

Е.С. Родная

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

ВЫБОР ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ШАХТНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ТАРИФА

Удаление воды из угольной шахты относится к вспомогательным операциям, обеспечивающим основной производственный процесс – добычу энергетического каменного угля. Для реализации вспомогательной операции используется выделенный технический объект – шахтная стационарная водоотливная установка (ШСВУ). ШСВУ потребляет значительное количество электромагнитной энергии (до 20% от общего количества электромагнитной энергии затрачиваемой угольной шахтой) [1]. Решения задач управления режимами энергопотребления промышленными и горнотехническими комплексами с целью нахождения рациональных способов использования электромагнитной энергии предложены в работах [2 – 5]. Отмечается взаимное влияние энергоэкономических параметров при формировании рациональных энергоэффективных режимов работы электроэнергетической системы (ЭЭС) и промышленных потребителей электромагнитной энергии.

Основные принципы формирования энергоэффективных (энергоэкономичных) режимов потребления электромагнитной энергии горнодобывающими предприятиями как потребителя-регулятора (П-Р) рассмотрены в работах [6 – 9]. Однако в этих работах недостаточно исследовано взаимное влияние текущих технических, технологических, энергетических и экономических параметров на формирование энергоэкономических показателей использования ШСВУ в качестве П-Р при использовании одноставочного, дифференцированного по времени суток и периодам года (в общем интервале пространства и -времени) тарифа при оплате за потребленную электромагнитную энергию.

Целью работы является получение вероятных количественных энергоэкономических характеристик, определяющих рациональную практическую реализацию вспомогательной производственной операции при использовании ШСВУ в качестве П-Р в общем интервале времени.

Получение вероятных количественных энергоэкономических соотношений, определяющих рациональную практическую реализацию вспомогательной производственной операции при использовании ШСВУ в качестве П-Р в общем интервале времени представляется актуальной научной и практической задачей.

Основным методом исследования, позволяющим решать организационно-технические задачи анализа и синтеза рациональных энергоэкономических режимов работы выделенных технических объектов, остается метод сравнения вариантов при использовании экономико-математического (энергоэкономического) моделирования. Если имеются необходимые технические, технологические и экономические параметры для расчета режимов работы выделенного

технического объекта, тогда задача анализа и синтеза рационального энергоэкономического режима работы всегда может быть решена.

В работе [2] показано, что кроме технических и организационных мероприятий по снижению энергозатрат при удалении воды из угольной шахты существенное влияние на величину потребления электромагнитной энергии оказывают условия оплаты – тарифы ЭЭС. Отмечено, что использование потребителем различных способов регулирования энергопотребления оказывает влияние на энергоэкономические показатели, как потребителей, так и производителей электромагнитной энергии.

В настоящее время осуществляется переход на дифференцированный по суточным и сезонным зонам тариф. У потребителей электромагнитной энергии появляется серьезная мотивация для активных действий. Возможно нахождение таких режимов работы, когда при практически не изменяющемся объеме потребления электромагнитной энергии, плата за ее использование может быть существенно снижена. Если провести дополнительные организационно – технические мероприятия по упорядочению расхода текущего потребления электромагнитной энергии в условиях действия дифференцированного тарифа, то выигрыш потребителя становится достаточно весомым. Применение такого тарифа стимулирует потребителя электромагнитной энергии использовать энергоемкие вспомогательные производственные операции в таких тарифных зонах, где плата за потребленную электромагнитную энергию ниже.

Применение дифференцированного тарифа выгодно и для ЭЭС. В конечном итоге это приводит к выравниванию графиков нагрузки ЭЭС и, как следствие, к снижению удельного расхода условного топлива на выработку единицы электромагнитной энергии. Следует отметить, что это обстоятельство также позволяет уменьшить количество вредных выбросов в окружающую среду.

В большинстве работ, где рассматриваются вопросы экономии электромагнитной энергии, критерием оценки, характеризующим качество энергосберегающих мероприятий (технологий) выступают удельные показатели затрат электромагнитной энергии на единицу произведенной продукции. Однако подобный подход не является общим решением проблемы энергосбережения. Затраты при генерировании электромагнитной энергии всегда больше, чем при ее потреблении, и практически адекватны ступенчатой циклической структуре одноставочного дифференцированного тарифа. В настоящее время отсутствуют реальные способы сохранения полученной за счет использования природных ресурсов энергии. Основной дилеммой при решении задач энергосбережения остается уменьшение или расхода трудно восполнимых природных запасов энергии или экономию финансовых ресурсов как у потребителя так и генератора электромагнитной энергии. Решение дилеммы требует единых методов оценки энергоэффективности как генератора, так и потребителя электромагнитной энергии. Системная оценка таких иерархических связей остается достаточно сложной научной задачей.

При энергоэкономических исследованиях технических систем, примером которых является ШСВУ, достаточно трудно определить целевую направленность. Если речь идет об эксплуатации ШСВУ, затрагивающих в той или иной мере интересы их организаторов и общества в целом, то их энергоэффективная

работа не характеризуется единственным показателем энергоэффективности. Необходимо использовать и другие показатели, дополняющие основной показатель эффективности [8]. Отмечается, что многокритериальные задачи с большим количеством показателей, один из которых желательно обратить в максимум (минимум), а остальные в минимум (максимум), не имеют четких решений.

Полностью избавиться от субъективности при решении многокритериальных задач, связанных с выбором и принятием рациональных решений, невозможно. Субъективность неизбежно присутствует, проявляясь как в выборе показателей энергоэффективности, так и в выборе граничных условий при создании математической модели, представляющей исследуемую производственную операцию.

Число возможных рациональных (но не оптимальных) вариантов технических и технологических решений может оказаться достаточно большим. В таких случаях ограничиваются поиском "достаточно хороших" или "субоптимальных" решений.

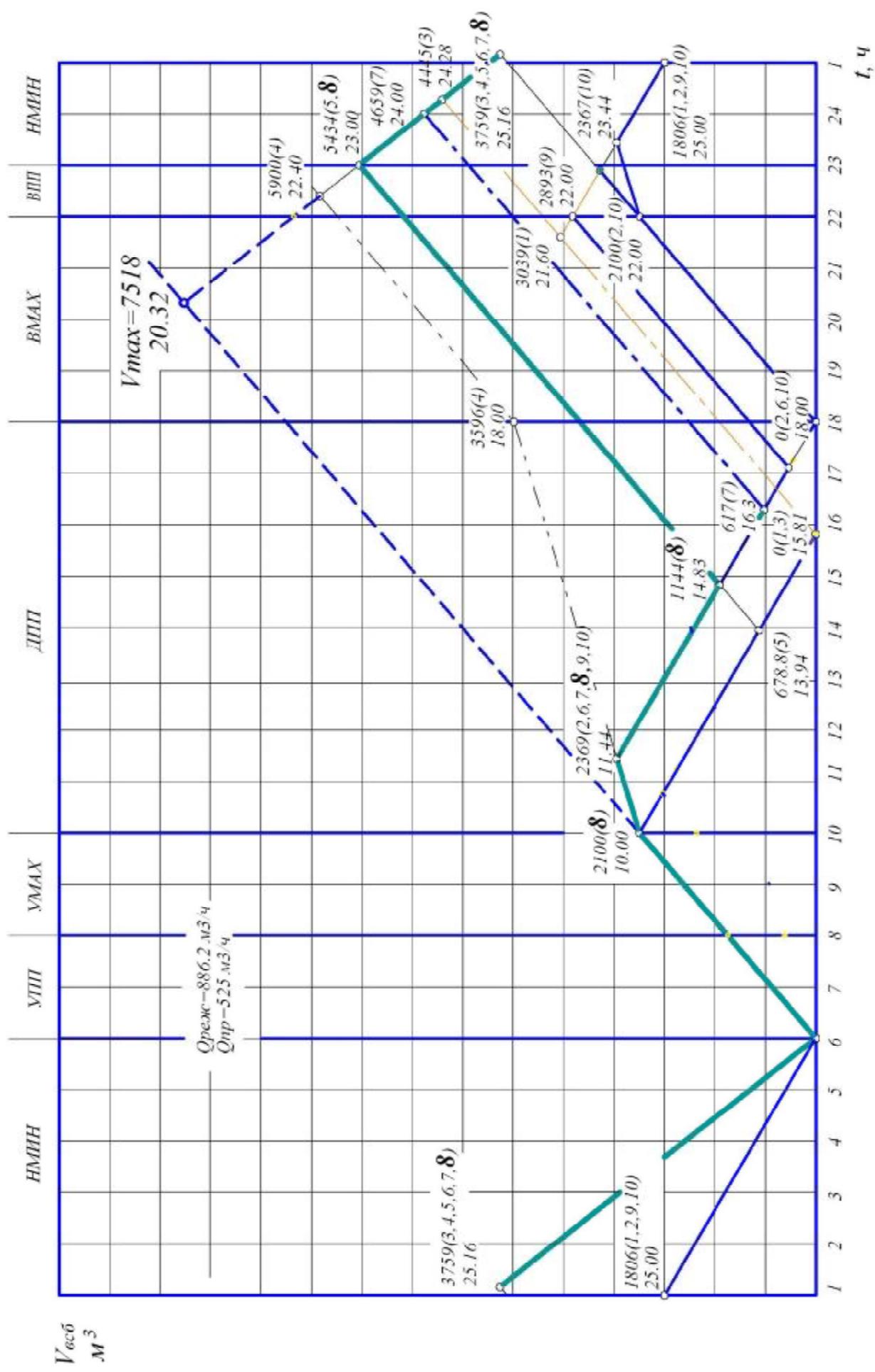
"Субоптимальные" решения находятся в области множества Парето, элементы которого обладают следующим свойством: любой локальный критерий эффективности одного из элементов, принадлежащих этому множеству, не может стать оптимальным, без ухудшения качества хотя бы одного локального критерия эффективности из остальных элементов этого множества. Поиск "субоптимальных" (рациональных) решений производится в области "компромиссов" множества Парето. Только в такой области можно найти рациональные энергоэкономические режимы работы конкретной ШСВУ. Поэтому применение методов исследования операций определяется как *"искусство давать плохие ответы на те практические вопросы, на которые даются еще худшие ответы другими методами"* [12].

Как пример рассмотрим выбор рационального режима работы ШСВУ при математическом ожидании притока воды в угольную шахту $\tilde{Q}_{np}=525 \text{ м}^3/\text{ч}$, и геодезической высоты подъема $H_z=545 \text{ м}$, при использовании одноставочного, дифференцированного по времени суток и периодам года тарифа за оплату потребленной электромагнитной энергии (рисунок). Проведем анализ возможных режимов работы ШСВУ в различных суточных и сезонных периодах времени с целью получения рациональных энергоэкономических режимов. Энерготехнологические режимы работы насосных агрегатов получены при использовании энерготехнологической модели ШСВУ, предложенной в работе [11].

Величина основных капитальных затрат K_i , грн, при расчетном диаметре и числе магистральных трубопроводов в сопоставимых ценах определяется из соотношения

$$K_i = k_{ст.всб} \cdot V_{всб_i} \cdot k_{нб} + C_{тр}, \quad (1)$$

где $k_{ст.всб}$ – стоимость сооружения необходимого объема водосборника, грн/м³;



Возможные варианты режимов работы насосных агрегатов в составе ЦСВУ в сезонной зоне "весна-осень"

$V_{всб_i}$ – необходимый технологический объем водосборника, м³; $k_{нб}$ – коэффициент запаса технологического объема водосборника, $k_{нб}=1,3$; $C_{мп}$ – стоимость элементов присоединенной трубопроводной сети, насосных агрегатов и пуско – регулирующей аппаратуры, грн.

Величина капитальных затрат K_i , грн, отличается при проектировании и реконструкции ШСВУ угольных шахт.

В первом случае необходимо затратить максимальную величину основных капитальных инвестиционных вложений. Тогда при использовании дифференцированного тарифа срок окупаемости при сравнении вариантов определяется из соотношения

$$T_{окпр} = \frac{K_i}{C_{баз} - C_i}, \quad (2)$$

где $C_{баз}$ – величина эксплуатационных затрат (стоимость потребленной электромагнитной энергии при использовании двухставочного тарифа); C_i – величина эксплуатационных затрат (стоимость потребленной электромагнитной энергии при использовании дифференцированного по времени суток и периодам года одноставочного тарифа).

Во втором случае величина капитальных инвестиционных вложений изменяется только на величину дополнительных инвестиционных вложений за счет необходимого увеличения технологического объема водосборника $\Delta K_i = (V_{всб_i} - V_{всб_{лб}}) \cdot k_{ст.всб} \cdot k_{нб}$:

$$T_{окрек} = \frac{\Delta K_i}{C_{баз} - C_i}. \quad (3)$$

Срок "жизни" T_k основных и дополнительных капитальных инвестиционных вложений при эксплуатации угольной шахты превышает 10 лет (таблица). Тогда энергоэкономические эффекты при проектировании и реконструкции ШСВУ угольных шахт определяются из соотношений:

$$\mathcal{E}_{пр} = (T_k - T_{окпр}) \cdot (C_{баз} - C_i); \quad (4)$$

$$\mathcal{E}_{рек} = (T_k - T_{окрек}) \cdot (C_{баз} - C_i). \quad (5)$$

Очевидно, что величина удельного потребления w , кВт ч/м³, электромагнитной энергии не является основным критерием энергоэффективности работы ШСВУ в качестве П-Р в условиях применения дифференцированного тарифа.

При возможном минимальном значении удельного потребления электромагнитной энергии w_{10} при использовании режима 10 (см. рисунок и таблицу) суммарная стоимость потребленной электромагнитной энергии C_{10} , грн/год, относительно режимов 4 и 8 велика. При этом суммарная величина затраченной электромагнитной энергии W_{10} , кВт·ч/год, минимальна.

**Интегральные энергоэкономические показатели режимов работы ШСВУ
в общем интервале времени (за 10 лет)**

Режимы работы	C_i грн/год	W , кВт·ч/год	$\tilde{V}_{всб}$, м ³	$T_{ок рек}$, лет	$T_{ок пр}$, лет	$\mathcal{E}_{рек}$, грн	$\mathcal{E}_{пр}$, грн	w , кВт ч/м ³
1	2939668	11372768	3037	0,688	2,519	19026771	15286581	2,4728
2	2891682	11355429	2614	0,488	2,277	19891848	16151658	2,4691
3	2581179	11941138	4445	1,465	3,022	20499711	16759521	2,5964
4	2061293	12532211	5903	2,055	4,057	23211896	17362348	2,7249
5	2191721	12559810	5434	1,791	3,131	22913378	19173188	2,7309
6	2977794	12638254	3751	1,474	3,340	17095648	13355458	2,7480
7	2522148	12369787	4659	1,559	3,079	20772254	17032064	2,6896
8	2182324	12537144	5434	1,573	2,910	23599848	19859658	2,7260
9	2849129	11328656	3012	0,811	2,564	19606900	15866710	2,4632
10	2910234	11326677	2450	0,284	2,088	20139510	16399320	2,4628
мах	2779904	12783252	7518	3,686	5,384	21405865	14881826	2,7795
Базовый	4856633	11379177	2730	6,67	6,67	0	0	2,4742

Минимальное значение суммарной стоимости потребленной электромагнитной энергии C_i достигается при использовании режима 4. При этом суммарная величина затраченной электромагнитной энергии W_4 и удельного потребления электромагнитной энергии w_4 достаточно велика. При использовании режима 8 значение суммарной стоимости потребленной электромагнитной энергии C_8 больше, чем при использовании режима 4. Однако величина экономии финансовых ресурсов при проектировании и реконструкции ШСВУ угольных шахт за весь период эксплуатации принимают максимальные значения при использовании режима 8. При этом необходимо использование одновременно работающих расчетных и резервных насосных агрегатов на присоединенную трубопроводную сеть в НМИН. Однако такое изменение режимов работы ШСВУ приводит к сокращению межремонтных периодов насосных агрегатов и увеличению текущих эксплуатационных затрат, что может привести к снижению величины экономии потребителя.

Величина необходимых усредненных технологических объемов водосборников $\tilde{V}_{всб}$, м³, для реализации различных режимов работы ШСВУ в общем интервале времени, также изменяется. Для получения минимального значения суммарной стоимости потребленной электромагнитной энергии C величина необходимого технологического объема водосборника – максимальная (таблица). Таким образом подтверждается положение теории исследования операций о том, что любой локальный критерий энергоэффективности не может стать оптимальным без ухудшения качества хотя бы одного из них.

При выборе вероятных вариантов энергоэкономичных режимов работы ШСВУ должны быть приняты следующие энерготехнологические ограничения:

1. Полностью исключаются варианты активных режимов работы насосных агрегатов в утреннем полупике (УПП), утреннем максимуме (УМАХ) и вечернем максимуме (ВМАХ) ЭЭС;

2. Максимально сокращено оперативное время работы насосных агрегатов в составе ШСВУ в вечернем полупике (ВПП) и ночном минимуме (НМИН) ЭЭС;

3. В дневном полупике (ДПП), вечернем полупике (ВПП) и ночном минимуме (НМИН) ЭЭС при формировании режимов работы целесообразно использование одиночного насосного агрегата при работе его на приток;

4. Для получения максимальных значений экономии финансовых ресурсов при проектировании и реконструкции ШСВУ угольных шахт целесообразно использование резервной группы насосных агрегатов в НМИН;

5. В общем интервале времени цикл работы насосных агрегатов в составе ШСВУ должен быть замкнутым (симметричным) относительно преобразований пространства и времени.

В качестве общего критерия энергоэффективности может быть принят интегральный энергоэкономический критерий – получаемая потребителем электромагнитной энергии экономия при сравнении вариантов.

Увеличение экономии потребителя электромагнитной энергии при переносе активных режимов работы ШСВУ в зоны, где тарифный коэффициент ЭЭС минимальный, возможно не только за счет снижения суммарной стоимости потребленной электромагнитной энергии C_i . Интегральный энергоэкономический эффект, в виде общей экономии, зависит от величины дополнительных капитальных затрат при сооружении необходимого технологического объема водосборника и срока окупаемости основных и дополнительных инвестиционных капитальных вложений при проектировании и реконструкции ШСВУ угольных шахт.

Список литературы

1. Заика В.Т., Разводов В.Г. Комплексная оценка и повышение энергоэффективности работы шахтных водоотливных установок // Гірн. електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2000. – Вип. 64. – С. 17-26.
2. Михайлов В.В. Тарифы и режимы энергопотребления. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 210 с.
3. Данильчук Г.И., Шевчук С.П., Василенко П.К. Автоматизация электропотребления водоотливных установок. – К.: Техника, 1981. – 102 с.
4. Праховник А.В., Шевчук С.П., Находов В.Ф. Управление электропотреблением водоотливных установок шахт. // Механізація і автоматизація управління. – 1979. – №3. – С. 30-33.
5. Логвиненко В.И., Грядущий Б.А., Чехлатый Н.А., Мялковский В.И. Состояние и основные направления энергосбережения на угольных предприятиях. // Уголь Украины, – 2004. – № 4. – С. 19-23.
6. Хронусов Г.С. Комплексы потребителей – регуляторов мощности на горнорудных предприятиях. – М.: Недра, 1989. – 200 с.
7. Заїка В.Т. Критерії моделювання енергоефективної роботи багатоагрегатних електрона-

сосних установок // Вісн. ВПП. – 2000. – № 6. – С.41-46.

8. Разумный Ю.Т., Ильченко Е.С. Проблемы использования водоотливных установок угольных шахт в качестве потребителей–регуляторов // Гірн. електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2004. – Вип. 73. – С. 18-23.

9. Яценко А.М., Ковалев В.И., Антонов Э.И. Рациональный суточный график работы шахтной водоотливной установки // Уголь Украины, – 2005. – № 7. – С. 12-13.

10. Разумный Ю.Т., Родная Е.С. Критерий экономической эффективности режимов работы многоагрегатных водоотливных установок // Уголь Украины, 2006. – № 2. – С.10-13.

11. Разумный Ю.Т., Родная Е.С. Математическое моделирование режимов работы многоагрегатных шахтных водоотливных установок // Наук. вісн. Національного гірн. ун-ту. – 2006. – № 1. – С. 80-84.

12. Saaty T.L., Mathematical methods of Operations Research. – N.Y.: McGraw-Hill, 1959. – 214 с.