

*Лясковец Т.Н.,
(НИИГМ им.М.М.Фёдорова, г.Донецк Украина)
докт.филос. Халимов В.В.
(ДонГТУ, г.Алчевск Украина)*

ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Наведені результати огляду методів визначення втрат електричної енергії на основі розрахунку норм споживання електричної енергії стаціонарними установками. Обґрунтована необхідність удосконалення методів нормування втрат електричної енергії

***Ключові слова:** метод, норма, втрати, вугільна шахта, стаціонарні установки.*

Приведены результаты обзора методов определения потерь электрической энергии на основе расчётов норм потребления электрической энергии стационарными установками угольных шахт. Обоснована необходимость усовершенствования методов нормирования потерь электрической энергии.

***Ключевые слова:** метод, норма, потери, угольная шахта, стационарные установки.*

Постановка проблемы и её связь с научной или практической задачей. Вопросам экономного расхода электрической энергии, как одного из основных видов энергии, в Украине придают большое значение, что нашло отражение в ряде документов: законе Украины «Про енергозбереження» [1]; постановлениях Кабинета Министров Украины [2]; приказах Государственного комитета по энергосбережению (в настоящее время «Национальное агентство Украины по вопросам обеспечения эффективного использования энергетических ресурсов»).

На основании закона «Про енергозбереження» создана нормативно-правовая база. Эти документы обязывают всех потребителей экономно и рационально расходовать все виды энергии, не допуская сверхнормативных потерь. При этом в разработанных государственных и отраслевых стандартах сформулированы термины и определения, которые применяются при анализе использования электрической энергии, как потребителями, так и индивидуальными токоприемниками [3, 4, 5, 6, 7, 8].

На основании нормативно правовой базы по энергосбережению в угольной промышленности разработана и действует система контроля за потреблением электрической энергии, ее рациональным использованием и экономией в процессе выполнения технологического цикла по добыче угля.

Однако в процессе потребления электрической энергии на предприятиях угольной отрасли имеют место потери, которые достигают значительных величин и оцениваются при действующих тарифах в миллионы гривен. На рисунках 1,2,3 приведены диаграммы расчетного баланса электрической энергии ш/у «Луганское», ш. XIX Партсъезда (ГП «Луганскуголь»), построенные по данным полученным при проведении энергетического аудита [9].

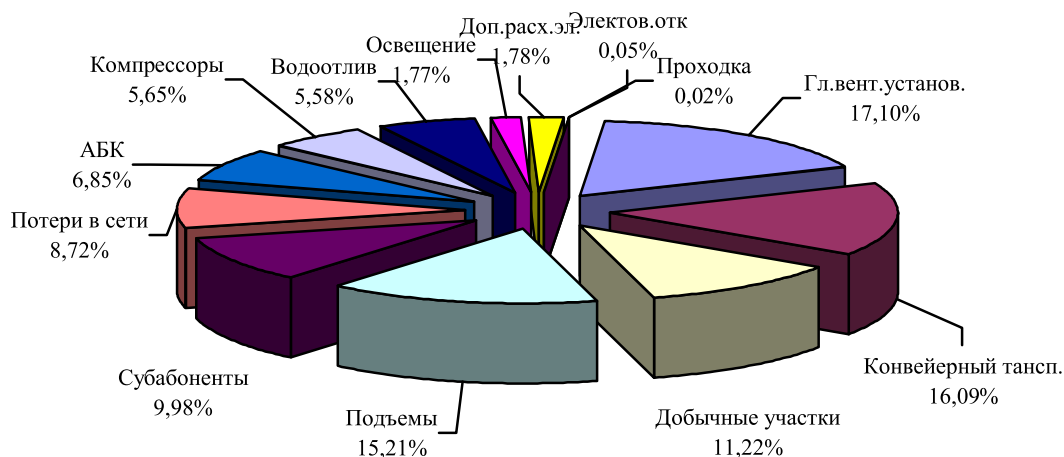


Рисунок 1 – Структура потребления активной электроэнергии блока «Центральный» ш/у Луганское, %

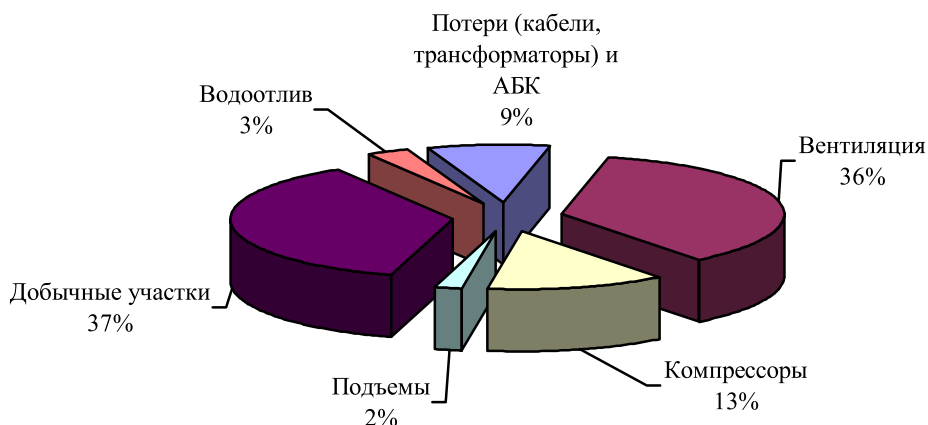


Рисунок 2 – Структура потребления активной электроэнергии токоприемниками Мащинского блока ш/у Луганское, %

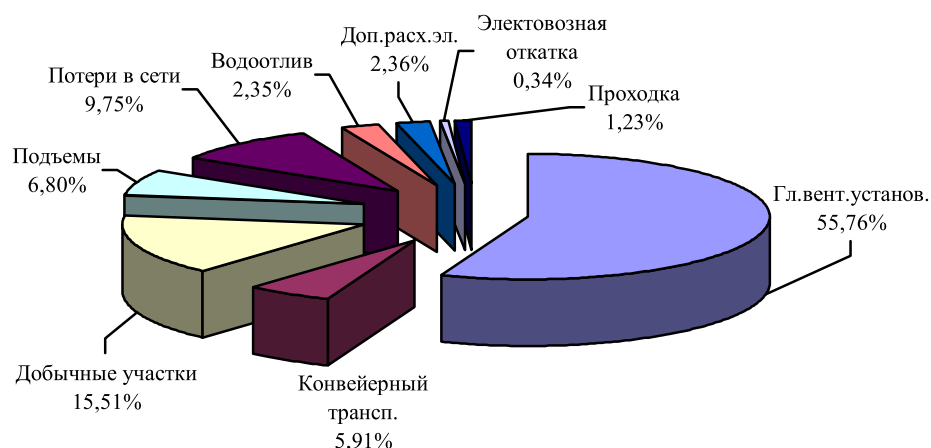


Рисунок 3 – Структура потребления активной электроэнергии по шахте им. XIX Партсъезда, %

Величина потерь в абсолютных величинах за год приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Годовое потребление активной электроэнергии и потерь электроэнергии

Шахта	Годовое потребление активной электроэнергии, кВт · ч	Потери электроэнергии, %	Потери электроэнергии, кВт · ч
ш/у «Луганское» Центральный блок	100744554,4	8,2	876476,7
ш/у «Луганское» Мащинский блок	21485691	9,0	1933712
ш. им. XIX Парт- съезда	14001518,9	9,8	1364853,9

Эти потери относятся к непроизводственным потерям и поэтому на каждом предприятии необходимо разрабатывать и реализовывать комплекс мероприятий с целью уменьшения потерь и экономии электроэнергии.

Постановка задачи. Мероприятия по экономии электроэнергии могут носить пассивный (например, теплоизоляция), активный (регулирование нагрузки, программное управление технологическим процессом и отдельными установками, регенерация энергии и т.п.) или организационный характер (использование установки, процесса или услуг, ко-

которые требуют меньше энергии для работ или изготовления продукции, чем применяемые раньше без изменения качества и количества продукции, изделий, услуг, упорядочение графиков работы машин и установок; использование в конкретном технологическом процесс или услуге вместо традиционно применяемого энергоносителя любого другого, если это замещение имеет преимущества или оно подходит по экономическим, техническим условиям или условиям энергоснабжения).

В [11] рассмотрены способы и средства расчета потерь в электрических сетях предприятий угольной отрасли, методы и пути экономии различных видов энергии и топлива, расчет и анализ норм расхода и балансов электропотребления.

Основные требования к порядку разработки и содержанию норм расхода электроэнергии как меры оценки эффективности ее использования в научном плане не потеряли своей актуальности и в настоящее время. Однако некоторые положения и выводы, сформулированные на правовой и нормативной базе, действующей еще в СССР, необходимо пересмотреть и привести в соответствие с Законом Украины [3,4,5,6].

В соответствии с действующими положениями [12] все промышленные предприятия обязаны иметь разработанные и утвержденные в установленном порядке нормы удельного расхода электрической энергии – плановую величину расхода электроэнергии на единицу продукции установленного качества.

Нормированию подлежит весь расход электроэнергии по предприятию как на основные и вспомогательные технологические процессы, так и на подсобные нужды производства, включая потери в электрических сетях внутреннего электроснабжения.

Разработку норм расхода электроэнергии, анализ эффективности использования энергии в производственных процессах по отдельным установкам, агрегатам, комплексам по шахте в целом можно проводить только на основании баланса потребления электроэнергии всей шахты (ЭБ) [11].

Целью данной работы является обзор методов расчёта технологических норм электропотребления в целом по шахте так и по стационарным установкам шахт.

Изложение основного материала и результаты. ЭБ должен состоять из двух частей: приходной и расходной. В приходную часть включается электроэнергия, как полученная от энергосистемы, так и выработанная электрическими установками на самом предприятии.

Расходная часть ЭБ состоит, как правило, из следующих частей:

1 Прямые затраты активной электроэнергии на основной технологический цикл без учета потерь;

- 2 Косвенные затраты электроэнергии на основной технологический цикл вследствие его несовершенства;
- 3 Затраты электроэнергии на вспомогательные нужды;
- 4 Потери электроэнергии в элементах системы электроснабжения шахты;
- 5 Отпуск электроэнергии субабонентам.

Баланс реактивной мощности и энергии составляется с учетом выработки реактивной энергии всеми токоприемниками и компенсирующими устройствами. На основании баланса реактивной энергии решаются вопросы компенсации реактивной мощности и определяются потери от реактивных токов, протекающих по активным сопротивлениям электрических цепей.

Баланс угольной шахты может быть получен экспериментальным, расчетным или расчетно-экспериментальным способом [11].

В [6,7,11] нормы электропотребления для угольных шахт подразделяются на технологические и общепроизводственные, при определении которых обязательно должны учитываться потери энергии в энергетическом оборудовании и всех элементах системы электроснабжения. Общепроизводственная норма для шахты в целом вычисляется как отношение затрат активной электроэнергии в целом для шахты за расчетный период по добыче угля за один и тот же период:

$$H_{o.ш} = \frac{W_{o.ш}}{G_{ш}}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}, \quad (1)$$

где $W_{o.ш}$ – расход электроэнергии в целом для шахты, вычисляется как сумма общешахтных технологических затрат, затрат на вспомогательные нужды, освещение и потерь электроэнергии в системе электроснабжения шахты:

$$W_{o.ш} = W_{т.ш} + W_{т.комп.} + W_{з.осв.} + W_{з.др.} + W_{пот.},$$

где $W_{т.ш}$ – расход электроэнергии на основной технологический цикл без учета потерь, кВт · ч;

$W_{т.комп.}$ – расход электроэнергии на производство сжатого воздуха, кВт · ч;

$W_{з.осв.}$ – потребление электроэнергии на освещение, кВт · ч;

$W_{з.др.}$ – потребление электроэнергии другими подземными и поверхностными токоприемниками, кВт · ч;

$W_{пот.}$ – потери электроэнергии в системе электроснабжения шахты за расчетный период, кВт · ч;

$G_{ш}$ – добыча угля по шахте за расчетный период, тонн.

Аналогично вычисляется технологическая норма затрат реактивной энергии по шахте:

$$H_{o.ш} = \frac{V_{o.ш}}{G_{ш}}, \frac{\text{кВАр} \cdot \text{ч}}{\text{т}}, \quad (2)$$

где $V_{o.ш}$ – расход реактивной энергии в целом для шахте. Вычисляется как сумма общешахтных технологических затрат и затрат на вспомогательные нужды:

$$V_{o.ш} = V_{т.ш.} + V_{т.комп.} + V_{з.осв.} + V_{з.др.} + V_{пот.}, \quad (3)$$

где $V_{т.ш.}$ – расход электроэнергии на основной технологический цикл без учета потерь, кВАр ·ч;

$V_{т.комп.}$ – расход электроэнергии на производство сжатого воздуха, кВАр ·ч;

$V_{з.осв.}$ – расход электроэнергии на освещение, кВАр ·ч;

$V_{з.др.}$ – расход электроэнергии другими подземными и поверхностными (общешахтными) электропотребителями за расчетный период, кВАр ·ч;

$V_{пот.}$ – потери электроэнергии в системе электроснабжения шахты за расчетный период, кВАр ·ч.;

$V_{пот.}$ – это часть реактивной энергии, которая генерируется в электрическую сеть токоприемниками при режимах работы отличных от номинальных и создает дополнительные потери в активных сопротивлениях (потери активной мощности).

Определение всех составляющих суммарного расхода потребления электрической энергии достаточно полно описаны [6,11] и их корректность подтверждена многочисленными расчетами [6,11].

На рисунке 4, приведены графики, а в таблицах 2,3,4 – формулы для расчета технологических норм потребления электрической энергии стационарными установками графоаналитическим способом.

1. Вентиляторные установки

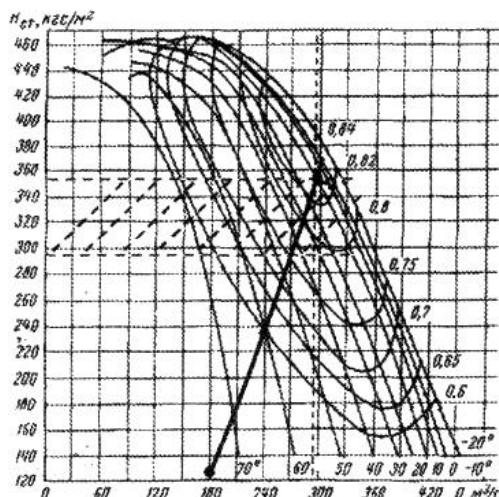


Рисунок 4 – Расчет технологической нормы потребления электроэнергии центробежными вентиляторными установками графоаналитическим способом

Таблица 2 – Определение технологической нормы потребления электроэнергии вентиляторной установкой

Активная энергия, кВт·ч	Реактивная энергия, кВАр	
	Синхронный двигатель	Асинхронный двигатель
$P_{ГВУ} = Q_B \cdot P_{общ} \cdot 1000 \cdot \eta_{р.д.} \cdot \eta_B$, кВт	$Q_{сд} = P_{ном} \cdot \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi$,	$Q_{АД} = 0,8 \cdot (P_n / \eta_n) \cdot \operatorname{tg} \varphi +$ $+k_3^2 [(P_n / \eta_n) \cdot \operatorname{tg} \varphi - 0,08 \cdot$ $\cdot (P_n / \eta_n) \cdot \operatorname{tg} \varphi]$
$W_{ГВУ} = \frac{8760 \cdot Q_B \cdot P_{общ}}{1000 \cdot \eta_B \cdot \eta_{г.д.}}$,	$W_{р.сут.} = +Q_{сд} \cdot 24$,	$W_{р.сут.} = -Q_{АД} \cdot 24$
$W_{а.в.} = \frac{W_{ГВУ}}{Q_B}$	$W_{р.в.} = \frac{W_{р.сут.}}{Q_B}$	

где $P_{ГВУ}$ – активная мощность, потребляемая вентиляторной установкой в зоне использования, кВт;

Q_B – производительность вентиляторной установки ($\text{м}^3/\text{с}$), определяемая положением рабочей точки;

$P_{общ}$ – общешахтная депрессия, $P_{общ} = (P_{мин} + P_{макс})/2$, Па;

$\eta_{р.д.}$ – реальный КПД электродвигателя вентилятора, вычисленный с учетом коэффициента загрузки K_3 :

$$\eta_{р.д.} = K_3 \cdot \eta_n, \quad (4)$$

где η_n – номинальный КПД электродвигателя вентилятора;

η_B – КПД вентиляторной установки, определяемый положение рабочей точки;

$W_{ГВУ}$ – активная электроэнергия потребляемая вентиляторной установкой за год, кВт·ч;

$W_{а.в.}$ – технологическая норма потребления активной энергии вентиляторной установкой, кВт·ч/(1000 м^3);

$Q_{сд}$ – реактивная мощность, потребляемая синхронным электродвигателем вентиляторной установки, кВАр;

β – коэффициент загрузки синхронного электродвигателя по активной мощности

$W_{р.гву}$ – реактивная энергия отдаваемая в сеть синхронным электродвигателем или потребляемая асинхронным, кВАр·ч;

$\operatorname{tg} \varphi$ – тангенс φ асинхронного электродвигателя $\operatorname{tg} \varphi = \arccos(\cos \varphi)$.

2. Водоотливные установки

Рабочую точку насоса находим решением системы уравнений вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} H = z(H_0 + A \cdot Q - B \cdot Q^2) \\ H = H_{\Gamma} + a \cdot Q^2 \\ \eta_p = \alpha \cdot Q_p - b \cdot Q_p^2 + c \cdot Q_p^3 \end{array} \right\}, \quad (5)$$

где H_{Γ} – геодезическая высота подачи, м; a – сопротивление трубопровода.

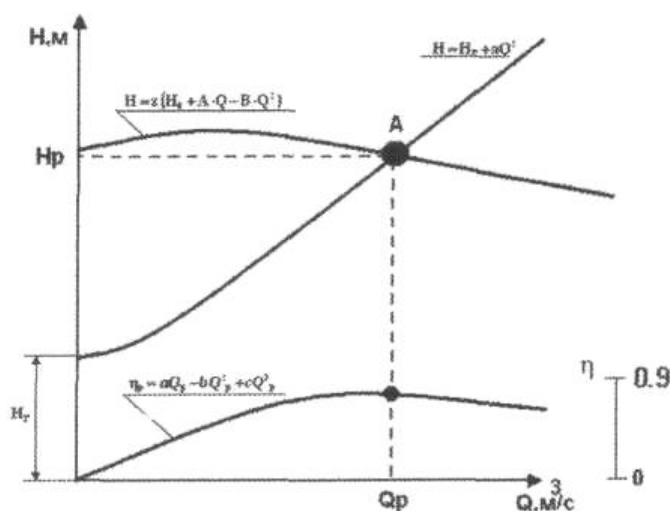


Рисунок 5 – Расчет технологической нормы потребления электроэнергии водоотливными установками графоаналитическим способом

Таблица 3 – Определение технологической нормы потребления электроэнергии водоотливными установками

Активная энергия	Реактивная энергия
$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_p \cdot H_p}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_p}, \text{ кВт}$	$Q_{\text{Адв}} = 0,8 \cdot (P_n / \eta_n) \cdot \text{tg}\varphi_n +$ $+ \kappa_3^2 [(P_n / \eta_n) \cdot \text{tg}\varphi_n - 0,08 \cdot (P_n / \eta_n) \cdot \text{tg}\varphi_n]$ кВАр
$W_{\text{ГОД.ВОД}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_p \cdot H_p}{1000 \cdot 3600 \cdot \eta_p \cdot \eta_{\text{дв}}} \cdot (305t_n + 60t_n), \text{ кВт}\cdot\text{ч}$	$W_{\text{р.ГОД.ВОД}} = Q_{\text{Адв}} \cdot (305t_n + 60t_n),$ кВАр·ч
$w_{\text{а.уд.}} = \frac{W_{\text{ГОД.ВОД.}}}{Q_{\text{год}}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$	$w_{\text{р.уд.}} = \frac{W_{\text{р.ГОД.ВОД.}}}{Q_{\text{год}}}, \text{ кВАр}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$

где P – активная мощность, потребляемая электродвигателем насоса, кВт;

ρ – плотность воды, т/м³;

Q_p – расчетная производительность насоса, определяемая положением рабочей точки А, м³/с ;

H_p – расчетный напор, м;

$W_{\text{год,вод.}}$ – активная энергии, потребляемая водоотливной установкой за год, кВт·ч;

$\eta_{\text{дв.}}$ – КПД электродвигателя насоса;

$\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса;

$t_{\text{н}}$ – число часов работы насоса в сутки при номинальном притоке, ч;

$t_{\text{м}}$ – число часов работы насоса в сутки при максимальном притоке, ч;

$W_{\text{а.уд.}}$ – технологическая норма потребления активной электроэнергии, кВт·ч/м³;

$Q_{\text{дв}}$ – реактивная энергии, потребляемая электродвигателем насоса, кВАр·ч;

$\text{tg } \varphi$ – тангенс φ электродвигателя;

k_3 – коэффициент загрузки каждого двигателя насоса, $k_3 = P/P_{\text{н}}$;

W_p – реактивная энергия, потребляемая двигателем насоса за год, кВАр·ч;

$W_{\text{р.уд.}}$ – технологическая норма потребления реактивной энергии за год, кВАр·ч/м³.

3. Компрессорные установки

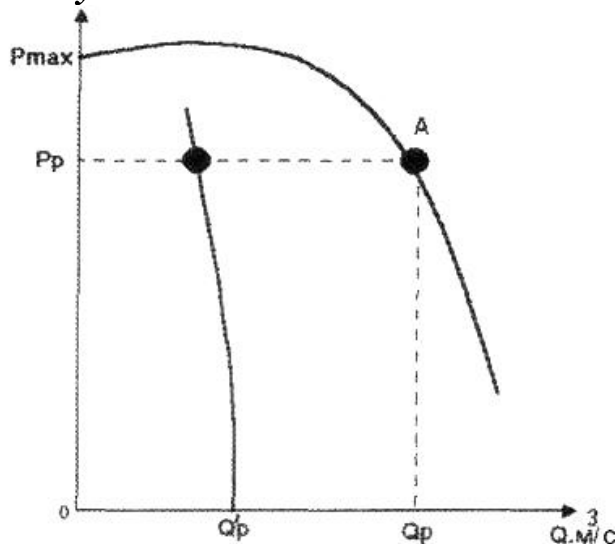


Рисунок 6 – Расчет технологической нормы потребления электроэнергии компрессорными установками графоаналитическим способом

Таблица 4 – Определение технологической нормы потребления электроэнергии компрессорными установками

Активная энергия	Реактивная энергия
$P_k = \frac{A \cdot Q_k}{102 \cdot 60 \cdot \eta_k \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{дв.}}}, \text{ кВт}$	$Q_{\text{СДк}} = P_{\text{ном}} \cdot \beta \cdot \text{tg}\varphi, \text{ кВАр}$
$W_{\text{Ксут}} = \frac{A \cdot Q_k \cdot t_{\text{р.к.}} \cdot (1 + \alpha_{\text{вс.к.}})}{102 \cdot 60 \cdot \eta_k \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{дв.}}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$	$W_{\text{рсут}} = Q_{\text{СДк}} \cdot 24, \text{ кВАр}\cdot\text{ч} / \text{сут}$
$w_{\text{а.к}} = \frac{W_{\text{Ксут}}}{V_k}, \frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{1000\text{м}^3}$	$w_{\text{р.к}} = \frac{W_{\text{рсут}}}{V_k}, \frac{\text{кВАр}\cdot\text{ч}}{1000\text{м}^3}$

где P_k – мощность электродвигателя компрессора, кВт;
 A – работа, необходимая для сжатия 1 м³ воздуха до заданного давления, Дж/м³;
 Q_k – подача компрессора, м³/с;
 η_k – КПД компрессорной установки: $\eta_k = 0,6 - 0,8$ для поршневых компрессоров; $\eta_k = 0,6 - 0,7$ для турбокомпрессоров;
 $\eta_{\text{п}}$ – КПД передачи компрессора;
 $\eta_{\text{дв}}$ – КПД электродвигателя;
 $t_{\text{р.к.}}$ – продолжительность работы компрессора за расчетный период, ч (определяется исходя из конкретных условий);
 $\alpha_{\text{вс.к.}} = P_{\text{вс.к.}}/P_{\text{у.к.}}$ – коэффициент, учитывающий часть мощности вспомогательных электродвигателей компрессорной установки;
 $P_{\text{вс.к.}}$ – установленная мощность вспомогательных электроприемников, кВт;
 $P_{\text{у.к.}}$ – установленная мощность электроприемников компрессорной установки, кВт;
 W_k – активная энергия, потребляемая компрессором за расчетный период, кВт·ч;
 W_p – реактивная энергия, отдаваемая синхронным двигателем, кВАр·ч;
 $W_{\text{а.к.}}$ – технологическая норма потребления активной энергии компрессорной установкой, кВт·ч/1000м³;
 $W_{\text{р.к.}}$ – технологическая норма отдаваемой реактивной энергии компрессорной установкой, кВАр·ч/1000 м³;
 V_k – количество сжатого воздуха, выработанное компрессором за расчетный период времени.

Выводы.

1 Общепроизводственная норма потребления электроэнергии определяется как сумма технологических норм расхода электроэнергии всех токоприемников шахты с учетом потерь в электрических сетях.

2 Потери электроэнергии в токоприемниках и электрических сетях в общепроизводственной норме представлены как некоторая часть технологической нормы и пределы изменения потерь не устанавливаются.

3 Применяемые расчетно-аналитические, графоаналитические и эмпирические методы определения технологических норм не позволяют устанавливать точность расчетов, которая во многом зависит от опыта и знаний специалистов, выполняющих расчеты.

4 Применяемые методы не учитывают специфику образования потерь электрической энергии в шахтных сетях, а именно: распределение электрических нагрузок в объемном пространстве, постоянное изменение координат расположения части нагрузок во времени и пространстве.

5 Понятие нормы не имеет строгого математического определения.

6 Необходимо разработать новый метод расчета потерь в шахтных электрических сетях, позволяющий нормировать потери с учетом специфики их образования.

Библиографический список

1 Закон України «Про енергозбереження». 01.07.94. № 74/94–ВР, №30, ст. 283.

2 Постанова Кабінету Міністрів України від 7 липня 2000р. №1071 «Про деякі заходи щодо раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів».

3 ДСТУ 2339-94. Енергозбереження. Основні положення.

4 ДСТУ 2420-94. Енергоощадність. Терміни та визначення.

5 ДСТУ 3176-95 (ГОСТ 30341-96). Енергозбереження. Методи визначення балансів електроспоживання гірничих підприємств.

6 ДСТУ 3224-95 (ГОСТ 30356–96). Енергозбереження. Методи визначення норм витрат електроенергії гірничими підприємствами.

7 СОУ 10.1-00185790-005:2006 Енергозбереження. Засоби зниження витрат електроенергії у системах електроспоживання вугільних шахт. – Київ: Мінвуглепром України, 2006 г. – 84с.

8 Методика «Нормирования удельных расходов топливно-энергетических ресурсов на шахтах Госуглепрома Украины». – Донецк, Донуги, 2001 г. – 28 с.

9 Отчет о проведении технико-экономического анализа уровня энергетического оборудования и выявления резервов энергосбережения на предприятии «ОП шахта им. XIX Партсъезда» ГП «Луганскуголь».

10 Эффективное использование электроэнергии и топлива в угольной промышленности/Н.И. Волощенко, Э. П. Островский, В.И. Мялковский и др. Под ред. Э.П. Островского, Ю.П. Миновского. – М.: Недра, 1990. – 407 с.

11 Грядций Б.А., Халимов В.В., Стукан Р.Н. Баланс электропотребления угольных шахт. – Донецк: ООО «Бго-Восток, ЛТД», 2005 г. – 250 с.

12 Постановление Кабинета Министров Украины от 15 июля 1997 г. №786 «Про порядок нормирования удельных затрат топливно-энергетических ресурсов в общественном производстве».

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Заблюдским Н.Н.