

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ

УДК 622.272:621.3.07

Ю.Т. Разумный, д-р техн. наук, проф.,
Н.Ю. Рухлова,
А.В. Рухлов, канд. техн. наук, доц.

Государственное высшее учебное заведение „Националь-
ный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина,
e-mail: 7169103@i.ua

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГЛАВНОЙ ВОДООТЛИВНОЙ УСТАНОВКИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Yu.T. Razumny, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
N.Yu. Rukhlova,
A.V. Rukhlov, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

State Higher Educational Institution “National Mining Univer-
sity”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: 7169103@i.ua

IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF THE MAIN DEWATERING PLANT OF A COAL MINE

Цель. Разработка метода определения объема водосборника главной водоотливной установки угольной шахты для повышения энергоэффективности ее работы.

Методика. Для получения научных и практических результатов использованы методы исследования операций и анализа технологических процессов.

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

Научная новизна. Разработан метод определения объема 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 условия равномерности его ветвей.

Практическая значимость. Установлено, что увеличение количества ветвей водосборника свыше пяти вызывает несущественное снижение его удельного объема при значительном усложнении технологической схемы и процесса сооружения. Обоснована целесообразность сооружения равных по объему ветвей по сравнению с неравными, что позволяет снизить необходимый для целей регулирования режимов электропотребления объем водосборника в среднем на 10–15%.

Ключевые слова: *главная водоотливная установка, потребитель-регулятор, электропотребление, энергоэффективность, максимум нагрузки энергосистемы, водосборник, приток воды, угольная шахта*

Введение. Главный водоотлив угольных шахт, которые имеют значительный приток воды, является достаточно энергоемким потребителем, что позволяет использовать его в процессе регулирования режимов электропотребления предприятия. Однако, режимы работы существующих главных водоотливных установок (ГВУ) не для всех условий имеют возможность использования их в качестве эффективного потребителя-регулятора. Согласно ГОСТ 19431-84 „Энергетика и электрификация“, потребитель-регулятор (П-Р) – это потребитель электрической энергии или тепла, режим работы которого предусматривает возможность ограничения электропотребления или теплопотребления в часы максимума для выравнивания графика нагрузки

энергетической системы или электростанции и увеличения нагрузки в часы минимума.

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. Тариф предусматривает установление периодов времени, в пределах которых действуют тарифные коэффициенты, влияющих на стоимость электроэнергии в эти периоды. Данный подход к способу оплаты за электроэнергию стимулирует предприятие (шахту) ограничивать электропотребление в периоды максимума нагрузок энергосистемы. В периоды ночного провала, полупика и пика плата за потребленную электроэнергию осуществляется с тарифным коэффициентом – 0,35; 1,02 и 1,68 соответ-

ственно. 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.

Притоки воды в шахту с годами эксплуатации, а также в течение каждого года, являются переменными, иногда со значительным диапазоном изменений [1]. Такие изменения носят медленный характер в течение всего периода эксплуатации шахты с наложением сезонных повышений притока, вызванных весенне-осенними паводками и дождями. Интервал времени, на котором возможно найти значительные изменения притока воды в шахту, значительно больше интервала времени, в пределах которого осуществляется суточный режим электропотребления. Поэтому на рассматриваемом интервале времени с достаточной точностью принимается, что суточный водоприток имеет незначительные флуктуации.

На сегодняшний день определение энергоэффективности шахтного водоотлива сводилось, преимущественно, к определению режимов регулирования электропотребления [1]. Однако при этом не рассматривались технологические условия, позволяющие повысить энергоэффективность работы главного водоотлива шахты. Следовательно, для повышения энергоэффективности ГВУ необходимо выполнить технологические и организационные условия, одним из которых является выбор целесообразного объема водосборника.

Цель работы – разработка метода определения объема водосборника главной водоотливной установки шахты для повышения энергоэффективности ее работы в режиме потребителя-регулятора.

Изложение основного материала. 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 заиливания). 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 видно, что несогласованность в рекомендациях

нормативных документов, которые должны дополнять друг друга, несомненно, присутствует.

В работе [2] показано, что условие, приведенное в ПТЭ редакции 2006 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. Следовательно, 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 [2] показано, что удельная емкость водосборника зависит не только от количества ветвей водосборника, но и от их неравномерности.

В результате предложений, рассмотренных в работах [2,3], в 2010 году выходит новое издание ПБ (НПАОП 10.0-1.01-10), которое рекомендует уже определять емкость водосборника ГВУ, равной не менее 8-часового притока. При этом уже ничего не говорится 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 дают возможности использовать шахтный водоотлив в качестве эффективного П-Р.

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 проблема определения необходимой емкости водосборника и количества его ветвей, достаточных для отключения насосов в часы максимума нагрузок энергосистемы.

В соответствии с требованиями Национальной комиссии регулирования электроэнергетики, суммарная длительность двух периодов максимальных (пиковых) нагрузок в энергосистеме не должна превышать 6 часов на 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 $t_m = 4$ часа.

Для выполнения водоотливом функций потребителя-регулятора необходимо создать технологические условия, при которых объем одной или нескольких ветвей, за вычетом объема одной ветви, находя-

щейся в чистке, был бы достаточным V_{∂} для 4-часового максимального притока воды, м^3

$$V_{\partial} = K_3 t_M Q_{\max}, \quad (1)$$

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, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Поскольку 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_e равны, выражение (1) приобретает вид, позволяющий определить объем всего водосборника

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

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

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

Таким образом, необходимый объем водосборника зависит от множителя $K_V = \frac{n_e}{n_e - 1}$. Характер изменения множителя K_V от количества ветвей водосборника n_e представлен на рис. 1.



Рис. 1. Зависимость множителя K_V от количества ветвей n_e водосборника

С учетом зависимости (2) и характера изменения множителя K_V , по рис. 1 можно утверждать, что необходимый для регулирования режимов электропотребления объем водосборника, при равном значении объемов его ветвей, уменьшается с устройством 3-х ветвей по сравнению с 2-мя на 33%, а с 3-х на 4-и

ветви на 12,56%, и так далее на 6,6% и 4,2% соответственно. Конечно, увеличение количества ветвей снижает необходимый объем водосборника при стремлении к $n_e = 5$, особенно это наблюдается при $n_e = 3$ и 4. Последующее увеличение количества ветвей предоставляет незначительное снижение необходимого объема водосборника и значительно усложняет его строительство.

Количество ветвей водосборника и критерий равенства или неравенства их объемов принимают исходя из имеющихся конструктивных условий устройства водосборника на конкретной шахте, а именно: технических возможностей и горно-геологических 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 потребителя-регулятора. 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

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

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. Например, на шахте „Красноармейская-Западная“ (гор. 708 м) водосборник состоит из двух ветвей объемом 1900 и 1400 м^3 соответственно (разница объемов ветвей составляет 35,7%), на шахте „Благodatная“ (гор. 210 м) водосборник состоит из двух ветвей объемом 900 и 640 м^3 соответственно (разница объемов ветвей составляет 40,6%), на шахте „Самарская“ (гор. 300 м) водосборник состоит из трех ветвей объемом 1200, 900 и 900 м^3 соответственно (разница объемов 1-й и 2-й, а также 1-й и 3-й ветвей составляет 33,3%), на шахте „Днепровская“ (гор. 265 м) водосборник состоит из двух ветвей объемом 1900 и 1100 м^3 соответственно (разница объемов ветвей составляет 72,7%), а на шахте „И.М.И. Сташкова“ (гор. 225 м) водосборник состоит из двух ветвей объемом 2000 и 900 м^3 соответственно (разница объемов ветвей

составляет 122,2%) и т. д. Подобные существенные разницы 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.

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

Таблица

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

Количество ветвей водосборника, n_g , шт	Удельные объемы водосборника $v_{вод}$ и его ветвей v_g , $м^3/(м^3/ч)$, при условии				
	равных по объему ветвей		неравных по объему ветвей		$\Delta v_{вод}$, $м^3/(м^3/ч)$
	$v_{вод}$	v_g	$v_{вод}$	v_g	
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	1,1
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

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 таблице и кривые, приведенные на рис. 2. Например, при трех ветвях водосборника его удельный объем должен составлять $8,0 м^3/(м^3/ч)$ для неравных по объему ветвей и только $6,9 м^3/(м^3/ч)$ для равных. Разница удельного объема $\Delta v_{вод}$ составляет $1,1 м^3/(м^3/ч)$, 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 $2,0 м^3/(м^3/ч)$, 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) $4,6 м^3/(м^3/ч)$.

Как видно из таблицы, увеличение количества ветвей свыше 5-ти вызывает незначительное снижение удельного объема водосборника. Например, разница между этими величинами для водосборника из двух и трех равных ветвей составляет $9,2 - 6,9 = 2,3 м^3/(м^3/ч)$, а при пяти и шести равных ветвях лишь $5,75 - 5,52 =$

$0,23 м^3/(м^3/ч)$. Одновременно количество ветвей водосборника более 5-ти значительно усложняет его строительство и технологическую схему, что подтверждается имеющимся опытом проектирования, сооружения и эксплуатации ГВУ.

На основании данных таблицы, на рис. 2 показаны кривые изменения удельных объемов водосборника от количества ветвей, а на рис. 3 приведено распределение относительных объемов ветвей по режимам работы водоотлива, которое удовлетворяет условию (5).

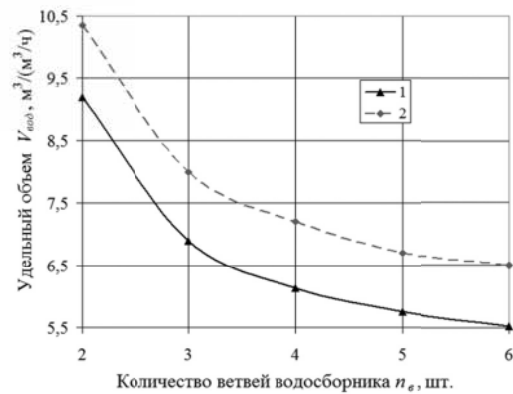


Рис. 2. Зависимость удельного объема водосборника $v_{вод}$ от количества ветвей n_g водоотлива при равных (кривая 1) и неравных (кривая 2) по емкости ветвях

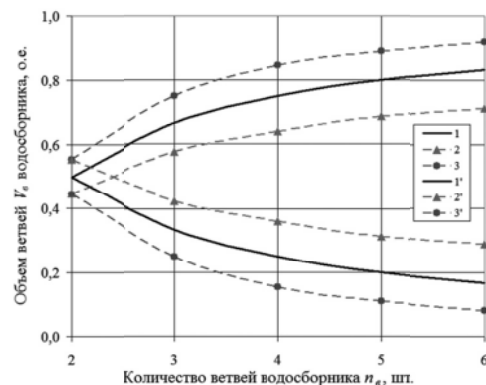


Рис. 3. Зависимость относительного объема ветвей от их количества: возрастающие кривые 1, 2, 3 относятся к объему аккумуляции воды; убывающие 1', 2', 3' – к объему, находящемуся в чистке, соответственно, объему ветвей $V_{g2} > V_{g3}$; сплошные и пунктирные линии, соответственно, для равных и неравных по емкости ветвей

На рис. 3 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 (таблица), 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. 2 и 3, а также данные таблицы, можно определить, что, при равных по объему ветвях водосборника, необходимая его емкость $V_{\text{вод}}$ меньше на величину от 1,15 до 0,93 м³ на 1 м³/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. 3). 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.

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. Разработанный метод определения объема водосборника главного водоотлива угольных шахт обеспечивает возможность управления режимами электропотребления путем отключения насосов в часы максимума нагрузки энергосистемы на протяжении всего года независимо от режима чистки ветвей водосборника, что позволит более эффективно использовать ГВУ в качестве потребителя-регулятора.

Неравномерность объемов ветвей большинства существующих водосборников становится причиной либо невозможности использования водоотлива в качестве потребителя-регулятора (при выведении в чистку большей по объему ветви и недостаточном регулировочном объеме), либо избыточного регулировочного объема, а, соответственно, и излишнего объема строительных подземных работ на сооружение водосборника. Применение, при возможности, равномерных по объему ветвей позволит использовать главную водоотливную установку в качестве потребителя-регулятора независимо от режима чистки его ветвей, а также уменьшить объем строительных работ. Повысит эффективность работы ГВУ в качестве П-Р возможно также, учитывая количество ветвей, которое непосредственно влияет на удельный объем водосборника и, как следствие, на 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 / References

1. Энергоэффективность комплекса шахтного водоотлива / Г.Г. Пивняк, А.С. Бешта, А.В. Балахонцев [и др.] // *Электротехнические комплексы и системы*. – 2011. – № 03(79). – С. 394–396.

Pivniak, G.G., Beshta, A.S. and Balakhontsev, A.V. (2011), "Energy efficiency of the mine pumping complex", *Elektrotekhnicheskiye komplekсы i sistemy*, Kiev: "Tekhnika", no. 03(79), pp. 394–396.

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

Razumny, Yu.T., Rukhlov, A.V. and Rodna, K.S. (2010), "Determination of the settler pond volume of the main pumping", *Ugol Ukrainy*, no. 4, pp. 31–32.

3. 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.

Nannes, Yu.V., Nedoluzhko, V.N. and Fedor, S.A. (2008), "About requirements for mine pumping of the new RTO and prepared RS", *Ugol Ukrainy*, no. 5, pp. 15–17.

Мета. Розробка методу визначення об'єму водозбірника головної водовідливної установки вугільної шахти для підвищення енергоефективності її роботи.

Методика. Для отримання наукових і практичних результатів використані методи дослідження операцій та аналізу технологічних процесів.

Результати. Обґрунтована актуальність використання головної водовідливної установки вугільної шахти в якості ефективного споживача-регулятора. Визначені технологічні умови, виконання яких дозволяє підвищити енергоефективність шахтного водовідливу у процесі регулювання режимів електроспоживання. Виконаний аналіз технологічних параметрів діючих головних водовідливних установок.

Наукова новизна. Розроблено метод визначення об'єму водозбірника головної водовідливної установки вугільної шахти, що дозволяє підвищити ефективність регулювання режимів електроспоживання. Отримані залежності питомого об'єму водозбірника на 1 м³ припливу води від кількості та умови рівномірності його гілок.

Практична значимість. Встановлено, що збільшення кількості гілок водозбірника понад п'ять викликає несуттєве зниження його питомого об'єму при значному ускладненні технологічної схеми та процесу спорудження. Обґрунтована доцільність спорудження рівних за обсягом гілок у порівнянні з нерівними, що дозволяє знизити необхідний, з метою регулювання режимів електроспоживання, об'єм водозбірника, у середньому, на 10–15%.

Ключові слова: *головна водовідливна установка, споживач-регулятор, електроспоживання, енергоефективність, максимум навантаження енергосистеми, водозбірник, приплив води, вугільна шахта*

Purpose. To develop the method of determining of the settler pond volume of the main dewatering plant of a coal mine to improve the energy efficiency of its work.

Methodology. In order to obtain the scientific and practical results the methods of operations research and analysis of technological processes have been used.

Findings. The efficiency of use of the main dewatering plant of the coal mine as an efficient controllable load has been substantiated. The technological conditions allowing us to improve the energy efficiency of the coal mine pumping in the process of regulation of electricity consumption modes have been defined. The analysis of the technological parameters of the acting main dewatering plant has been done.

Originality. The method for determining the settler pond volume of the main dewatering plant of the coal mine, which improves the efficiency of regulation of the electricity consumption modes, has been developed. We have obtained the dependences of the settler pond specific volume per 1 m³ of water inflow on the amount of its branches and condition of their uniformity.

Practical value. The increase of the number of settler pond branches over five results in inessential reduce of its specific volume but significant complication of the technical plan and construction process. We have substantiated the expediency of building equal in volume branches instead of the unequal ones. This reduces the settler pond volume required for purposes of regulation of the electricity consumption modes in the average by 10–15%.

Keywords: *main dewatering plant, controllable load, electricity consumption, energy efficiency, peak load of power system, settler pond, water inflow, coal mine*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Ф.П. Шкрабцем. Дата надходження рукопису 30.01.13.

УДК 621. 313. 323

**В.Б. Низимов, д-р. техн. наук, проф.,
С.В. Колычев, канд. техн. наук, доц.,
А.А. Снижко**

Днепродзержинский государственный технический университет, г. Днепродзержинск, Украина, e-mail: elm@dstu.dp.ua

ДИНАМИКА ОБЛЕГЧЕННОГО ПУСКА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С НЕЛИНЕЙНЫМ ЕМКОСТНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

**V.B. Nizimov, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
S.V. Kolychev, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
A.A. Snighko**

Dneprodzerzhinsk State Technical University, Dneprodzerzhinsk, Ukraine, e-mail: elm@dstu.dp.ua

DYNAMICS OF ALLEVIATED STARTUP SYNCHRONOUS MOTORS WITH NONLINEAR CAPACITIVE ENERGY STORAGE

Цель. Исследование динамики пусковых режимов синхронных двигателей с нелинейным емкостным накопителем энергии для приведения во вращение механизмов со значительным моментом статического сопротивления при одновременном ограничении токов статора и пусковой обмотки.

Методика. Для достижения поставленной цели предложен нелинейный емкостной накопитель энергии, параметры которого меняются в функции скольжения, что позволяет компенсировать индуктивность обмотки возбуждения синхронного двигателя, а за счет уменьшения сдвига фаз между векторами э.д.с. и тока, протекающего через эту обмотку, увеличить создаваемый ею электромагнитный момент. Проверка основных теоретических положений выполнена методами численного моделирования. Для исследования влияния нелинейного накопителя энергии были выполнены расчеты пусковых режимов синхронного двигателя по уравнениям Парка-Горева в относительных единицах системы „ x_{ad} “.

Результаты. В результате анализа полученных расчетных зависимостей было установлено, что, по сравнению с пуском с дополнительным резистором кратностью $8R_f$, время пуска двигателя СДСЗ–2000–100 с предложенным нелинейным емкостным накопителем уменьшилось на 20,8% с 1200 эл. с. до 950 эл. с. Момент трогания снизился с 4,8 о.е. до 3 о.е., а средний асинхронный момент возрос с 1,6 о.е. до 2,3 о.е. При этом ток в обмотке возбуждения с подключенным накопителем в начале пуска достиг значения в 6,5 о.е. Среднее значение тока статора снизилось с 6,2 о.е. до 5,8 о.е.

Научная новизна. Научной новизной работы является предложенная конструкция нелинейного емкостного накопителя энергии, параметры которого нелинейно зависят от частоты протекающего по нему тока, и результаты теоретических исследований его влияния на характеристики асинхронного пуска синхронного двигателя.

Практическая значимость. Предложенный нелинейный емкостной накопитель энергии может найти своё применение в составе пусковых устройств для синхронных двигателей приводов ряда промышленных механизмов.

Ключевые слова: *синхронный двигатель, нелинейный емкостной накопитель энергии, облегченный пуск*

Введение. В современной промышленности заметна тенденция к расширению области применения

синхронных двигателей (СД) средних и больших мощностей. Применение таких двигателей, с одной стороны, обеспечивает довольно высокие технико-экономические показатели, а с другой – требует при-