

УДК 681.5.62.5

Парсункин Б.Н., Петрова О.В., Полухина Е.И.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДСП НА СЕБЕСТОИМОСТЬ ВЫПЛАВЛЯЕМОЙ СТАЛИ

**Аннотация.** В работе рассмотрена упрощенная методика оперативного расчета себестоимости выплавки стали в ДСП с целью оптимизации управления электрическим режимом электроплавки для достижения минимальной величины себестоимости. Показано, что минимальную себестоимость можно обеспечить при условии выделения максимальной мощности в электрической дуге.

**Ключевые слова:** дуговая сталеплавильная печь, себестоимость выплавляемой стали, статические характеристики, электрический режим, мощность, выделяемая в дуге.

В условиях рыночной экономики важное значение имеет величина себестоимости продукции на каждом технологическом переделе металлургического производства. При непрерывном удорожании электрической энергии актуальное значение имеет проблема исследования влияния электрического режима дуговой электросталеплавильной печи (ДСП) на величину себестоимости выплавляемой стали  $\Psi(\tau)$ .

Определение этого важного экономического итогового показателя в процессе каждой текущей электроплавки представляет довольно сложную проблему.

Стоимость выплавки одной тонны стали при использовании только электрической энергии может быть ориентировочно определена в соответствии с выражением [1]

$$\Psi = \Gamma + \Delta W_{\text{печи}} \left[ \frac{B}{G_m \cdot N} \cdot \frac{1}{P_d - P_{\text{пт}}} + \frac{B}{1000} \cdot \left( 1 + \frac{P_{\text{пт}} + P_{\text{эп}}}{P_d - P_{\text{пт}}} \right) \right],$$

где  $\Gamma$  – постоянная составляющая, определяемая в соответствии с выражением:

$$\Gamma = A + \frac{B(T_{\text{раф}} + T_{\text{мп}})}{G_m \cdot N} + \frac{B}{1000} \cdot \omega_{\text{раф}}.$$

Здесь  $A$  – неизменная составляющая стоимости выплавки одной тонны стали, которая включает в себя:

- основную заработную плату технологического персонала;
- стоимость огнеупорных материалов;
- стоимость шлакообразующих, раскисляющих и легирующих добавок и т.д., величина которых растет пропорционально производительности дуговой печи.

$B$  – величина, определяемая суммой постоянных месячных расходов цеха, не связанных с выпуском стали или расходом электрической энергии, разделенная на число печей, установленных в цехе, и включающая расходы:

- на эксплуатацию и ремонт кранового и другого вспомогательного оборудования;

- содержание персонала конторы и подсобных рабочих;
- расходы на амортизацию оборудования;
- расходы на воду;
- оплата услуг вспомогательных цехов, общезаводские накладные расходы и т.п.

$V$  – определяется текущей стоимостью 1000 кВт·ч электрической энергии; расходом электродов, который принимается пропорциональным количеству затраченной на плавку электрической энергии.

$G_m$  – масса плавки,  $N$  – время, затраченное на выплавку стали;  $T_{\text{раф}}$  – время рафинирования стали в технологический период плавки;  $T_{\text{мп}}$  – продолжительность межплавочного простоя печи между очередными плавками;  $P_d$  – активная электрическая (полезная) мощность, выделяемая в электрической дуге;  $P_{\text{эп}}$  – мощность электрических потерь в подводящей сети;  $\Delta W_{\text{печи}}$  – часть тепловой энергии, выделяемая дугами в период расплавления, которая полезно остается в печи и затрачивается на нагрев и расплавление металлической части шихты, нагрев и плавление шлакообразующих и других добавок, разогрев огнеупорной футеровки и т.д. и которую в первом приближении можно определить в соответствии с выражением

$$\Delta W_{\text{печи}} = (P_d - P_{\text{пт}}) \cdot T_p = \omega_c \cdot G_c + \omega_l \cdot G_l + \omega_{\text{ш}} \cdot G_{\text{ш}} + W_{\text{акк}} - W_{\text{хим}} - W_{\text{элд}} + P_{\text{пт}} \cdot \tau_{\text{пр}},$$

где  $T_p$  – время расплавления шихты, когда затрачивается от 70 до 80% количества электроэнергии на плавку;  $\omega_c, \omega_l, \omega_{\text{ш}}$  – энергия, которая требуется для нагрева от исходной до требуемой температуры одной тонны металла, шлака, ферросплавов и т.п.;  $G_c, G_l, G_{\text{ш}}$  – масса стали, лома, шлакообразующих в печи;  $W_{\text{акк}}$  – энергия, затраченная за рассматриваемый интервал времени на аккумуляцию тепла в огнеупорной футеровке печи;  $W_{\text{хим}}$  – тепловая энергия экзотермических реакций окисления элементов в процессе плавки;  $W_{\text{элд}}$  – энергия, выделяемая в рабочем пространстве от сгорания электродов;  $\tau_{\text{пр}}$  – время простоя печи за рассматриваемый интервал плавки.

Величина  $\Delta W_{\text{печи}}$  остается практически неизменной в течение всего периода расплавления и составляет ориентировочно  $5600 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  при ступени напряжения  $1045 \text{ В}$ .

С переходом на более высокую ступень напряжения с увеличением  $P_d(\tau)$  уменьшается время расплавления с одновременным увеличением тепловых потерь. Поэтому при дальнейших ориентировочных расчетов  $\Delta W_{\text{печи}}$  было принято постоянным.

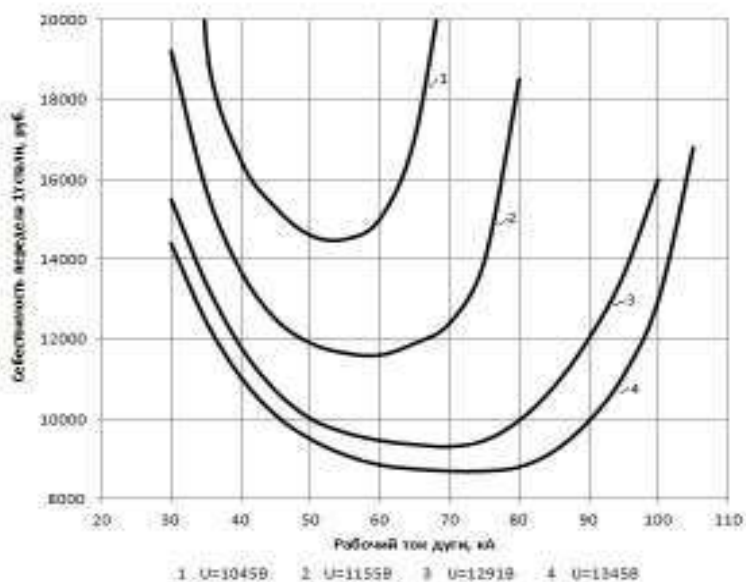
Для расчетов составляющих  $B$  и  $V$  были использованы данные из таблицы калькуляции себестоимости одной тонны стали ЭСПЦ ОАО «ММК». Значение этого показателя составило  $185650.02 \text{ руб.}$  в месяц, или  $6200 \text{ руб.}$  в сутки.

Для определения величины  $V$  произведем расчет. Известно, что в ДСП – 180 ЭСПЦ ОАО «ММК» используются три электрода длиной  $6 \text{ м}$ , при весе каждого из них  $3 \text{ т}$ . Одна секция электрода, длина которой составляет  $1766 \text{ мм}$ , сгорает за  $9$  плавов в среднем.

Зависимости себестоимости выплавки  $1 \text{ т}$  стали от рабочего тока дуги, определяемого для различных значений ступеней напряжения печного трансформатора ДСП – 180 при  $x = 3.5 \text{ МОм}$ ;  $r = 0.5 \text{ МОм}$ , представлены на рисунке.

По данным калькуляции себестоимости выплавки  $1 \text{ т}$  стали, полученной в ЭСПЦ ОАО «ММК», себестоимость выплавки  $1 \text{ т}$  стали составляет  $8714 \text{ руб.}$  (по технологическому профилю №4, до  $40\%$  жидкого чугуна в шихте). Это характеризует достоверность рассматриваемой методики расчета.

Расчетные зависимости  $\Pi = f[I_p]$  имеют унимодальный (одноэкстремальный) вид, следовательно, принципиально возможно использование данного показателя экономической эффективности технологического процесса в качестве корректирующего параметра программно заданного режима энергопотребления, используемого на печах в настоящее время.



Расчетные зависимости себестоимости перелома  $1 \text{ т}$  стали от рабочего тока дуги при различных значениях напряжения печного трансформатора для ДСП-180

Значит, за одну плавку сгорает  $196.22 \text{ мм}$  весом  $0.0981 \text{ т}$ . Стоимость  $1 \text{ т}$  электрода составляет  $115000 \text{ руб.}$ , тогда величина затрат от сгорания электродов за плавку (без учета других расходов) –  $11276.32 \text{ руб.}$

При массе стали  $160 \text{ т}$  за плавку, с учетом остатка металла в печи, затраты на  $1 \text{ т}$  стали составляет  $11276/160 = 70.48 \text{ руб.}$

С учетом сгорания трех электродов затраты  $70.48 \cdot 3 = 211.44 \text{ руб./т.}$

При стоимости электрической энергии  $315.45 \text{ руб.}$ , затрачиваемой на выплавку  $1 \text{ т}$  стали, общие затраты составляют  $V \approx 211.44 + 315.45 = 526.89 \text{ руб.}$

Анализ полученных результатов показывает, что минимальное значение переменной составляющей себестоимости, зависящей от параметров электрического режима, в процессе плавки  $\Pi(I_p)_{\text{min}}$  достигается при работе ДСП на повышенных ступенях напряжения и достаточно больших величинах рабочих токов от  $55$  до  $75 \text{ кА}$ .

Но главным препятствием использования показателя  $\Pi[I_p]$  является затруднение с его определением в процессе конкретной плавки до ее завершения.

В процессе исследования было установлено, что при постоянной ступени напряжения питания минимальное значение величины себестоимости  $\Pi(I_p)_{\text{min}}$  и максимальное значение производительности ДСП,

определяемое при максимально возможном значении мощности, выделяемой в электрической дуге  $P_d[I_p]_{max}$ , достигаются практически при одних и тех же величинах рабочих токов дуги  $I_p(\tau)$  [2].

В отличие от показателя  $\zeta[I_p(\tau)]$  параметр  $P_d[I_p(\tau)]$  доступен для прямого контроля.

Это обстоятельство является дополнительным и убедительным доказательством приоритетности и целесообразности использования в качестве оптимизируемого параметра при автоматическом оптимальном управлении энергетическим режимом электродуговых печей с целью достижения максимально возможной производительности этих печей величину активной электрической мощности в электрической дуге, в качестве управляющего параметра в этом случае наиболее удобно использовать величину рабочего тока в каждой фазе  $I_p(\tau)$ .

Величина  $I_p(\tau)$  при выбранной ступени напряжения определяется длиной дуги или расстоянием электрода от поверхности металлической шихты или расплава.

Управление электрическим режимом ДСП в ре-

#### Сведения об авторах

**Парсункин Борис Николаевич** – д-р техн. наук, профессор института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-32.

**Петрова Ольга Васильевна** – ст. преп. каф. института экономики и управления ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

**Полухина Екатерина Ильинична** – студентка 5 курса института экономики и управления ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».



жиме обеспечения максимальной производительности при обеспечении  $P_d[I_p(\tau)]_{max}$  одновременно является самым экономически обоснованным с точки зрения обеспечения минимальной себестоимости выплавляемой в ДСП стали.

Такие режимы управления энергетическими параметрами электродуговой плавки будут способствовать повышению конкурентоспособности готового продукта за счёт энергосберегающего оптимального управления процессом электроплавки.

#### Список литературы

1. Ефроймович Ю.Е. Электрические режимы дуговых сталеплавильных печей. М.: Metallurgizdat, 1956. 131 с.
2. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Логунова О.С. Автоматизация управления выплавкой стали в электродуговых печах: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 304 с.