливания), следовательно, большую часть времени водосборники находятся в эксплуатации со значительной степенью заиливания, что не может не отразиться на фактическом (регулируемом) их объеме. Поэтому возникает задача определения необходимой емкости водосборника и количества его ветвей, достаточных для отключения насосов в часы максимума нагрузок энергосистемы.

Для выполнения водоотливом функций П-Р необходимо создать технологические условия, при которых объем одной или нескольких ветвей, за вычетом объема одной ветви, находящейся в чистке, был бы достаточным V_{∂} для 4-часового максимального притока воды, поскольку наибольшая длительность одного периода максимума нагрузки в энергосистеме составляет 4 часа:

$$V_{\partial} = K_3 t_m Q_{\max}, \text{ м}^3, \quad (1)$$

где: $K_3 = 1,15$ – среднее значение заиливания ветви водосборника от максимально допустимого, равного 30%; $t_m = 4$ ч – наибольшая длительность одного периода прохождения максимума нагрузки в энергосистеме; Q_{\max} – максимальное значение часового шахтного притока воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Процесс чистки водосборника является периодическим и последовательным, т. е. ветви выводятся в чистку по очереди при достижении одной из них уровня заиливания равного 30%, следовательно, степень заиливания оставшихся в работе веток соответствует средним (промежуточным) значениям. На основании этого в выражении (1) принимаем среднее значение уровня заиливания, равное 15%.

При условии, когда объемы ветвей n_g равны, выражение (1) приобретает вид, позволяющий определить объем всего водосборника:

$$V_{\text{вод}} = \frac{n_g}{n_g - 1} K_3 t_m Q_{\max} = \frac{n_g}{n_g - 1} 4,6 Q_{\max}. \quad (2)$$

Если максимальное значение водопритока принять условным $Q_{\max} = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$, то зависимость (2) примет упрощенный вид:

$$V_{\text{вод}} = 4,6 \frac{n_g}{n_g - 1}. \quad (3)$$

Количество ветвей n_g водосборника и критерий равенства или неравенства их объемов принимают исходя из имеющихся конструктивных условий устройства водосборника на конкретной шахте, а именно: технических возможностей и горногеологических условий строительства, соответствия технологической схемы водосборника плану околоствольного двора, производственной необходимости, экономической целесообразности и т. п.

При современном конструктивном устройстве водосборника с учетом выполнения условий соединения горных выработок, его ветви по объему редко бывают равными. Это обстоятельство создает своеобразные особенности при выполнении минимизации необходимого для регулирования режимов электропотребления объема водосборника при условии использования водоотлива в качестве эффективного П-Р. К таким особенностям следует отнести тот факт, что величины объемов ветвей водосборника V_{ei} описываются неравенством, обладающим свойством транзитивности:

$$V_{e1} > V_{e2} > \dots > V_{ei}. \quad (4)$$

При этом, если наибольшая по объему ветвь V_{e1} находится в чистке, то суммарный объем всех ветвей, оставшихся в работе по аккумулярованию воды, должен отвечать условию:

$$V_{e2} + V_{e3} + \dots + V_{ei} = \sum_{i=2}^{n_g} V_i \geq 4,6Q_{\max}. \quad (5)$$

Анализ объемов ветвей действующих ГВУ, а также изучение различных планов размещения горных выработок, которые относятся к водоотливу, показали, что каждая последующая ветвь водосборника увеличивается в среднем на 25-35%, за редким исключением на 40% и более (табл. 1). Подобные существенные различия объемов ветвей (при $n_g = 2$) приводят к невозможности осуществления регулирования электропотребления в период чистки большей ветви, т. е. не позволяет использовать такие ГВУ в качестве эффективных П-Р. Подобную проблему можно решить путем построения равных по объему ветвей, что в свою очередь приведет к возможности осуществления регулирования электропотребления независимо от графика чистки водосборника.

Таблица 1

Параметры некоторых ГВУ действующих шахт

Наименование шахты	Приток воды, м ³ /ч		Количество ветвей водосборника, шт.	Объем ветвей водосборника, м ³	Разница объемов ветвей, %
	нормальный	максимальный			
Красноармейская-Западная (гор. 708 м)	250	340	2	1900; 1400	35,7
Благодатная (гор. 210 м)	300	350	2	900; 640	40,6
Днепровская (гор. 265 м)	400	500	2	1900; 1100	72,7
им. Н.И. Сташкова (гор. 225 м)	900	1100	2	2000; 900	122,2

С учетом неравенства (4) и условия (5) получены удельные объемы равных и неравных ветвей и в целом водосборника, которые представлены в таблице 2.

При существующем конструктивном устройстве водосборника с учетом выполнения условий сопряжения и взаимного расположения горных выработок, его ветви редко бывают равными по объему, а их количество по ПБ и ПТЭ не может быть меньшим двух (самые распространенные значения 2 и 3). Однако установлено, что удельный объем водосборника, т. е. необходимый объем подземных строительных работ, меньше для равных по объему ветвей и большего их количества. Это подтверждают данные в табл. 2 и кривые, приведенные на рис. 1. Например, при трех ветвях водосборника его удельный объем должен составлять 8,0 м³/(м³/ч) для неравных по объему ветвей и только 6,9 м³/(м³/ч) для равных. Разница удельных объемов $\Delta v_{вод}$ составляет 1,1 м³/(м³/ч), что существенно отобразится на капитальных затратах при сооружении водосборника на шахте с большим притоком воды. Кроме того, на период чистки не наибольшей ветви при их неравном объеме появляется нежелательный избыточный объем водосборника. Например, при выведении в чистку третьей ветви с удельным объемом 2,0 м³/(м³/ч) для водосборника из трех неравных ветвей, суммарный объем двух рабочих ветвей будет составлять 3,4 + 2,6 = 6,0, что значительно больше

необходимых по условию (5) $4,6 \text{ м}^3/(\text{м}^3/\text{ч})$.

Таблица 2

Зависимость удельного объема водосборника $v_{вод}$ от количества его ветвей $n_{в}$

Количество ветвей водосборника $n_{в}$, шт	Удельные объемы водосборника $v_{вод}$ и его ветвей $v_{в}$, $\text{м}^3/(\text{м}^3/\text{ч})$, при условии				Разница удельных объемов $\Delta v_{вод}$, $\text{м}^3/(\text{м}^3/\text{ч})$
	равных по объему ветвей		неравных по объему ветвей		
	$v_{вод}$	$v_{в}$	$v_{вод}$	$v_{в}$	
2	9,2	$2 \times 4,6$	10,35	5,75; 4,6	1,15
3	6,9	$3 \times 2,3$	8,0	3,4; 2,6; 2,0	1,1
4	6,13	$4 \times 1,53$	7,2	2,6; 2,0; 1,5; 1,1	1,07
5	5,75	$5 \times 1,15$	6,7	2,1; 1,6; 1,3; 0,95; 0,75	0,95
6	5,52	$6 \times 0,92$	6,45	1,85; 1,5; 1,1; 0,85; 0,65; 0,5	0,93

На основании данных табл. 2 на рис. 1 показаны кривые изменения удельных объемов водосборника от количества ветвей, а на рис. 2 приведено распределение относительных объемов ветвей по режимам работы водоотлива, которое удовлетворяет условию (5).

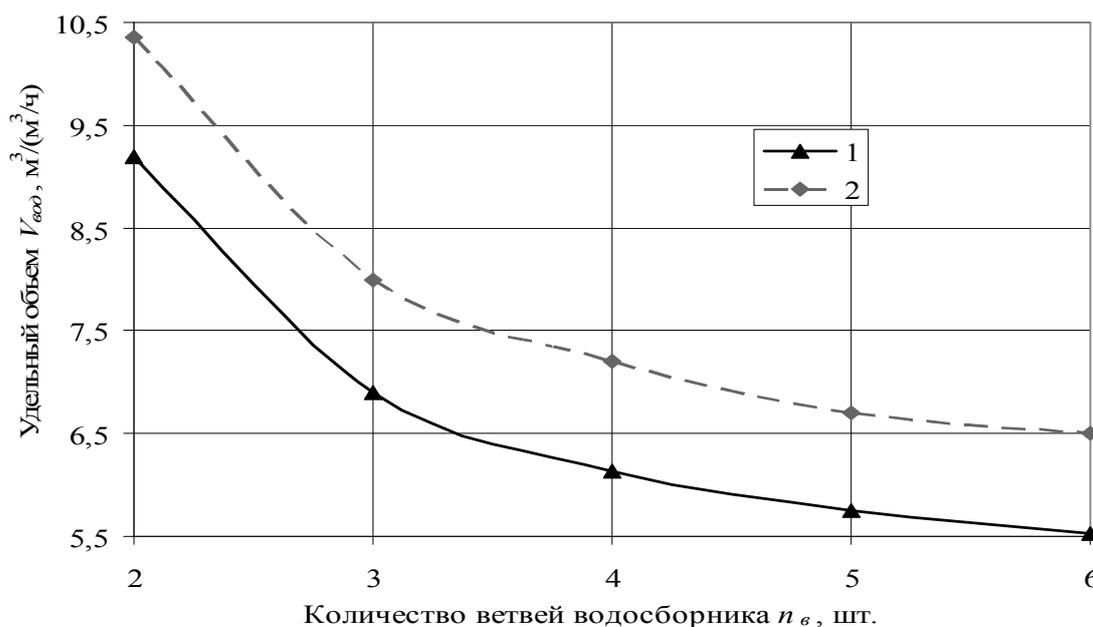


Рис. 1. Зависимость удельного объема водосборника $v_{вод}$ от количества ветвей $n_{в}$ водоотлива при равных (кривая 1) и неравных (кривая 2) по емкости ветвях

На рис. 2 сплошные линии 1 и 1' соответствуют варианту использования равных по объему ветвей при выводе одной из имеющихся в чистку. Возрастающая кривая 1 отображает объем водосборника предназначенный для аккумуляции воды в зависимости от количества ветвей (см. данные табл. 2), а убывающая кривая 1' – объем ветви находящейся в чистке. Пунктирные линии 2 и 2' соответствуют варианту использования неравных по объему ветвей при выводе наибольшей (V_{max}) из имеющихся в чистку, а пунктирные линии 3 и 3' соответствуют варианту использования неравных по объему ветвей при выводе наименьшей (V_{min}) из имеющихся в чистку.

Анализируя зависимости, представленные на рис. 1 и рис. 2, а также данные табл. 2, можно определить, что при равных по объему ветвях водосборника необходимая его емкость $V_{вод}$ меньше на величину от 1,15 до 0,93 м^3 на $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ притока воды по сравнению с неравными. Кроме этого, при неравных по емкости ветвях водосборника, когда в чистке находится большая ветвь, сумма

объемов ветвей, оставшихся в работе (при $n_e = 3$ и более), по условию (5) равняется $4,6Q$. При чистке не самой большой ветви ($V_i < V_{\max}$) сумма емкостей оставшихся превышает значение $4,6Q$ (кривая 3, рис. 2). Это обстоятельство свидетельствует о наличии в этом случае избыточного объема (от 0,5 до 1,5 м³ на 1 м³/ч притока воды) горных работ по устройству водосборника главного водоотлива для условия неравномерности его ветвей по объему.

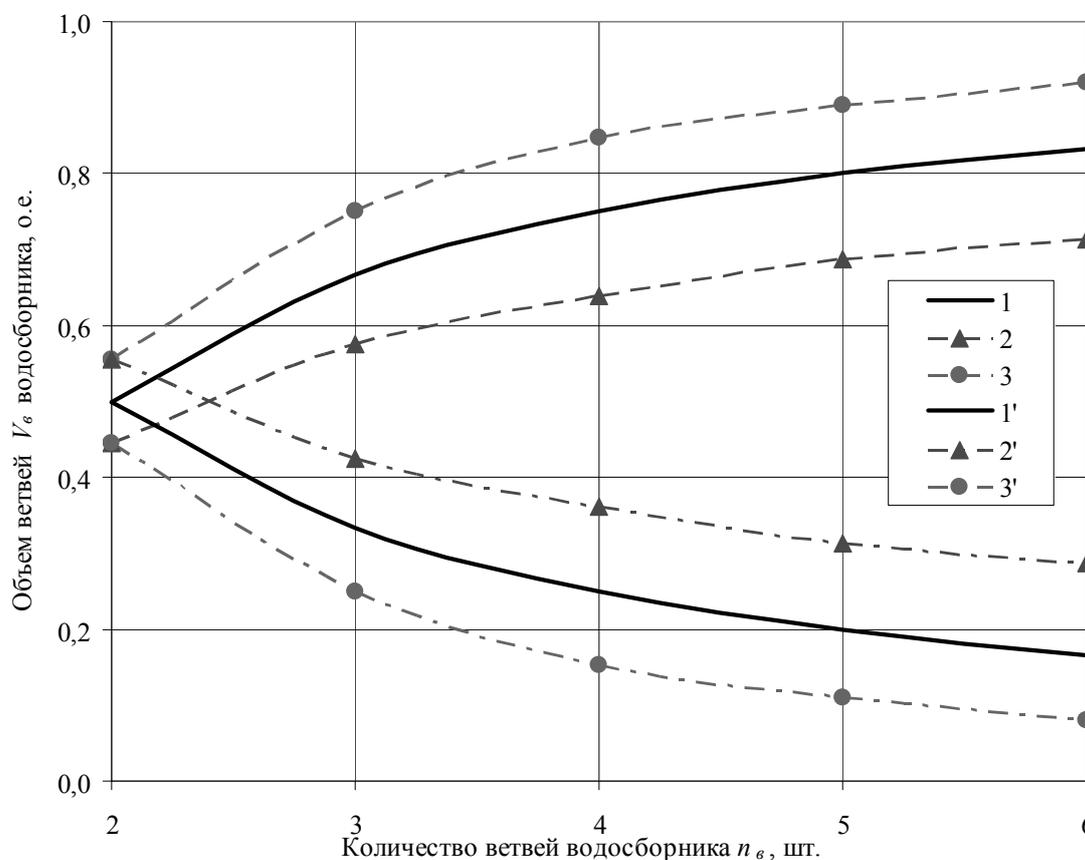


Рис. 2. Зависимость относительного объема ветвей от их количества: возрастающие кривые 1, 2, 3 относятся к объему аккумуляции воды, убывающие 1', 2', 3' – к объему, находящемуся в чистке, соответственно объему ветвей $V_{e2} > V_{e3}$; сплошные и пунктирные линии соответственно для равных и неравных по емкости ветвей

Указанный избыточный объем горных работ может быть экономически оправдан при отключении насосов в полупиковый режим. При отсутствии прибыли от этого режима следует устраивать водосборник с равными по объему ветвями.

Выводы. Предложенный способ определения объема водосборника главного водоотлива угольных шахт обеспечивает возможность управления режимами электропотребления путем отключения насосов в часы максимума нагрузки энергосистемы на протяжении всего года не зависимо от режима чистки ветвей водосборника, что позволит более эффективно использовать ГВУ в качестве потребителя-регулятора. Применение, при возможности, равномерных по объему ветвей, а также учет их количества позволит использовать главную водоотливную установку в качестве эффективного П-Р не зависимо от режима чистки его ветвей, а также уменьшить объем строительных работ. Кроме того, все эти преимущества достигаются при условии строгого соблюдения требований действующих нормативных документов относительно технологического процесса откачивания воды из подземных горных выработок.

Список литературы

1. Разумний Ю.Т. Визначення ємності водозбірника головного водовідливу / Ю.Т. Разумний, А.В. Рухлов, К.С. Родна // Уголь Украины. – 2010. – № 4. – С. 31–32.
2. 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.