



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого»

Кафедра «Машины и технология литейного производства»

## **ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

### **ПРАКТИКУМ**

**для студентов специальности 1–36 02 01 «Машины  
и технология литейного производства»  
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2007

УДК 621.745.3(075.8)  
ББК 31.280.7я73  
О-75

*Рекомендовано научно-методическим советом  
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 10 от 29.06.2005 г.)*

Авторы-составители: *Н. Б. Одарченко, Л. Н. Русая*

Рецензент: канд. техн. наук, зав. каф. «Гидропневмоавтоматика»  
ГГТУ им. П. О. Сухого *А. В. Михневич*

**О-75** **Основы** энергосбережения : практикум для студентов специальности 1–36 02 01 «Машины и технология литейного производства» днев. и заоч. форм обучения / авт.-сост.: Н. Б. Одарченко, Л. Н. Русая. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 26 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

Практикум содержит теоретические сведения и задачи по расчету экономии энергии при эксплуатации электрооборудования, объемов выхода и использования вторичных энергоресурсов, теплового баланса печей, норм расхода топлива и электроэнергии на плавку для плавильного оборудования.

Для студентов специальности 1–36 02 01 «Машины и технология литейного производства» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 621.745.3(075.8)**  
**ББК 31.280.7я73**

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2007

## ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях развития цивилизации актуальным является обеспечение человечества достаточным количеством топлива и энергии, при том, что потребности людей все возрастают. Энергосбережение становится основным элементом современного подхода к развитию мировой энергетики.

Энергосбережение – это комплекс научно-технических, юридических, экономических, административных мер, позволяющих рационально использовать энергию на всех этапах ее преобразования.

Энергосбережение – это переход к энергоэффективным технологиям во всех отраслях экономики, максимальное использование возобновляемых источников энергии.

В Республике Беларусь для решения проблем энергосбережения приняты Закон об энергосбережении, система государственных программ, создана система управления энергосбережением, издается республиканский журнал «Энергоэффективность», издается серия книг.

В рамках курса «Основы энергосбережения» предусмотрены практические занятия, которые позволяют закрепить теоретический материал, ознакомиться с методиками расчета различных показателей, мероприятиями по эффективному использованию энергетических ресурсов.

Предлагаемое практическое руководство предназначено для студентов специальностей «Машины и технология литейного производства» и «Металлургическое производство и материалобработка».

Литейные и металлургические процессы очень энергоемки. Значительные затраты энергоносителей идут на плавку и доводку металла. В связи с этим, в руководстве кроме задач по расчету экономии энергии при эксплуатации электрооборудования, объемов выхода и использования вторичных энергоресурсов, предложены примеры расчета теплового баланса печей и норм расхода топлива и электроэнергии на плавку для плавильного оборудования.

# 1. ОЦЕНКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Электрическая энергия очень широко используется в производстве, в том числе на предприятиях машиностроения. Эффективное использование электроэнергии – часть энергосберегающей политики предприятий. Работа по рациональному использованию электроэнергии будет эффективной в том случае, если она подчинена определенной системе, основными элементами которой являются: учет и контроль расхода электроэнергии; составление электробалансов отдельных рабочих машин и агрегатов, цехов и предприятий в целом; нормирование электропотребления; разработка и реализация мероприятий по рациональному использованию электроэнергии.

## 1.1. Расчет реактивной мощности, потерь электроэнергии и оптимального коэффициента загрузки трансформатора.

Полная реактивная мощность, потребляемая трансформатором при данной его нагрузке, может быть вычислена по каталожным данным и представлена в виде суммы двух составляющих:

$$Q = Q_x + \Delta Q = Q_x + k_{нз}^2 \cdot \Delta Q_{кз}, \text{ квар}, \quad (1.1)$$

$Q_x = I_x \cdot S_n / 100$  - реактивная мощность холостого хода трансформатора, квар; (1.2)

$\Delta Q$  – прирост реактивной мощности трансформатора при данной его нагрузке, квар;

$\Delta Q_{кз} = u_k \cdot S_n / 100$  – прирост реактивной мощности трансформатора при его номинальной нагрузке, квар; (1.3)

$S_n$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$I_x$  - указываемая в паспорте величина тока холостого хода трансформатора, %;

$u_k$  - указываемая в паспорте величина напряжения короткого замыкания, %;

$k_{нз} = S / S_n$  – коэффициент нагрузки трансформатора;

$S$  - Мощность трансформатора при данном  $k_{нз}$ .

Коэффициент нагрузки трансформатора определяют из выражения:

$$k_{нз} = S / S_n = \mathcal{E}_a / S_n \cdot T_n \cdot \cos \varphi \quad (1.4)$$

$\mathcal{E}_a$  – расход электроэнергии, определяемый по показаниям счетчиков активной энергии за расчетный период;

$T_n$  – полное число часов работы трансформатора;

$\cos \varphi$  - средневзвешенный коэффициент мощности, определяемый по показаниям счетчиков реактивной и активной энергии.

Потери электроэнергии в двухобмоточном понижающем трансформаторе, кВтч:

$$\Delta \mathcal{E}_a = \Delta p_x \cdot T_n + k_{нз}^2 \cdot \Delta p_{к.з} \cdot T_{раб} \quad (1.5)$$

где  $\Delta p_x$  – потери холостого хода в трансформаторе, Вт;  
 $\Delta p_{к.з}$  – потери короткого замыкания при номинальной нагрузке (паспортные), Вт;

$T_{раб}$  – число часов работы с номинальной нагрузкой, ч.

Оптимальный коэффициент нагрузки трансформатора:

$$k_{нз.опт.} = \sqrt{\frac{\Delta p_x + k_э Q_x}{\Delta p_{к.з} + k_э \Delta Q_{к.з}}} \quad (1.6)$$

$k_э$  – коэффициент изменения потерь, кВт/квар. Задается предприятием энергосистемой или принимается по справочным данным.

$$k_э = 0,15 \text{ кВт/квар.}$$

Экономически целесообразная нагрузка трансформатора (при минимальных потерях) равна, кВА:

$$S_{опт} = k_{нз.опт.} \cdot S_n \quad (1.7)$$

Пример расчета.

Определить реактивную мощность, потери электроэнергии и оптимальный коэффициент нагрузки цехового трансформатора ТМ-400/10/0,4/0,23, имеющем следующие данные:  $S_n = 400$  кВА;  $\Delta p_x = 950$  Вт;  $\Delta p_{к.з} = 5900$  Вт;  $I_x = 2,1\%$ ;  $u_k = 4,5\%$ . Коэффициент нагрузки трансформатора  $k_{нз} = 0,75$ , полное время работы  $T_n = 744$  ч, время работы с номинальной нагрузкой  $T_{раб} = 400$  ч.

Реактивная мощность холостого хода трансформатора по формуле (1.2)  
 $Q_x = I_x \cdot S_n / 100 = 2,1 \cdot 400 / 100 = 8,4$  квар.

Прирост реактивной мощности при номинальной нагрузке (1.3)  
 $\Delta Q_{кз} = u_k \cdot S_n / 100 = 4,5 \cdot 400 / 100 = 18$  квар.

Полная реактивная мощность трансформатора при  $k_{нз} = 0,75$  (1.1)  
 $Q = Q_x + \Delta Q = Q_x + k_{нз}^2 \cdot \Delta Q_{кз} = 8,4 + 0,75^2 \cdot 18 = 18$  квар.

Потери электроэнергии при  $k_{нз} = 0,75$  (1.5)

$$\Delta \mathcal{E}_a = \Delta p_x \cdot T_n + k_{нз}^2 \cdot \Delta p_{к.з} \cdot T_{раб} = 0,95 \cdot 744 + 0,75^2 \cdot 5,9 \cdot 400 = 2197 \text{ кВтч.}$$

Оптимальный коэффициент загрузки трансформатора (1.6)

$$k_{нз.опт.} = \sqrt{\frac{\Delta p_x + k_э Q_x}{\Delta p_{к.з} + k_э \Delta Q_{к.з}}} = \sqrt{\frac{0,95 + 0,15 \cdot 8,4}{5,9 + 0,15 \cdot 18}} = 0,5$$

Экономически целесообразная нагрузка трансформатора (при минимальных потерях) равна (1.7):

$$S_{опт} = k_{нз.опт.} \cdot S_n = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ кВА}$$

## 1.2. Расчет мощности электродвигателя и экономии электроэнергии для насосных установок.

В насосных установках используют насосы различных типов и конструкций – центробежные, поршневые и роторные.

Центробежные насосы быстроходны, имеют относительно малые габариты и равномерную подачу, допускают автоматизацию управления с любой гидромеханической схемой. Используются для перекачки нефти, воды, кислот, сжиженных газов.

Поршневые насосы тихоходны, имеют относительно большие габариты и массу. Работают с пульсирующей передачей и колебанием давления. К преимуществам поршневых насосов относятся высокий КПД и возможность достижения значительных напоров даже при небольших подачах. Используются для перекачки различных жидкостей – вязких и текучих, чистых и имеющих посторонние примеси.

Роторные насосы работают, как поршневые непрерывного действия, вытесняя жидкость шестеренчатым или винтовым поршнем. Их применяют для перекачки очень вязких продуктов.

Мощность электродвигателя для привода насоса, кВт:

$$P = kQp10^{-3} / \eta_n \eta_n, \quad (1.8)$$

где  $k$  - коэффициент запаса ( при  $Q < 100 \text{ м}^3 / \text{ч}$ ,  $k = 1,1-1,3$ ; при  $Q > 100 \text{ м}^3 / \text{ч}$ ,  $k = 1,1-1,5$ );

$Q$  – Подача (производительность) насоса,  $\text{м}^3 / \text{ч}$ ;

$p$  – давление, развиваемое насосом, Па;

$\eta_n$  – КПД насоса (задается заводом-изготовителем);

$\eta_n$  – КПД передачи от электродвигателя к насосу. При соединении муфтой  $\eta_n = 0,98-1,0$ ; клиноременной передачей -  $\eta_n = 0,95$ ; плоскоременной -  $\eta_n = 0,9$ .

Давление, развиваемое насосом, Па:

$$p = H\gamma g, \quad (1.9)$$

$H$  – полная высота подачи жидкости (напор), м;

$\gamma$  - плотность перекачиваемой жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$g = 9,8 \text{ м}/\text{с}^2$  – ускорение силы тяжести.

В случае, когда частота вращения выбранного электродвигателя  $n_2$  не соответствует частоте вращения насоса  $n_1$ , делается пересчет необходимой мощности  $P_2$  :

$$P_2 = P_1 (n_2 / n_1)^2, \quad (1.10)$$

где  $P_1$  – мощность, определенная из формулы (1.8).

Удельный расход электроэнергии для любого режима работы насоса, кВтч/м<sup>3</sup>:

$$Y = 0,00272H / \eta_d \eta_n, \quad (1.11)$$

0,00272 – удельный расход электроэнергии, кВтч, затрачиваемой на подъем 1 м<sup>3</sup> на 1 м при КПД, равном 1;

$H$  – действительный напор насоса при данном режиме работы, м;

$\eta_d, \eta_n$  – КПД электродвигателя и насоса.

КПД центробежных насосов низкого напора 0,4-0,7, среднего - 0,5-0,7, высокого – 0,6-0,8. Насосы новых конструкций имеют КПД порядка 0,9.

Для повышения КПД насосов проводится замена устаревших малопроизводительных насосов насосами с высоким КПД. Расчет экономии электроэнергии, кВтч/год

$$\Delta \mathcal{E} = 0,00272HQ T / [\eta_d (\eta_{нов} - \eta_{зам})], \quad (1.12)$$

где

$H$  – напор, м;

$Q$  – Действительная подача насоса, м<sup>3</sup>/ч;

$T$  – число часов работы насоса в год;

$\eta_{нов}, \eta_{зам}$  – КПД нового и заменяемого насосов.

Пример расчета.

Определить мощность электродвигателя для насоса, перекачивающего бензин (880 кг/м<sup>3</sup>). Производительность насоса  $Q=100$  м<sup>3</sup>/ч (0,028 м<sup>3</sup>/с); напор  $H=98$  м; частота вращения  $n_1=2940$  об/мин;  $\eta_n=0,62$ ;  $\eta_d=0,98$ .

Давление, развиваемое насосом по формуле (1.9):

$$p = 98 \cdot 880 \cdot 9 \cdot 81 = 846014,4 \text{ Па.}$$

Мощность электродвигателя по (1)

$$P = \frac{0,028 \cdot 846014,4 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}}{0,62 \cdot 0,98} = 46,78 \text{ кВт.}$$

Выбираем по каталогу электродвигатель ближайшей номинальной мощности  $P_n = 55$  кВт с номинальной частотой вращения  $n_n = 2985$  об/мин. Так как частота вращения электродвигателя не совпадает с частотой вращения насоса, делаем пересчет по формуле (1.10) и определяем, какую мощность  $P_2$  должен иметь выбранный электродвигатель, чтобы обеспечить заданную производительность насоса:

$$P_2 = 46,78 (2985/2940)^2 = 49 \text{ кВт.}$$

Выбранный двигатель мощностью 55 кВт обеспечит требуемую производительность насоса.

Удельный расход электроэнергии для любого режима работы насоса (1.11):  $Y = 0,00272 \cdot 98 / 0,62 \cdot 0,98 = 0,62$  кВтч/м<sup>3</sup>.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ВЫХОДА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭР

Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) - это энергия, получаемая в ходе любого технологического процесса в результате недоиспользования первичной энергии или в виде побочного продукта основного производства и не применяемая в этом технологическом процессе.

Необходимость использования ВЭР объясняется тем, что коэффициент полезного использования (КПИ) энергоресурсов в Республике Беларусь и странах СНГ – главный показатель эффективности производства – не достигает 40 %, что свидетельствует о существовании больших резервов экономии.

Утилизация ВЭР позволяет получить большую экономию топлива, существенно снизить капитальные затраты на создание соответствующих энергосберегающих установок.

Одними из основных показателей использования ВЭР являются:

выход ВЭР – масса вторичных энергоресурсов, которые образовались в данной установке за определенный период времени (час, сутки, месяц, квартал, год) и пригодны к использованию в этот период;

использование ВЭР – масса вторичных энергоресурсов какого-либо агрегата, употребленных в других установках и системах. ВЭР могут быть утилизированы без изменения вида энергоносителя или путем преобразования их в другие виды энергии для выработки теплоты, холода и механической работы, полученной в утилизационной установке.

Выход и использование ВЭР рассчитывают или в единицу времени (1 ч) работы агрегата-источника ВЭР, или в удельных показателях на единицу продукции (сырья).

Удельный (часовой) выход ВЭР определяется произведением удельного (часового) количества энергоносителя на его энергетический потенциал.

Энергетический потенциал энергоносителей определяется :

для горючих ВЭР — низшей теплотой сгорания  $Q_{H}^P$ ;

для тепловых ВЭР — перепадом энтальпий  $\Delta h$ ;

для ВЭР избыточного давления — работой изоэнтропного расширения  $l$ .

В качестве единиц измерения потенциала приняты единицы измерения энергии (кДж, кВт).

Единицами измерения количества энергоносителя служат единицы массы (кг, т); для газообразных теплоносителей — единицы объема ( $m^3$  при нормальных физических условиях,  $P = 760$  мм рт. ст. и  $t = 0^\circ C$ ).

Удельный общий выход ВЭР определяется по формулам:

для горючих ВЭР:

$$q^{\Gamma} = m Q^P_H, \text{ кДж/ч}; \quad (2.1)$$

для тепловых ВЭР:

$$q^T = m c (t - t_0) = m \Delta h, \text{ кДж/ч}; \quad (2.2)$$

для ВЭР избыточного давления:

$$q^H = m l, \text{ кДж/ч}. \quad (2.3)$$

Общий объем выхода ВЭР:

$$Q_{\text{ВЫХ}} = q M \quad (2.4)$$

или

$$Q_{\text{ВЫХ}} = q_{\text{ч}} \tau. \quad (2.5)$$

Здесь  $m$  — удельное (часовое) количество энергоносителя в виде твердых, жидких или газообразных продуктов, кг (м<sup>3</sup>)/ч;

$\Delta h$  — располагаемый перепад энтальпий энергоносителя, кДж/кг;

$l$  — работа изоэнтропного расширения, кДж/кг;

$Q_{\text{ВЫХ}}$  — общий объем выхода ВЭР за рассматриваемый период, кДж;

$M$  — выход основной продукции или расход сырья (топлива) за рассматриваемый период;

$\tau$  — число часов работы установки-источника ВЭР за указанный период;  $q$  — удельный выход ВЭР.

Иногда в практических расчетах удельный и общий объем выхода ВЭР относят не к единице времени, а к единице продукции, т.е. имеет размерность кДж/ед. продукции.

Низшую теплоту сгорания горючих. ВЭР  $Q^P_H$  определяют экспериментальным путем или по известным в теплотехнике формулам в зависимости от элементарного состава.

Перепад энтальпий  $\Delta h$  для тепловых ВЭР определяется в зависимости от температуры энергоносителя на выходе из агрегата (источника ВЭР), а также от температуры окружающей среды.

В расчетах ВЭР обычно определяют средний выход ВЭР для установившегося технологического режима.

Выход ВЭР за рассматриваемый период времени (сутки, месяц, квартал, год) определяют, исходя из удельного или часового выхода, по формуле

$$Q_{\text{ВЫХ}} = q \Pi 10^{-6}, \text{ Г} \quad (2.6)$$

или

$$Q_{\text{ВЫХ}} = q_{\text{ч}} \tau 10^{-6}, \text{ ГДж} \quad (2.7)$$

где  $q$  — удельный выход ВЭР, кДж/ед. продукции;

$\Pi$  — выпуск основной продукции (расход сырья, топлива), к которой отнесен удельный выход ВЭР, за рассматриваемый период, ед. продукции;

$q_{\text{ч}}$  — часовой выход ВЭР, кДж/ч;

$\tau$  — время работы агрегата-источника ВЭР за рассматриваемый период, ч.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭР

Экономия топлива в целом зависит от направления использования ВЭР и схемы энергоснабжения предприятия, где они используются. Различают направления: тепловое, электроэнергетическое, комбинированное и топливное.

При тепловом направлении использования и отдельной схеме энергоснабжения предприятия экономию топлива определяют по формуле

$$B_{\text{эк}} = b_3 Q_{\text{И}} = b_3 Q_{\text{Т}} \sigma, \text{ т у.т.}, \quad (3.1)$$

где  $Q_{\text{И}}$  — использование тепловых ВЭР, ГДж (Гкал);

$Q_{\text{Т}}$  — выработка тепловой энергии за счет ВЭР в утилизационной установке, ГДж (Гкал);

$\sigma$  — коэффициент использования тепловой энергии, выработанной за счет ВЭР;

$b_3$  — удельный расход топлива на выработку теплоэнергии в заменяемой котельной установке, т у.т./ГДж (Гкал).

При использовании ВЭР для получения холода в абсорбционных холодильных установках экономия топлива может быть определена по формуле (8), подставляя вместо  $Q_{\text{К}}$  количество выработанного холода  $Q_{\text{Х}}$  деленное на холодильный коэффициент, т.е.

$$B_{\text{эк}} = b_3 Q_{\text{Х}} / \epsilon, \text{ т у.т.} \quad (3.2)$$

При электроэнергетическом направлении использования ВЭР экономия топлива равна:

$$B_{\text{эк}} = b_3 W, \text{ т у.т.} \quad (3.3)$$

При топливном направлении использования горючих ВЭР экономия топлива определяется из выражения

$$B_{\text{эк}} = B_{\text{И}} \eta_{\text{вэр}} / \eta_{\text{Т}}, \text{ т у.т.} \quad (3.4)$$

Здесь  $B_{\text{И}}$  — величина использования горючих ВЭР, т у.т.;

$\eta_{\text{вэр}}$  — КПД топливоиспользующего агрегата при работе на горючих ВЭР;

$\eta_{\text{Т}}$  — КПД того же агрегата при работе на первичном топливе.

Исходя из расчетов экономии топлива за счет использования ВЭР, определяется коэффициент утилизации ВЭР, характеризующий степень использования отдельных видов ВЭР на предприятии, по городу, области, отрасли промышленности и т.д.

#### 4. НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ЭНЕРГИИ НА ПЛАВКУ

В технологическую норму расхода электрической энергии на выплавку жидкого металла включается:

$W_{эн}$  – норма расхода электрической энергии на нагрев шихты и плавление металла;

$W_{тех}$  – норма расхода электрической энергии в технологический период плавки;

$W_{всп}$  – норма расхода электрической энергии во вспомогательный период плавки;

$W_{зн}$  – норма расхода электрической энергии на горячие простои печей;

$W_p$  – норма расхода электрической энергии на разогрев и пуск печей после текущих ремонтов и холодных простоев.

Технологическая норма расхода электрической энергии на производство одного вида жидкого металла на однотипных печах определяется из выражения

$$W = W_{эн} + W_{тех} + W_{всп} + W_{зн} + W_p \quad (4.1)$$

##### 4.1 Определение нормы расхода электрической энергии на нагрев шихты и плавление металла

Норма расхода электрической энергии на нагрев шихты и плавление металла определяется из выражения:

$$W_{эн} = W_{пол} + W_{ном} \quad (4.2)$$

где:  $W_{пол}$  – полезный удельный расход электрической энергии на нагрев шихты и плавление металла, кВт.-ч/т;  $W_{ном}$  – удельный расход электрической энергии на тепловые и электрические потери энергии в период нагрева шихты и плавления металла, кВт-ч/т.

Полезный удельный расход электрической энергии на нагрев шихты и плавление металла определяется по формуле:

$$W_{пол} = \frac{1000 \cdot i_m}{860} \text{ кВт-ч/т} \quad (4.3)$$

где:  $i_m$  – энтальпия (теплосодержание) металла, ккал/кг;

$$i_m = \{a_1 [c_1 t_{нл1} + q_{нл1} + c_{жс1} (t_{кон} - t_{нл1})] + a_2 [c_2 t_{нл2} + q_{нл2} + c_{жс2} (t_{кон} - t_{нл2})] + \dots + a_n [c_n t_{нлн} + q_{нлн} + c_{жсн} (t_{кон} - t_{нлн})]\} / (1 - a_{воз}) \quad (4.4)$$

Удельный расход электрической энергии на тепловые и электрические потери энергии в период нагрева шихты и плавления металла определяется из выражения:

$$W_{nom} = \frac{W_{насп} - W'_{пол}}{\tau_{насп}} \cdot \tau_{пл} \quad (4.5)$$

где:  $W_{насп}$  - расчетная норма расхода электрической энергии на нагрев шихты и плавление металла, кВт-ч/т, берется из приложения 2 или паспорта печи;

$W'_{пол}$  - полезный удельный расход электрической энергии, принятый конструкторами при расчете электропечи (кВт-ч/т)

- для стали - 330

- для чугуна - 330

- для алюминиевых сплавов – 240

$\tau_{насп}$  - расчетное время нагрева шихты и плавления металла, ч, берется из приложения 2 или паспорта печи;

$\tau_{пл}$  - технологическое время нагрева шихты и плавления металла, ч, берется из технологической инструкции на выплавку металла.

#### **4.2. Определение нормы расхода электрической энергии в технологический период плавки.**

При полном цикле выплавки стали (наличие окислительного и восстановительного периодов) норма расхода электрической энергии в технологический период плавки определяется из выражения:

$$W_{tex} = W_{шл} + W_{лэ} + W_{энд} + W_{под} + W_{ном2} + W_{экз} \quad (4.6)$$

где:  $W_{шл}$  - расход электрической энергии на наведение специального шлака в технологический период, кВт-ч/т;

$W_{лэ}$  - удельный расход электрической энергии на нагрев и расплавление легирующих компонентов (например, ферросплавов), кВт-ч/т, рующих компонентов (например, ферросплавов), кВт-ч/т,

$W_{энд}$  - удельный расход электрической энергии на эндотермические реакции, кВт-ч/т, для проведения эндотермических реакций при выплавке стали в окислительный период необходимо затратить (в среднем) 26... 42 кВт-ч/т (для индукционных печей принимают меньшие значения);

$W_{под}$  - удельный расход электрической энергии на подогрев металла в технологический период, кВт-ч/т;

$W_{ном2}$  - удельный расход электрической энергии на тепловые и электрические потери энергии в технологический период плавки, кВт-ч/т;  $W_{экз}$  - компенсация удельного расхода электрической энергии за счет тепла, выделенного в результате экзотермических реакций окисления элементов металла, кВт-ч/т.

Определение удельного расхода электрической энергии на наведение специального шлака в технологический период.

$$W_{шл} = K \cdot i_{шл} \quad (4.7)$$

где:  $K$  – кратность шлака (отношение массы шлака к массе жидкого металла (для индукционных печей принимаются меньшие значения)

в окислительный период  $K = 0,02 \dots 0,04$

в восстановительный период  $K = 0,04 \dots 0,06$

$i_{шл}$  – энтальпия (теплосодержание) шлака, в среднем 580–750 кВт-ч/т шлака.

Определение удельного расхода электрической энергии на нагрев и расплавление легирующих компонентов шихты.

$$W_{лэ} = \frac{g_{лэ} \cdot i_{лэ}}{860} \quad (4.8)$$

где:  $g_{лэ}$  – суммарная масса легирующих компонентов, приходящихся на 1 т жидкого металла, кг/т, берется из расчета шихты (сверх 1 00 %);  $i_{лэ}$  – энтальпия легирующих компонентов, ккал/кг, рассчитывается по формуле (4.4):

$$i_{лэ} = \{ a_1 [ c_1 \cdot t_{нл1} + q_{нл1} + c_{ж1} (t_{кон} - t_{нл1}) ] + a_2 [ c_2 \cdot t_{нл2} + q_{нл2} + c_{ж2} (t_{кон} - t_{нл2}) ] + \dots \} \\ \dots + a_n [ c_n \cdot t_{нлn} + q_{нлn} + c_{жn} (t_{кон} - t_{нлn}) ] \} \cdot 1 / (1 - a_{воз})$$

где:  $a_{воз}$  – доля возврата в металлозавалке;  $a_1, a_2, \dots, a_n$  – соответственно доли содержания легирующих компонентов шихты в металлозавалке (из расчета шихты);  $c_1, c_2, \dots, c_n$  – теплоемкость каждого легирующего компонента, ккал/кг °С (приложение 1);  $q_{нл1}, q_{нл2}, \dots, q_{нлn}$  – теплота плавления легирующих компонентов (приложение 1);  $t_{нл1}, t_{нл2}, \dots, t_{нлn}$  – температура плавления легирующих компонентов, °С, (приложение 1);  $c_{ж1}, c_{ж2}, \dots, c_{жn}$  – теплоемкости жидкой фазы легирующих компонентов, ккал/кг °С;  $t_{кон}$  – температура в конце энергетического периода, °С.

Определение удельного расхода электрической энергии на эндотермические реакции

$$W_{энд} = \frac{1}{860} \cdot x_1 \cdot Q_{об1} + x_2 \cdot Q_{об2} + \dots + x_i \cdot Q_{оби} \quad (4.9)$$

где:  $x_1, x_2, \dots, x_i$  – масса образующихся соединений, кг/т жидкого металла;

$Q_{об1}, Q_{об2}, \dots, Q_{оби}$  – теплота образования данного соединения, ккал/кг, берется из справочной литературы;

Определение удельного расхода электрической энергии на подогрев металла в технологический период.

$$W_{\text{под}} = \frac{1000}{860} \cdot C_{\text{ж}} \cdot \Delta t \quad (4.10)$$

где:  $C_{\text{ж}}$  – теплоемкость жидкого металла, ккал/кг $^{\circ}$ С рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ж}} = \frac{i_{\text{м}}}{t_{\text{кон}}} \quad (4.11)$$

где:  $i_{\text{м}}$  – рассчитывается по формуле (4.4)

$\Delta t$  – перепад температур в начале и конце технологического подогрева.  $^{\circ}$ С, берется из технологической инструкции на выплавку металла;

$$\Delta t = t_{\text{вып}} - t_{\text{кон}} \quad (4.12)$$

где:  $t_{\text{вып}}$  – температура выпуска металла. Обычно подогрев жидкой стали в технологический период производится на 100 - 150  $^{\circ}$ С.

Определение удельного расхода электрической энергии на тепловые и электрические потери энергии в технологический период.

$$W_{\text{пот2}} = \frac{0.75(W_{\text{насп}} - W'_{\text{пол}})}{\tau_{\text{насп}}} \cdot \tau_T \quad (4.13)$$

где  $\tau_T$  - продолжительность технологического периода, ч, берется из технологической инструкции на выплавку металла.

Коэффициент 0,75 учитывает уменьшение электрических потерь за счет работы печи на пониженных ступенях мощности.

Определение компенсации удельного расхода электрической энергии за счет тепла, выделенного в результате экзотермических реакций окисления элементов металла.

$$W_{\text{энд}} = \frac{1}{860} \cdot (y_1 \cdot Q_1 + y_2 \cdot Q_2 + \dots + y_i \cdot Q_i) \quad (4.14)$$

где:  $y_1, y_2, \dots, y_n$  - угар соответствующих элементов шихты, кг/т жидкого металла, берется из расчета шихты;

$Q_1, Q_2, \dots, Q_i$  - теплота сгорания данного элемента, ккал/кг, берется из справочной литературы.

При выплавке жидкой стали и чугуна:

$$W_{\text{экз}} = 7.5 \cdot y_{\text{Si}} + 20y_{\text{Mn}} + 2.8y_{\text{C}} + 1.3y_{\text{Fe}} \quad (4.15)$$

где:  $y$  – угар элементов кремния, марганца, углерода, железа, кг/т жидкой стали.

### 4.3. Определение нормы расхода электрической энергии во вспомогательный период плавки.

Во вспомогательный период включается очистка и заправка печи, загрузка шихты в печь, выпуск металла

$$W_{всп} = \frac{0.5(W_{насп} - W'_{пол})}{\tau_{насп}} \cdot \tau_{всп} \quad (4.16)$$

где:  $\tau_{всп}$  - продолжительность вспомогательного периода, ч, определяется из технологической инструкции на выплавку металла и как сумма:

$$\tau_{всп} = \tau_{оч} + \tau_6 + \tau_3 \quad (4.17)$$

где:  $\tau_{оч}$  - продолжительность периода очистки и заправки печи, ч;

$\tau_3$  - продолжительность периода загрузки шихты в печь, ч;

$\tau_6$  - продолжительность выпуска металла, ч.

### 4.4. Определение удельного расхода электрической энергии на горячие простои печи

$$W_{zn} = \frac{0,5(W_{насп} - W'_{пол})}{\tau_{насп}} \cdot \tau_{zn} \quad (4.18)$$

Коэффициент 0,5 - учитывает отсутствие электрических потерь за счет отключения печи.

где:  $\tau_{zn}$  - удельное время горячих простоев, ч/плавка;

$$\tau_{zn} = \tau_{\phi} - \tau_n \quad (4.19)$$

где:  $\tau_{\phi}$  - фактическая продолжительность межплавочного периода, ч;

$\tau_n$  - технологическая продолжительность межплавочного периода, ч, берется из технологической инструкции на выплавку металла.

$$\tau_{\phi} = \frac{q_0 \cdot K_{ем} \cdot n \cdot T_q}{G_M} \quad \text{или} \quad \tau_{\phi} = \frac{P_{насп} \cdot n \cdot T_q}{G_M} \quad (4.20)$$

где:  $q_0$  - номинальная емкость печи, т, берется из паспорта печи;

$K_{ем}$  - отношение фактической емкости к номинальной, берется из прилож.2;

$n$  - количество печей одного типа, шт.; берется из альбома расчетов мощностей литейного цеха, если в цехе не одна, а несколько работающих печей.

$T_q$  - действительный фонд работы плавильной печи, ч; берется из альбома расчетов мощностей литейного цеха.

$G_M$  - масса выпуска жидкого металла для одного вида плавильных печей.  
 $P_{насп}$  - паспортная производительность, т/ч, берется из приложения 2 или паспорта печи.

#### **4.5. Определение нормы расхода электрической энергии на разогрев и пуск печей после текущих ремонтов и холодных простоев.**

Норма расхода электрической энергии на разогрев и пуск печей после текущих ремонтов и холодных простоев определяется из выражения:

$$W_p = \frac{W_{эн} \cdot \tau_p \cdot N}{T_q} \quad (4.21)$$

где:  $\tau_p$  - среднее по цеху время разогрева одной печи, ч;

$N$  - среднее по цеху число разогревов одной печи, шт.

При изменении мощности трансформатора печи, емкости печи:

$$\tau_{насп} = \frac{1,3 \cdot Q_{пол} \cdot q_0 \cdot K_{эм}}{P_{тр} \cdot P_{мер}} ; \quad Q_{насп} = \frac{P_{тр}}{q_0 \cdot K_{эм} \cdot k_{мер}} \quad (4.22)$$

где:  $Q_{пол} = 330$  кВт-ч/т

$q_0$  - новая номинальная емкость печи, т;

$P_{тр}$  - максимальная мощность трансформатора, кВт;

$K_{мер} = 0,85$ ,

$K_{эм}$  - отношение фактической емкости печи к номинальной (расчетной).

## 5. НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА НА ПЛАВКУ ЧУГУНА В ВАГРАНКЕ

В технологическую норму расхода топлива на плавку чугуна входят следующие операции: плавка чугуна в вагранке, розжиг вагранки, подогрев воздуха для дутья, обогрев копильника или миксера, т.е.:

$$B_{\text{ч}} = B_{\text{пл}} + B_{\text{роз}} + B_{\text{д}} + B_{\text{об}} \quad (5.1)$$

где:  $B_{\text{пл}}$  - удельный расход топлива на плавку чугуна, кг усл. топл/т жидкого чугуна;  $B_{\text{роз}}$  - удельный расход топлива при розжиге вагранки, кг усл.топл/т жидкого чугуна;  $B_{\text{д}}$  - удельный расход топлива на подогрев дутья, кг усл.топл/т жидкого чугуна;  $B_{\text{об}}$  - удельный расход топлива на обогрев копильника, кг усл.топл/т жидкого чугуна.

Удельный расход топлива на плавку чугуна в вагранке.

$$B = \left[ \frac{1000 \cdot i_{\text{в}}}{Q_{\text{н}}^{\text{п}} \cdot \kappa \cdot \eta_{\text{в}}} + \frac{\pi \cdot N_{\text{в}} \cdot n_{\text{к}} \cdot D^2 \cdot \rho_{\text{к}} \cdot Q_{\text{нл}}^{\text{п}}}{2 \cdot G_{\text{л1}}} \cdot \frac{Q_{\text{нл}}^{\text{п}}}{Q_{\text{н}}^{\text{п}}} \right] \cdot \Pi \quad (5.2)$$

где  $i_{\text{м}}$  - энтальпия (теплосодержание) чугуна, ккал/кг, определяется по формуле:

$$i_{\text{м}} = \left\{ a_1 [c_1 \cdot t_{\text{нл1}} + q_{\text{нл1}} + c_{\text{ж1}} (t_{\text{кон}} - t_{\text{нл1}})] + a_2 [c_2 \cdot t_{\text{нл2}} + q_{\text{нл2}} + c_{\text{ж2}} (t_{\text{кон}} - t_{\text{нл2}})] + \dots \right. \\ \left. \dots + a_n [c_n \cdot t_{\text{нлн}} + q_{\text{нлн}} + c_{\text{жн}} (t_{\text{кон}} - t_{\text{нлн}})] \right\} \cdot 1 / (1 - a_{\text{воз}}) \quad (5.3)$$

где:  $a_{\text{воз}}$  - доля возврата в металлозавалке;  $a_1, a_2, \dots, a_n$  - соответственно доли содержания компонентов шихты в металлозавалке (из расчета шихты);  $c_1, c_2, \dots, c_n$  - теплоемкость каждого компонента металлозавалки, ккал/кг °С (прил. 1);  $q_{\text{нл1}}, q_{\text{нл2}}, \dots, q_{\text{нлн}}$  - теплота плавления компонентов металлозавалки (приложение 1);  $t_{\text{нл1}}, t_{\text{нл2}}, \dots, t_{\text{нлн}}$  - температура плавления компонентов металлозавалки, °С, (прил. 1);  $c_{\text{ж1}}, c_{\text{ж2}}, \dots, c_{\text{жн}}$  - теплоемкости жидкой фазы компонентов металлозавалки, ккал/кг °С;  $t_{\text{кон}}$  - температура в конце энергетического периода, °С;  $\eta_{\text{в}}$  - паспортный коэффициент полезного действия вагранки с рекуператором (= 0,5);  $n_{\text{к}}$  - высота холостой колоши, м;  $N_{\text{в}}$  - число розжигов вагранки в рассчитываемый период работы вагранки, раз;  $\rho_{\text{к}}$  - плотность кокса, кг/м<sup>3</sup>;  $D$  - диаметр внутренний шахты вагранки, м;  $G_{\text{л1}}$  - объем выплавленного чугуна в рассчитываемый период, т;

$Q_{нт}^p$  - теплота сгорания используемого топлива, ккал/кг;  $Q_H^p$  - теплота сгорания условного топлива (= 7000 ккал/кг);  $\Pi$  - коэффициент потерь кокса при отсеивании и просыпи (= 1,1);

Удельный расход топлива на розжиг вагранки.

$$B_{роз} = \frac{\Sigma B_{\epsilon}}{G_{л1}} \cdot \frac{Q_{нт}^p}{Q_H^p} \quad (5.4)$$

где:  $B_{\epsilon}$  - расход топлива на розжиг одной вагранки в рассчитываемый период, кг(нм<sup>3</sup>)/месяц(год),  $\Sigma B$  принимается в случае работы нескольких вагранок;

$$B_{\epsilon} = \frac{5}{8} m \cdot B_{\text{зоп}} \cdot N_{\epsilon} \cdot \tau_{\epsilon} \quad (5.5)$$

где:  $\tau_{\epsilon}$  - длительность одного розжига, час.;  $N_{\epsilon}$  - число розжигов вагранки в рассчитываемый период работы вагранки;  $m$  - количество установленных газовых горелок на вагранке для ее розжига, шт.;  $B_{\text{зоп}}$  - максимальная расходная характеристика горелки, нм<sup>3</sup>/час (кг/час);  $5/8$  - коэффициент усреднения работы горелок (статистические данные).

Удельный расход топлива на подогрев воздуха дутья.

$$B_{\text{д}} = \frac{B_{\text{пл}} \cdot L_{\text{м}} \cdot i_{\epsilon}}{Q_{\text{нк}}^p \cdot \eta_{\text{под}} \cdot \Pi} \quad (5.6)$$

где:  $i_{\epsilon}$  - теплосодержание нагретого воздуха, ккал/кг;  $\eta_{\text{под}}$  - КПД воздухоподогревателя (рекуператора);  $Q_{\text{нк}}^p$  - теплота сгорания литейного кокса, ккал/кг;  $L_{\text{м}}$  - расход воздуха для сжигания 1 кг кокса, кг/кг.

Для расчетов можно принять  $L_{\text{м}} = 14$  кг воздуха/кг кокса.

Удельный расход топлива на обогрев копильника или миксера.

$$B_{\text{об}} = \frac{\Sigma B_{\text{кон}}}{G_{л1}} \cdot \frac{Q_{нт}^p}{Q_H^p} \quad (5.7)$$

где:  $B_{\text{кон}}$  - расход топлива на обогрев одного копильника (миксера) в рассчитываемый период (год, месяц и т.п.).

$$B_{\text{кон}} = \frac{5}{8} \cdot m \cdot B_{\text{зоп}} \cdot T \cdot \chi \quad (5.8)$$

где  $\chi$  - коэффициент использования мощности, принимается равным 0,85–1,0;  $m$  - количество установленных газовых горелок на вагранке для ее розжига,

шт;  $5/8$  – коэффициент усреднения работы горелок (статистические данные);  
 $B_{гор}$  - максимальная расходная характеристика горелки,  $\text{нм}^3/\text{час}$  ( $\text{кг}/\text{час}$ );

$T$  – длительность работы горелок, час.

Пример расчета технологической нормы расхода электроэнергии на выплавку углеродистой стали 20Л в кислой дуговой печи ДС-5МТ

1. Определение нормы расхода электрической энергии на нагрев шихты и плавление металла. Из расчета шихты для выплавки стали 20Л:

Таблица 5.1

Шихтовые материалы	Марка	Со- дер- жа- ние в шихте, %	Содержание основных элементов, %					
			Углерод		Кремний		Марганец	
			В ма- те- риале	В ших- те	В ма- те- риале	В шихте	В ма- те- риале	В шихте
Лом стальной не легированный, собственный	2А	54,6	0,3	0,164	0,2	0,109	0,4	0,218
Лом стальной покупной	2А-4А	8,51	0,5	0,043	0,2	0,017	0,4	0,034
Возврат литейного производства	20Л	35,3	0,23	0,081	0,4	0,141	0,63	0,22
Ферромарганец высокоуглеродистый	ФМн70	0,5	7,0	0,035	6,0	0,03	70,0	0,35
Ферросилиций	ФС45	0,14	-	-	44,0	0,046	0,6	0,001
Силикомарганец	МnC17	0,95	1,7	0,016	18,45	0,175	65,0	0,617
<b>ИТОГО:</b>		<b>100,0</b>	<b>-</b>	<b>0,339</b>	<b>-</b>	<b>0,518</b>	<b>-</b>	<b>1,44</b>
Угар			<b>-</b>	<b>0,136</b>	<b>-</b>	<b>0,311</b>	<b>-</b>	<b>0,72</b>
Содержание элементов в жидком металле				<b>0,203</b>		<b>0,207</b>		<b>0,72</b>
Выход годного, %	<b>58,7</b>							
Угар и безвозвратные потери, %	<b>6,0 из них в жидком металле угорает 1 % железа</b>							

Для расчета теплосодержания металла принимаем следующий состав металлической шихты: лом стальной углеродистый 64,7%; возврат литейного производства 35,3 %. Ферросплавы вследствие их малого количества включены состав стального углеродистого лома.

1. В соответствии с формулой (4.4), принятым для расчета составом шихтовых материалов и теплофизическими свойствами шихтовых материалов (Приложение 1), находим энтальпию (теплосодержание) металла:

$$i_M = \frac{1}{1 - 0,353} [0,647(0,168 \cdot 1510 + 65) + 0,2(1560 - 1510)] = 328,68 \text{ ккал}/\text{кг}^\circ\text{C}$$

Определяем полезный удельный расход электрической энергии на нагрев шихты и плавление металла по формуле (4.3):

$$W_{пол} = \frac{1000 \cdot 328.68}{860} = 328.2 \text{ кВт-ч/т}$$

Из Приложения 2 для плавильной печи ДС-5МТ находим расчетную норму расхода электрической энергии на нагрев шихты и плавление металла:

$$W_{расч} = 440 \text{ кВт-ч/т} \quad W_{пол}^1 = 330 \text{ кВт-ч/т}$$

Время нагрева шихты и плавление металла (из технологической инструкции на плавку металла):

$$\tau_{расч} = 1,481 \text{ ч}$$

По формуле (4.5) определяем удельный расход электроэнергии на тепловые и электрические потери. При этом технологическое время (из инструкции на плавку металла) на нагрев шихты и плавку металла:  $\tau_{пл} = 1,25 \text{ ч}$ .

$$W_{ном1} = \frac{440 - 330}{1.481} \cdot 1.25 = 92.84 \text{ кВт-ч/т}$$

Определяем норму расхода электроэнергии на нагрев шихты и плавление металла с учетом тепловых и электрических потерь по формуле (4.2):

$$W_{эп} = 382.2 + 92.84 = 475.04 \text{ кВт-ч/т}$$

2. Определение нормы расхода электрической энергии в технологический период плавки:

- удельный расход электрической энергии на наведение шлака в технологический период по формуле (4.7):  $W_{шл} = 0,05 \cdot 750 = 37,5 \text{ кВт-ч/т}$ ,

где 0,05 - коэффициент кратности шлака, а 750 кВт-ч/т - теплосо-  
держание шлака.

- удельный расход электроэнергии на нагрев и расплавление легирующих компонентов (раскислители и модификаторы стали сверх 100 % металлошихты). Для стали 20Л количество раскислителей и модификаторов непосредственно дающихся в печь в технологический период плавки равно нулю, поэтому  $W_{лэ} = 0$ .

- удельный расход электроэнергии на эндотермические реакции принимается:

$$W_{энд} = 42 \text{ кВт-ч/т}$$

- удельный расход электроэнергии на подогрев жидкого металла: из технологической инструкции  $t_{выл} = 1700 \text{ }^\circ\text{C}$ , тогда  $\Delta t = 1700 - 1560 = 140 \text{ }^\circ\text{C}$ . По формуле (4.11) находим теплоемкость жидкого металла  $C_{ж} = 0,2 \text{ ккал/кг }^\circ\text{C}$ . По формуле (4.10) определяем удельный расход электроэнергии на подогрев металла в технологический период:

$$W_{под} = \frac{1000 \cdot 0,2 \cdot 140}{860} = 32.6 \text{ кВт-ч/т}$$

- удельный расход электроэнергии на тепловые и электрические потери в период технологического периода плавки:

Продолжительность технологического периода берется из технологической инструкции на плавку стали. Условно примем  $\tau_T = 0,6$  ч.

По формуле (4.13):

$$W_{nom2} = \frac{0.75 \cdot (440 - 330)}{1.481} \cdot 0.6 = 33.4$$

- удельный приход (электро) энергии за счет экзотермических реакций определяется по формуле (4.15):

Из расчета шихты угар (кг/т жид. мет.) составляет  $C = 1,36$ ;  $Si = 3,11$ ;  $Mn = 7,22$  и  $Fe = 10$ .

$$W_{3K3} = 7,5 \cdot 3,11 + 2,0 \cdot 7,22 + 2,6 \cdot 1,36 + 1,3 \cdot 10 = 54,3 \text{ кВт-ч/т}$$

Норму удельного расхода электроэнергии в технологический период определяется по формуле (4.6):

$$W_{тех} = 37,5 + 0 + 42 + 32,6 + 33,4 - 54,3 = 91,2 \text{ кВт-ч/т}$$

3. Определение удельного расхода электроэнергии во вспомогательный период плавки (очистка и заправка печи, загрузка шихты, выпуск металла) по формуле (4.16): Продолжительность вспомогательного периода определяется из заводской инструкции на плавку и равняется (примерно)  $\tau_{всп} = 0.5$  ч.

$$W_{всп} = \frac{0.5 \cdot (440 - 330)}{1.481} \cdot 0.5 = 18.6 \text{ кВт-ч/т}$$

4. Определение удельного расхода электроэнергии на горячие простои печи производится по формуле (4.18).

Из Приложения 2, или паспорта печи, вместимость ванны печи ДС-5МТ  $g_c = 5$  т, коэффициент отношения фактической емкости к номинальной  $K_{ем} = 1,45$ , действительный годовой фонд работы печи при трехсменной работе  $T_d = 5840$  ч

По формуле (4.20) определяем фактическую продолжительность межплавочного периода:

$$\tau_\phi = \frac{5 \cdot 1.45 \cdot 1 \cdot 5840}{15000} = 2.82 \text{ ч}$$

По инструкции на плавку время межплавочного периода составляет:

$$\tau_{п} = \tau_{пл} + \tau_T + \tau_{всп}$$

$$\begin{aligned} \tau_{п} &= 1,25 + 0,6 + 0,5 = \\ &2,35 \text{ ч} \quad \tau_{zn} = \tau_\phi - \tau_{п} = 2,82 - \\ &2,35 = 0,47 \end{aligned}$$

$$W_n = \frac{0.5 \cdot (440 - 330)}{1.481} \cdot 0.47 = 17.45 \text{ кВт-ч/т}$$

5. Определение нормы расхода электроэнергии на разогрев и пуск плавильной(ых) печи(ей) после текущих ремонтов и холодных простоев производится по формуле (4.21).

Время разогрева плавильной печи ДС-5МТ из технологической инструкции составляет:  $\tau_p = 2$  ч

При трехсменной работе печи число розжигов равно числу недель в году, т.е.  $N = 52$ .

$$W_p = \frac{475,04 \cdot 2 \cdot 52}{5840} = 8,45 \text{ кВт-ч/т}$$

6. По формуле (4.1) рассчитывается технологическая норма расхода электроэнергии на плавку углеродистой стали марки 20Л в дуговой печи типа ДС-5МТ.

$$W_{20л} = 475,04 + 91,2 + 18,6 + 17,45 + 8,45 = 610,74 \text{ кВт-ч/т}$$

Приложение 1

Теплофизические свойства шихтовых материалов

Таблица П1.1

Наименование материалов	Температура плавления, Тпл, °С °С <sup>-1</sup> Пл)	Средняя теплота плавления, q <sub>пл</sub> , ккал/кг q <sub>пл</sub> , q <sub>пл</sub> , ккал/кг	Средняя теплоемкость при t <sub>пл</sub> , С <sub>i</sub> , ккал/кг°С	Средняя теплоемкость жидкого металла, С <sub>ж</sub> ккал/кг °С
Лом стальной углеродистый, стружка	1510	65,0	0,168	0,20
Лом стальной Б-22	1370	64,0	0,168	0,21
Лом чугунный 1 8, стружка	1200	55,0	0,161	0,23
Лом чугунный 17	1150	60,0	0,175	0,227
Чугун литейный	1200	65,0	0,161	0,23
Чугун передельный	1150	60,0	0,175	0,227
Ферросилиций	1350	100,0	0,21	0,25
Ферромарганец	1250	64,0	0,170	0,21
Зеркальный чугун	1200	55,0	0,161	0,23
Феррохром	1800	78,0	0,170	0,180
Ферротитан	1400	66,0	0,162	0,209
Феррованадий	1470	70,28	0,165	0,2128
Ферровольфрам	1510	60,0	0,076	0,1157
Ферромolibден	1510	55,0	0,1092	0,1456
Силикомарганец	1250	63,0	0,173	0,2234
Ферросиликохром	1500	50,0	0,165	0,1983
Никель	1453	72,0	0,131	0,1806
Медь	1083	51,0	0,105	0,1521
Силикокальций	1050	27,6	0,167	0,1933
Ферробор	1480	73,0	0,1726	0,2219
Феррониобий	1670	68,0	0,1052	0,1459
Хром металлический	1830	75,5	0,161	0,2022
Марганец металлический	1250	63	0,173	0,2234
Алюминий	660	92	0,246	0,3854
Силумин, сплавы литейные в чушках (Ак7, Ак7Ц, Ак9, Ак7М2П, Ак12М2МгН, Ак7М3Ц2, Ак21М2, 5Н2, 5Р, Ак7М3Ц2Мг	610	88,5	0,234	0,2691
Магний	650	50	0,276	0,3529
Олово	232	14	0,058	0,1183
Титан	1800	90	0,167	0,217
Лом алюминиевых сплавов:				
Группа 1, X	660	92	0,246	0,3854
Группа 11, Ш	630	89,95	0,2368	0,3796
Группа 1 Y, Y,	610	88,5	0,234	0,37918
Сплавы алюминиевые в чушках: Ак5М7, Ак6М7, Ак5М2, Ак5М4, Ак4М2Ц6, Ал11	620	85,3	0,2296	0,3886
Сплавы цинковые анфрикционные, литейные ДАМ	630	89,95	0,2368	0,3796
Лигатура Ал-Мн (12%Мн)	970	86,2	0,225	0,3139
Лигатура Ал -Си (50%Си)	810	71,5	0,1725	0,2608

Приложение 2

Технические характеристики некоторых плавильных печей  
(для расчета нормы расхода энергии на плавку металла)

Таблица П2.1

Тип печи	Номинальная емкость печи, т	Отношение фактической емкости печи к номинальной, К ем	Мощность печного трансформатора, КВТ	Паспортный расход электроэнергии на нагрев шихты и плавление, кВт-ч/т	Паспортная производительность печи, т/ч	Расчетное время нагрева шихты и плавления металла, ч
1	2	3	4	5	6	7
<b>Дуговые (переменного тока) плавильные печи для чугуна и стали</b>						
ДСП- 1,5	1,5	1,5	1000	550	1,4	1,61
ДСП-3	3,0	1,5	1800	450	3,00	1,46
ДС-5МТ	5,0	1,5	2800	440	5,00	1,48
ДСВ- 1 ОБ	10	1,3	5000	470		1,59
<b>Дуговые (постоянного тока) плавильные печи для чугуна, стали ф. ЭКТА, РФ</b>						
ДППТУ-1,5	1,5	1,3	1600	470	3,3	0,58
ДППТУ- 6	6,0	1,3	4000	460	19,4	0,67
ДППТУ- 12	12,0	1,25	11200	450	22,4	0,67
<b>Индукционные (высокой частоты) плавильные печи для чугуна и стали</b>						
МГП-52	0,06	1	70	1000	0,06	1,0
ИСТ-0,16	0,16	1	125	950	0,12	1,25
ИСТ-0,4	0,4	1	350	940	0,33	1,25
ИСТ-1	1,0	1	700	740	0,75	1,33
<b>Индукционные (промышленной частоты) тигельные печи для плавки чугуна</b>						
ИЧТ-1	1,0	1	400	630	0,6	1,7
ИЧТ-2,5	2,5	1	1000	550	1,7	1,5
ИЧТ-6	6,0	1	1600	546	2,7	2,2
ИЧТ-10	2500	1	2500	522	4,4	2,3
Печи ф. АBB: LFD-12 LFD-25	12,0 25,0	1 1	1700 5200	550 550	3,4 2,7	3,5 9,2
<b>Индукционные (промышленной частоты) тигельные миксеры для перегрева чугуна (на 1 00 °С)</b>						
ИЧТМ-1	1,0	1	180	60	2,8	0,35
ИЧТМ-2,5	2,5	1	400	55	4,2	0,6
ИЧТМ-6,6	6,0	1	400	52	5,0	1,0
ИЧТМ-10	10,0	1	1000	48	17,6	0,6
<b>Индукционные (средней частоты) тигельные плавильные печи фирмы «АВВ», Германия</b>						
FS 10	1,0	1	750	525	1,45	0,69
FS20	2,0	1	750-1500	520 - 500	1,47-3,06	0,65
FS30	3,0	1	750 - 2500	515-495	1,49-5,05	0,59
FS40	4,0	1	1000 - 2700	500 - 490	2,04-5,23	0,76
IFM5	6,7	1	6000	500 - 490	11,0	0,55
IFM6	10,0	1	8000	500 - 490	14,5	0,56
IFM7	14,0	1	10000	500 - 490	18,0	0,56
<b>Индукционные (средней частоты) тигельные плавильные печи фирмы «Induktotherm», США</b>						
DUAL-IRAK 1	1,0	1	750	550	1,43	0,7
DUAL-TRAK 3	3,0	1	2500	550	4,77	0,63
DUAL-IRAK 4	4,0	1	3500	550	6,68	0,6
DUAL-TRAK 6	6,0	1	5000	550	9,54	0,62
DUAL-TRAK 10	10,0	1	9000	550	17,15	0,58

Окончание табл. П2.1

<b>Индукционные (промышленной частоты) каналные печи для выдержки и перегрева чугуна (на 100°С)</b>						
ИЧКМ-2,5	2,5	1	400	40	7,0	0,35
ИЧКМ-6	6,0	1	630	38	14	0,43
ИЧКМ-10	10,0	1	1000	37	29	0,35
ИЧКМ-25	25,0	1	2000	36	55	0,45
ИЧКМ-60	60,0	1	4000	35	115	0,52
PKS -20	20,0	1	800	36	20	1,0
<b>Индукционные (промышленной частоты) тигельные печи для плавки алюминиевых сплавов</b>						
ИАТ-0,4	0,4	1	180	725	0,24	1,7
ИАТ-1,0	1,0	1	400	750	0,56	1,77
ИАТ-2,5	2,5	1	1300	578	1,32	1,89
ИАТ-6,0	6,0	1	1300	557	1,95	3,0
<b>Индукционные (промышленной ИАТ-бчастоты) каналные печи для плавки алюминиевых сплавов</b>						
ИА-125	0,5	1	180	475	0,25	2,0
ИА-250	1,0	1	270	475	0,5	2,0
ИА-6	6,0	1	750	450	1,7	3,5
<b>Дуговые (постоянного тока) плавильные печи для алюминиевых сплавов ф. ЭКТА, РФ</b>						
ДПШТУ-05	0,5	1,25	750	410	1,08	0,58
ДПШТУ- 1.5	1,5	1,25	1600	390	4,46	0,42
ДПШТУ-3	3,0	1,25	2700	380	8,93	0,42

## ЛИТЕРАТУРА

1. Володин В.И. Энергосбережение: Учебное пособие по курсу «Энергосбережение и энергетический менеджмент» для студентов. – Мн.: БГТУ, 2001.-162 с.
2. Вторичные теплоэнергоресурсы и охрана окружающей среды/В.В.Харитонов и др.; Под ред. В.В. Харитонова: Мн.: Выш. школа, 1988.
3. Государственная научно-техническая программа "Энергосбережение". Мн., 1996.
4. Закон Республики Беларусь об энергосбережении // Энергоэффективность. 1998. №7.
5. Кузнецов Б.В. Расчеты экономии электроэнергии.- Мн.:Беларусь, 1993.- 79 с.
6. Основные методические положения по планированию использования вторичных энергетических ресурсов. М.: Энергоиздат, 1987.
7. Основы энергосбережения. Курс лекций/ Под ред. Н.Г.Хутской. – Мн.: Технология, 1999.- 100 с.
8. Пути снижения расхода энергетических ресурсов в литейном производстве. – М.:ИТЦМ «Металлург», 2001

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Оценка мероприятий по экономии электроэнергии при эксплуатации электрооборудования .....	4
1.1. Расчет реактивной мощности, потерь электроэнергии и оптимального коэффициента загрузки трансформатора. ....	4
1.2. Расчет мощности электродвигателя и экономии электроэнергии для насосных установок. ....	6
2. Определение объемов выхода и использования вэр .....	8
3. Определение экономии топлива за счет использования вэр .....	10
4. Нормирование расхода энергии на плавку .....	11
5. Нормирование расхода топлива на плавку чугуна в вагранке .....	17
Приложение 1 .....	23
Приложение 2 .....	24
Литература .....	26

# **ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

## **Практикум**

**для студентов специальности 1–36 02 01 «Машины  
и технология литейного производства»  
дневной и заочной форм обучения**

Авторы-составители: **Одарченко Игорь Борисович,**  
**Русая Людмила Николаевна**

Подписано в печать 29.01.07.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,51. Уч.-изд. л. 1,74.

Изд. № 162.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)  
<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на МФУ XEROX WorkCentre 35 DADF  
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.  
Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П.О. Сухого».  
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.