

**Е.С. Родная**

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

## **ФОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВОДООТЛИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Формирование энергоэкономичных режимов работы водоотливных комплексов угольных шахт (ВКУШ) в качестве потребителей-регуляторов (П-Р) связывают с необходимостью достижения минимального текущего объема водосборника  $V_i$  к началу утреннего и вечернего максимумов электроэнергетической системы (ЭЭС) [1-3]. При реализации таких режимов работы ВКУШ отмечается снижение величины эксплуатационных затрат. Однако организационно-технические решения, необходимые для формирования таких режимов работы, недостаточно обоснованы с позиций энергосбережения. Недостаточно исследованы возможности формирования рациональных энергетических и экономических режимов работы ВКУШ при переносе активных режимов работы насосных агрегатов в зоны, где преференции ЭЭС максимальны.

Определение рациональных энергоэкономических взаимоотношений внутри энергоснабжающей подсистемы ЭЭС при реализации режимов работы ВКУШ в условиях применения дифференцированного по времени суток и периодам года тарифа за оплату потребленной электромагнитной энергии при использовании ВКУШ в качестве П-Р является актуальной задачей.

Целью работы является поиск энергоэкономического показателя, который позволяет формировать рациональный энергоэкономичный режим работы насосных агрегатов в составе ВКУШ в выделенном интервале времени.

В теории исследования операций под рациональным (оптимальным) понимается такое единственное управляющее решение, которое минимизирует или максимизирует некоторый критерий оценки (целевую функцию) при заданной системе ограничений и допущений [4]. Критерий оценки представляется в виде интегральной зависимости  $\sum_i f(x_i)$ , задаваемой на множестве (векторе) функциональных зависимостей и технических значений (функционале)  $f(x_1, x_2, \dots, x_i)$ . Такая зависимость обеспечивает адекватную реализацию выделенной производственной операции. Выделенный критерий должен иметь специальную структуру, представляемую аддитивной функцией. Таковую функцию представляют в виде:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_i) = \sum_i f(x_i).$$

Аддитивность определяется в виде свойства математических величин, состоящего в том, что значение исследуемой величины, соответствующее целочисленному объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям, каким бы образом не был разбит исследуемый объект [5].

Применение дифференцированного по времени суток и периодам года тарифа оплаты за потребленную электромагнитную энергию при эксплуатации насосных агрегатов в составе ВКУШ достаточно соответствует понятию аддитивности. Структурно, дифференцированный тариф оплаты за потребленную электромагнитную энергию представляет собой выделенные интервалы времени с известными параметрами – длительностью и величиной тарифных коэффициентов при единой тарифной ставке. Длительность каждого выделенного интервала времени различна для разных периодов года и времени суток.

Изменение величины эксплуатационных затрат может быть достигнуто также за счет формирования рациональных энергетических и экономичных режимов работы ВКУШ в выделенном интервале времени. Формирование рационального режима работы ВКУШ зависит от принятых ограничений.

Для создания математической модели ВКУШ, которая адекватно отражает процесс откачки воды из текущего объема водосборника  $V_i$  в  $i$ -м выделенном интервале времени  $\Delta t_i = t_{i+1} - t_{i-1}$ , используют следующие ограничения:

$$\begin{cases} Q_{режij} > \bar{Q}_{np} > Q_{режи(j-1)}; \\ V_i \rightarrow \min, t_i \rightarrow t_{i+1}, \end{cases}$$

где  $Q_{режij}$  – расчетный  $j$ -й режимный расход ВКУШ, м<sup>3</sup>/ч;  $\bar{Q}_{np}$  – средний расчетный приток воды в угольную шахту, м<sup>3</sup>/ч;  $Q_{режи(j-1)}$  – расчетный  $(j-1)$ -й режимный расход ВКУШ, м<sup>3</sup>/ч;  $t_i$  – текущее расчетное время изменения режима работы ВКУШ в выделенном интервале времени  $\Delta t_i$ , ч;  $t_{i+1}$  – время окончания  $i$ -го выделенного интервала, ч;  $t_{i-1}$  – время начала  $i$ -го выделенного интервала, ч.

При откачке воды из угольной шахты используется такое расчетное количество насосных агрегатов  $n_{расч}$ , которое необходимо для выполнения требований нормативных документов, регламентирующих безопасное ведение горных работ [6, 7].

Для исследования вспомогательной производственной операции – откачки воды из угольной шахты используются технические характеристики выделенного объекта. В качестве выделенного объекта используется ВКУШ. В работах [8, 9] технические характеристики выделенного объекта представляются в виде вектора.

При анализе возможных организационно-технических решений работы ВКУШ используется факторная, жестко детерминированная имитационная математическая модель [10]. Основными факторами (входными параметрами) являются:

- гидрогеологический (средняя величина притока воды в угольную шахту  $\bar{Q}_{np}$ , м<sup>3</sup>/ч);
- геодезический (высота подъема воды из угольной шахты  $H_z$ , м);
- технологический (величина рабочего объема водосборника  $V_{всб}$ , м<sup>3</sup>);

- технические факторы (тип применяемых насосных агрегатов; величины гидравлических сопротивлений запорно-регулирующей арматуры  $o_i$  и количество ее элементов; геометрические параметры: текущий диаметр  $d_{mpi}$ , м; длина  $L_{cmp}$ , м магистрального трубопровода; количество одновременно используемых магистральных трубопроводов,  $n_i$ ).

Выходными параметрами такой модели являются расчетные величины:

- режимный напор насосных агрегатов  $H_{режij}$ , м;
- режимный расход насосных агрегатов  $Q_{режij}$ , м<sup>3</sup>/ч;

- величина текущего расчетного времени включения (отключения) группы (одиночного) насосных агрегатов в составе ВКУШ при реализации расчетных режимов работы в выделенном интервале времени  $t_{ij}$ , ч;

- величина расчетного времени активной работы группы (одиночного) насосных агрегатов  $\Delta t_{1ij}$ , ч;

- величина расчетной гидромеханической мощности  $P_{ij}$ , кВт, группы (одиночного) насосных агрегатов;

- величина расчетной затраченной энергии  $W_{\Sigma ij}$ , кВт·ч, при реализации цикла активной работы насосных агрегатов в составе ВКУШ в выделенном интервале времени  $\Delta t_i$ .

Выходные параметры представляются в виде матрицы размерностью  $i \times j$ , где  $i$  – индекс, определяющий выделенный интервал времени;  $j$  – индекс, определяющий различные  $j$ -е режимы работы ВКУШ в выделенном интервале времени.

Расчетная величина затраченной электромагнитной энергии  $W_{\Sigma ij}$ , функционально зависит от величины гидромеханической мощности  $P_{ij}$ , реализуемой насосными агрегатами в активных зонах выделенного интервала времени. Если известны расчетная величина затраченной электромагнитной энергии в выделенном интервале времени, розничный тариф оплаты за потребленную электромагнитную энергию  $k_{map}$ , грн/кВт·ч (без НДС) и тарифный коэффициент  $k_{дуф_i}$ , возможно получение единого энергоэкономического показателя, позволяющего формировать энергоэкономичный режим работы ВКУШ. Такой показатель можно представить в виде общей величины стоимости затраченной электромагнитной энергии  $C_{\Sigma ij}$ , грн, при реализации энергоэкономичного режима работы ВКУШ в выделенном интервале времени:

$$C_{\Sigma ij} = k_{дуф_i} \cdot k_{map} \cdot W_{\Sigma ij}.$$

Выделяются основные режимы работы ВКУШ в условиях использования дифференцированного по времени суток и периодам года тарифа в выделенном интервале времени:

- работа насосных агрегатов от минимально возможного объема водосборника с технологической паузой;
- работа насосных агрегатов от минимально возможного объема водосборника без технологической паузы.

Другие режимы работы насосных агрегатов в составе ВКУШ являются производными от выделенных режимов работы.

Математическая модель работы ВКУШ с технологической паузой из минимального объема водосборника с расчетным количеством насосных агрегатов представляется в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{ij} = \frac{(Q_{режij} - \bar{Q}_{np}) \cdot (t_{i+1} - t_{i-1})}{Q_{режij}}; \\ \Delta t_{1ij} = \Delta t_i - t_{ij}; \\ P_{ij} = \frac{\rho g H_{режij} Q_{режij}}{\eta_{nij}}; \\ W_{\Sigma ij} = P_{ij} \cdot \Delta t_{1ij}, \end{array} \right.$$

где  $t_{ij}$  – текущее расчетное время включения группы насосных агрегатов в составе ВКУШ при реализации режимов работы с паузой, ч;  $\Delta t_{1ij}$  – расчетное значение активного интервала времени после изменения режима работы ВКУШ, ч;  $W_{\Sigma ij}$  – значение величины затраченной при водоотливе энергии при работе насосных агрегатов с технологической паузой, кВт·ч.

Математическая модель работы ВКУШ без технологической паузы из минимального объема водосборника с расчетным количеством насосных агрегатов в выделенном интервале времени имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} t'_{ij} = \frac{(Q_{режij} - \bar{Q}_{np}) \cdot (t_{i+1} - t_{i-1})}{Q_{режij} - Q_{режij(j-1)}}; \\ \Delta t'_{1ij} = \Delta t_i - t'_{ij}; \\ P'_{ij} = \rho \cdot g \cdot \frac{H'_{режij} \cdot Q'_{режij}}{\eta'_{режij}}; \\ P'_{i(j-1)} = \rho \cdot g \cdot \frac{H'_{режij(j-1)} \cdot Q'_{режij(j-1)}}{\eta'_{режij(j-1)}}; \\ W'_{\Sigma ij} = P'_{ij} \cdot \Delta t'_{1ij} + P'_{i(j-1)} \cdot t'_{ij}, \end{array} \right.$$

где  $t'_{ij}$  – текущее расчетное время включения группы насосных агрегатов в составе ВКУШ при режиме работы без технологической паузы, ч;  $\Delta t'_{1ij}$  – расчетное значение активного интервала времени после изменения режима работы

ВКУШ, ч;  $P'_{ij}$  – расчетная гидромеханическая мощность при реализации  $j$ -х расчетных режимов ВКУШ без технологической паузы после изменения режима работы насосных агрегатов, кВт;  $P'_{i(j-1)}$  – расчетная гидромеханическая мощность при режиме работы ВКУШ без технологической паузы до изменения режима работы насосных агрегатов, кВт;  $W'_{\Sigma ij}$  – значение величины затраченной при водоотливе энергии при работе насосных агрегатов без технологической паузы, кВт·ч.

На рис.1 представлены графические интерпретации математических моделей работы ВКУШ с технологической паузой и без нее из минимального объема водосборника с расчетным количеством насосных агрегатов.

Устойчивый режим работы ВКУШ в выделенном интервале времени всегда возможен при использовании технологической паузы. В ряде случаев, возможна реализация режимов работы ВКУШ с частичным отключением насосных агрегатов. Тогда возможна работа насосных агрегатов без технологической паузы. Реализация рациональных режимов работы ВКУШ без паузы невозможна при малых величинах средних притоков воды  $\bar{Q}_{np}$  в шахту. Если расчетное количество насосных агрегатов  $n_{расч} = 1$ , то работа без технологической паузы

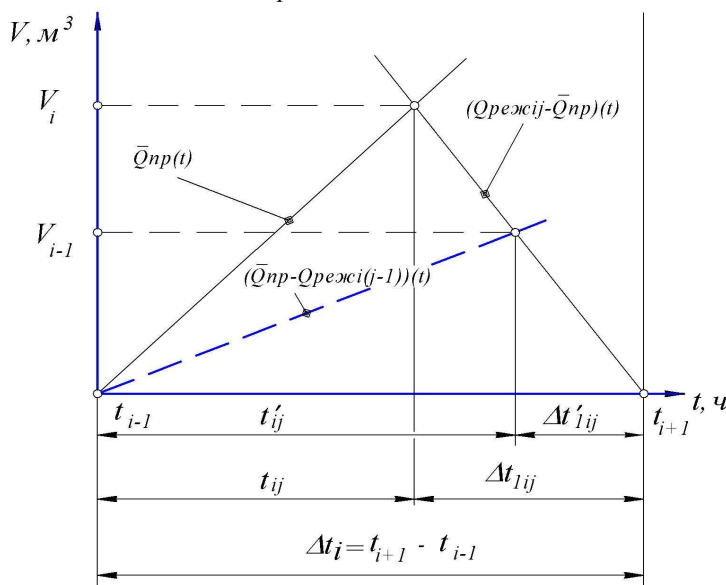


Рис.1. Графические интерпретации режимов работы насосных агрегатов в составе ВКУШ с технологической паузой и без нее

в выделенном интервале времени  $\Delta t_i$  невозможна. Наличие режимов работы насосных агрегатов в составе ВКУШ, когда  $\bar{Q}_{np} < Q_{режij} < Q_{режij(j+1)}$ , позволяет всегда осуществлять формирование режимов работы через технологическую паузу.

При анализе энергоэкономичных режимов работы насосных агрегатов от минимально возможного объема водосборника в выделенном интервале времени  $\Delta t_i$  применены усредненные показатели ВКУШ. Базовыми показателями являются гидрогеологический, геодезический, технологический, технические и временные факторы, определяющие формирование режимов работы ВКУШ,

используемые в работах [10, 11].

При расчете стоимости потребленной электромагнитной энергии, использованы величины розничных тарифов на электромагнитную энергию для потребителей 2-го класса напряжения установленных НКРЭ для энергоснабжающих компаний Украины по состоянию на декабрь 2006 года. Средняя величина розничного тарифа на электромагнитную энергию составляет 0,3217 грн/кВт·ч (без НДС).

Для сравнения суммарных расчетных величин затраченной энергии  $W_{\Sigma i}$  при формировании режимов работы ВКУШ без технологической паузы и с паузой из минимального текущего объема водосборника произведены расчеты показателей энергоэкономических характеристик ВКУШ в условиях применения различных способов формирования режимов работы насосных агрегатов в выделенном интервале времени. Результаты расчетов приведены в таблице.

При формировании энергоэкономичных режимов работы ВКУШ в выделенном интервале времени более предпочтительным является режим работы насосных агрегатов без технологической паузы.

Расчетные параметры ВКУШ	Режим работы ВКУШ без технологической паузы		Режим работы ВКУШ с технологической паузой
	Параметры режима работы до изменения	Параметры режима работы после изменения	
$\bar{Q}_{np}, \text{м}^3/\text{ч}$	525		
$Q_{режij}, \text{м}^3/\text{ч}$	–	886,2	886,2
$Q_{режi(j-1)}, \text{м}^3/\text{ч}$	337,9	–	–
$t'_{ij}, \text{ч}$	1,3175	–	0,815 (время паузы)
$\Delta t_{1ij}, \text{ч}$	–	0,6825	1,185
$P_{ij}, \text{кВт}$	–	2192,7	2192,7
$P'_{ij}, \text{кВт}$	794,5	–	–
$W_{ij}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	1046,75	1496,52	2598,35
$\sum W_{ij}, \text{кВт}\cdot\text{ч}$	2543,27		2598,35
$\Delta t_i, \text{ч}$	2		
$C_{\Sigma ij}, \text{грн}$	2543,27·0,3217=818,17		2598,35·0,3217=835,89

## Выводы

1. Для формирования энергоэкономичного режима работы водоотливного комплекса угольной шахты в выделенном интервале времени  $\Delta t_i$  в качестве

энергоэкономического показателя целесообразно использовать величину интегральной стоимости затраченной электромагнитной энергии  $C_{\Sigma ij}$ .

2. Если сформированы и количественно определены возможные технологические режимы работы ВКУШ в качестве П-Р в выделенном интервале времени, следует отдавать предпочтение такому режиму работы ВКУШ, когда значение принятого энергоэкономического показателя  $C_{\Sigma ij} \rightarrow \min$ .

3. При формировании рационального энергоэкономического режима работы ВКУШ в качестве П-Р в выделенном интервале времени необходимо учитывать возможные способы технологической реализации режимов работы минимально возможного количества насосных агрегатов в составе ВКУШ.

Существует возможность формирования рационального энергоэкономического режима работы ВКУШ в качестве П-Р при использовании дифференцированного по периодам года и времени суток тарифа оплаты потребленной электромагнитной энергии. При формировании рационального энергоэкономического режима работы ВКУШ необходимо отдавать предпочтение такому режиму, когда совместно учитываются как требования обеспечения безопасной работы угольной шахты так и энергоэкономичности работы.

#### Список литературы

1. Данильчук Г.И., Шевчук С.П., Василенко П.К. Автоматизация электропотребления водоотливных установок. – К.: Техника, 1981. – 102 с.
2. Гойхман В.М., Миновский Ю.П. Регулирование энергопотребления и экономия электроэнергии на угольных шахтах. – М.: Недра, 1988. – 190 с.
3. Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. – М.: Недра, 1985. – 324 с.
4. Зайченко Ю.П. Исследование операций: Учеб. пособие для студентов вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа, 1979. – 392 с.
5. Советский энциклопедический словарь. / Под ред. А.М. Прохорова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Сов. Энциклопедия, 1984. – 1600 с.
6. Руководящий технический материал по снижению затрат электроэнергии при эксплуатации действующих водоотливных установок на шахтах угольной промышленности (РТМ 0702005 – 85). – Донецк: ВНИИ ГМ им. М.М.Федорова, 1985. – 40 с.
7. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. – М.: Недра, 1986 – 447 с.
8. Разумный Ю.Т. Режимы электроспоживания вугільних шахт: Навч. посібник. – Дніпропетровськ: Національна гірнична академія України, 2002. – 126 с.
9. Заїка В.Т. Критерії моделювання енергоефективної роботи багатоагрегатних електронасосних установок. // Вісник ВПІ.– 2000.– №6.– С. 41–46.
10. Разумный Ю.Т., Родная Е.С. Математическое моделирование режимов работы многоагрегатных шахтных водоотливных установок. // Наук. вісн. Національного гірничого університета. – 2006.– №1. – С. 80-84.
11. Методика расчета режимов параллельной работы насосов водоотлива шахт, имеющих большие притоки (вторая редакция). (РТМ – 07.02.010. – 78). – Донецк: ВНИИ ГМ им. М.М.Федорова, 1979. – 60 с.