



The reduction of time under the current, electric energy rate, electrodes rate at working of arc steel-furnace with new transformer of capacity 95 MBA and with regulating system SIMELT-AC-NEC are noted.

Д. Н. АНДРИАНОВ, В. Н. ПРОХОРЕНКО, А. С. ЗАЯН, РУП «БМЗ»

УДК 669.18(07)

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ДСП НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛАВКИ

Металлургия — одна из немногих отраслей промышленности, которая при резком снижении востребованности ее продукции в стране сумела быстро переориентироваться на мировые рынки. Продукция предприятий черной металлургии оказалась не только востребованной, но и конкурентоспособной. Для сохранения и упрочнения завоеванных позиций необходимо постоянное совершенствование и развитие отрасли с учетом мировых научно-технических достижений.

В настоящее время электрометаллургические предприятия в России и странах СНГ осуществляют крупномасштабную реконструкцию, ориентируясь на современные отечественные и зарубежные технологии производства.

Особая роль в металлургическом производстве отводится силовому электротехническому оборудованию: специальным электропечным трансформаторам, коммутационному оборудованию, измерительным устройствам, силовым фильтрам гармоник и т.д. От технических характеристик и надежности работы этого оборудования зависят себестоимость металла и экономические показатели металлургического производства.

Трансформатор является основным элементом высокомошной электропечной установки, от его параметров и надежности конструкции зависит эффективность работы электропечи. Помимо общих требований, предъявляемых к трансформаторам, электропечные трансформаторы должны обеспечивать [1] токи большой величины на вторичной стороне; сочетание очень малого напряжения на вторичной стороне со сверхвысоким напряжением на первичной стороне; регулирование напряжения под нагрузкой в широком диапазо-

не; надежную работу при резких изменениях нагрузки (от минимума при обрыве дуги до максимума при коротком замыкании электродов); малое значение напряжения короткого замыкания; возможность при необходимости отдельного регулирования значений трех фазовых напряжений.

В настоящее время выпускают два типа электропечных трансформаторов: стержневые и броневые (рис. 1). У стержневого трансформатора катушки высшего и низшего напряжений выполне-

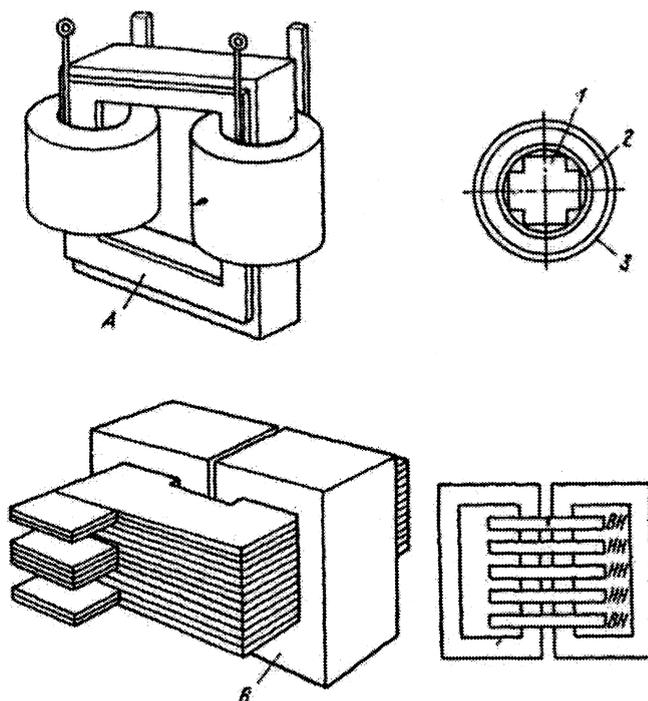


Рис. 1. Типы электропечных трансформаторов: А — стержневой трансформатор; Б — броневой трансформатор; 1 — сердечник; 2 — обмотка высокого напряжения; 3 — обмотка низкого напряжения

ны в виде трубок, которые помещаются одна в другой. В отличие от распределяющих трансформаторов у печных трансформаторов вследствие высоких токов катушка низшего напряжения располагается снаружи.

У броневых трансформаторов катушки имеют пластинчатую (с выемкой по центру) форму; катушки высшего и низшего напряжения расположены внахлестку по высоте сердечника. Достоинством стержневых трансформаторов служит удобство ремонта. Броневые трансформаторы обеспечивают более низкое реактивное сопротивление и возможность установки асимметричных напряжений по фазам.

Для питания дуговых печей используют трансформаторы с прямым и косвенным регулированием. У трансформатора с прямым регулированием в результате добавления витков при неизменном входном напряжении магнитный поток в железном сердечнике уменьшается, в связи с чем понижается напряжение вторичной обмотки. Диапазон регулирования вторичных напряжений может быть расширен еще более при схеме соединения обмотки высшего напряжения “звезда-треугольник” или по параллельно-последовательной схеме. Однако эти переключения должны осуществляться в обесточенном состоянии. При очень высоких, первичных напряжениях широкий диапазон вторичных напряжений трансформатора с прямым регулированием получить невозможно.

Для таких случаев печной трансформатор выполняют по схеме с косвенным регулированием. Этот трансформатор объединяет два трансформатора в одном корпусе: основной и автотрансформатор. Автотрансформатор выполняют с переменным уровнем напряжения. Уровень напряжения выбирают таким образом, чтобы при заданном диапазоне регулирования напряжений можно было подобрать оптимальную конструкцию переключателя ответвлений по току и напряжению. Основной трансформатор имеет строго установленный коэффициент трансформации и дает основное вторичное напряжение. Вторичная обмотка автотрансформатора соединяется последовательно со вторичной обмоткой второго (основного) трансформатора. Изменяющееся вторичное напряжение автотрансформатора добавляется к постоянному вторичному напряжению основного трансформатора или вычитается из него.

Более экономично подключать к основному трансформатору автотрансформатор с прямым регулированием вследствие меньших его размеров и массы, а также более низкой стоимости. Однако в некоторых случаях необходимо использовать автотрансформатор с косвенным регулированием, например при использовании стержневого трансформатора, если требуется одинаковый интервал напряжений между ступенями, или асимметричное регулирование напряжений по фазам. Трансфор-

матор с косвенным регулированием также требуется, если подключение производится к сети с очень высоким напряжением, когда возникает проблема с изоляцией свободной части обмотки высокого напряжения или не имеется подходящего печного выключателя. При использовании трансформатора с косвенным регулированием печной выключатель может быть выполнен на среднем напряжении в случае, если его поместить в промежуточный контур трансформатора.

Одним из требований к трансформаторам современных сверхмощных дуговых сталеплавильных печей является возможность обеспечения постоянной мощности на ряде верхних ступеней напряжения. Такое конструктивное решение, хотя и вынуждает иметь несколько завышенную мощность трансформатора, позволяет оптимизировать электрический режим плавки при работе печей в различных технологических условиях и улучшить производственные показатели. Наличие в печном трансформаторе высших ступеней постоянной мощности в достаточно широком диапазоне вторичного напряжения позволяет (в результате работы в период плавления на меньших, чем обычно, токах) уменьшить электрические потери и снизить расход электродов.

В последние годы ряд зарубежных фирм перешли к изготовлению трансформаторов с выводами, соответствующими использованию на печи схемы короткой сети “триангулированная звезда” на электродах, что позволяет избежать установки шинного моста со сложной системой переключки начал и концов всех трех обмоток трансформатора, необходимой для перехода от схемы “треугольник на выводах трансформатора” к схеме “триангулированная звезда”. При переходе на новую систему расположение выводов трансформатора осуществляется также по вершинам треугольника в соответствии с расположением кабельных гирлянд и подвижных токоподводов. В этом случае при некотором усложнении конструкции трансформатора существенно уменьшается длина вторичного токоподвода.

Одним из путей улучшения технико-экономических показателей работы ДСП является увеличение номинальной мощности печного трансформатора. Помимо роста производительности и сокращения токового времени плавки, повышение энергонасыщенности печи путем увеличения вводимой активной мощности позволяет снизить удельный расход электроэнергии.

Полезная мощность (мощность дуг), вводимая в ДСП, рассчитывается по формуле [2]:

$$P_d = SK_n \mu_s \lambda, \quad (1)$$

где S — номинальная мощность печного трансформатора, МВА; K_n — средний коэффициент использования мощности в энергетический пери-

од плавки; $\mu_3 = P_d/P_a$ – электрический КПД установки, учитывающий потери мощности во вторичном токовом; $\lambda = P_a/S$ – коэффициент мощности ($\cos \varphi$), характеризующий отношение активной мощности цепи низкого напряжения к номинальной мощности трансформатора.

Теоретически ввод 1 МВт дополнительной активной мощности приводит к снижению энергопотребления на 2,2 кВт·ч/т [3].

Время энергетического периода плавки определяется [4] из частного баланса энергии по формуле

$$\tau_3 = (W_{\text{пол}})/(SK_{\text{н}}\mu_3\lambda - P_{2\text{т.п}}), \quad (2)$$

где $W_{\text{пол}} = W_{2\text{у.т}}m_{\text{ш}}$ – полезная энергия, МВт·ч; $W_{2\text{у.т}}$ – теоретическое удельное значение полезной энергии, МВт·ч/т; $m_{\text{ш}}$ – масса металлошихты, т; $P_{2\text{т.п}} = k \cdot 0,14m_0^{0,67}$ – мощность тепловых потерь ДСП за энергетический период [4], МВт; k_2 – коэффициент, учитывающий возможное изменение мощности тепловых потерь, для

ДСП-100 $k_2=5$; m_0 – номинальная вместимость печи, т.

Согласно [4], $W_{2\text{у.т}}=0,26$ МВт·ч/т; для 100-тонной ДСП $m_{\text{ш}} = 120$ т, $m_0 = 100$ т. Находим величину полезной энергии для такой печи:

$$W_{\text{пол}} = W_{2\text{у.т}}m_{\text{ш}} = 0,26 \cdot 120 = 31,2 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Рассчитаем мощность тепловых потерь:

$$P_{2\text{т.п}} = k_2 \cdot 0,14m_0^{0,67} = 5 \cdot 0,14 \cdot 100^{0,67} = 15,3 \text{ МВт}.$$

Используя формулы (1) и (2), можно расписать сокращение времени плавки при замене трансформатора 75 МВА на трансформатор 95 МВА при его использовании на ДМП-100:

$$\tau_3 = W_{\text{пол}}/(P_d - P_{2\text{т.п}}) - W_{\text{пол}}/(P'_d - P_{2\text{т.п}}),$$

где P_d и P'_d – мощность дуг соответственно до и после замены трансформатора, МВт.

Для ДСП, работающих в условиях РУП «БМЗ», путем снятия характеристик печного трансформатора и построения круговых диаграмм получены значения коэффициентов использования мощности, коэффициента мощности и коэффициента электропотерь, приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики печных трансформаторов

Трансформатор мощностью 75 МВА	Трансформатор мощностью 95 МВА
$K_{\text{н}} = 1$	$K_{\text{н}} = 0,9$
$\mu_3 = 0,97$	$\mu_3 = 0,97$
$\lambda = 0,84$	$\lambda = 0,82$

Мощность дуг, рассчитанная по формуле (1), составляет

$$P_d = SK_{\text{н}}\mu_3\lambda = 75 \cdot 1 \cdot 0,97 \cdot 0,84 \approx 61,11 \text{ МВт},$$

$$P'_d = S'K_{\text{н}}\mu_3\lambda = 95 \cdot 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,82 \approx 68,01 \text{ МВт}.$$

Откуда сокращение времени плавки составляет

$$\begin{aligned} \Delta\tau_3 &= W_{\text{пол}}/(P_d - P_{2\text{т.п}}) - W_{\text{пол}}/(P'_d - P_{2\text{т.п}}) = \\ &= 31,2/(61,11 - 15,3) - 31,2/(68,01 - 15,3) = \\ &= 0,098 \text{ ч или } 5,9 \text{ мин}. \end{aligned}$$

В настоящее время дуговые сталеплавильные печи на РУП «БМЗ» реконструируются.

В ходе проведения реконструкции ДСП-2 ЭСПЦ-1 произведены монтаж и подключение нового печного трансформатора номинальной мощностью 95+10 МВА и установлена система управления электродами производства фирмы "SIEMENS" с оптимизацией процесса на базе нейронной сети; к печному трансформатору ДСП-2 подключен дроссель (реактор) дополнительной индуктивности.

Система регулирования SIMELT-AC-NEC выполнена на программируемом контроллере SIMATIK S7-400 и промышленном компьютере

Pentium. Самообучающаяся система регулирования SIMELT-AC-NEC эффективно управляет процессом благодаря использованию гибридной модели, являющейся комбинацией математической модели электропечного контура и нейронной сети. Использование данной системы позволяет автоматически поддерживать максимально допустимый уровень активной мощности на всем протяжении плавки при рациональном распределении излучения дуг внутри печи.

Система регулирования SIMELT AC & NEC состоит из трех устройств-систем и имеет ряд функций, определяющих оптимальную работу регулятора с трансформатором, печью, электродом и обеспечивает точность регулирования рабочей точки дуги при плавлении металлошихты, и состоит из следующих элементов.

1. Устройство PLC (программно-локальный компьютер) контроллера S7-400 состоит из корзины "Симатика", в которой размещены ячейки процессора аналоговых и цифровых входов и выходов. В памяти ячейки процессора находится программа регулирования электродами. PLC контроллер осуществляет регулирование движения электродов.

2. Устройство "NEC-компьютер" с установленной в нем программой осуществляет оптими-

зацию ввода мощности путем корректировки задаваемого PLC контроллером управляющего напряжения на сервоклапан.

3. Устройство "компьютер WinCC" с сервером осуществляет отображение настроек и протекающих процессов в PLC контроллере S7-400 и компьютере NEC. В нем также хранятся архивы прошедших событий.

Начальное проплавление корзины с токами, по величине отличающихся от рабочих, обеспечивает возможность эффективно разбивать металличе-

скую шихту и снижает вероятность поломок электродов в начале плавления металлошихты.

В системе оптимизации NEC для снижения теплового воздействия на стеновую футеровку используется возможность перераспределения излучения фаз, а при достижении температурой стеновых панелей определенного значения (+70 °С), происходит автоматическое снижение рабочей ступени трансформатора для предупреждения перегрева панелей. Технические характеристики установленного оборудования приведены в табл. 2.

Таблица 2. Серийный реактор

Наименование параметра	Значение
Количество фаз	3
Проходная мощность, МВА	95
Максимальная реактивная мощность, МВАр	21,5
Номинальное напряжение, В	33 000
Номинальная сила тока, А	1662
Реактивность, Ом	0-0,65-1,274-1,664-2,106-2,6
Частота, Гц	50
Трансформатор мощностью 95МВА	
Номинальная мощность, МВА	95
Напряжение первичной обмотки, В	33 000
Напряжение вторичной обмотки, В	420–960
Сила тока первичной обмотки, А	923–1662
Максимальная сила тока вторичной обмотки, А	72500
Частота, Гц	50

Основные технико-экономические показатели работы ДСП-2 до и после реконструкции с использованием трансформатора мощностью 75 и 95 МВА

с новой системой регулирования электродов показали снижение удельного расхода электроэнергии, электродов, времени под током (табл. 3) [5].

Таблица 3. Технико-экономические показатели работы ДСП-2 до и после реконструкции

Наименование параметра	Трансформатор мощностью 75 МВА, Simelt.	Серийный реактор, трансформатор мощностью 95 МВА, Simelt-AC-NEC	Улучшение показателя, %
Время под током, мин	46,9	44,70	4,69
Удельный расход электроэнергии, кВт/ч	496,92	474,68	4,48
Удельный расход электродов, кг/т	2,246	2,148	4,36

Круговые диаграммы режима работы трансформатора и устойчивость электрической дуги показывают, что произошел рост «кучности» рабочих точек, их более плотное группирование подтверждает способность новой системы на более высоком уровне поддерживать стабильность тока (рис. 2) [5]. Устойчивые режимы работы снизили тепловое воздействие на стеновую футеровку и температуру водоохлаждаемых панелей.

При увеличении мощности трансформатора (мощность 95 МВА) недостатком является малый диаметр рабочего пространства печи (пространства выше уровня откосов ванны, ограниченного внутренней поверхностью футеровки стены и свода), так как дуговая сталеплавильная печь построена и рассчитана для трансформатора мощностью

75МВА. Дело в том, что основой тепловой работы ДП при заданном энергетическом режиме плавки служит рациональное распределение в рабочем пространстве тепловых потоков излучения от электрических дуг в соответствии с тепловоспринимающей способностью ванны, стены и свода.

Работоспособность огнеупорной футеровки, зависящая от механизма разрушения материала (оплавление или растрескивание) или перегрева водоохлаждаемых элементов, определяется величиной тепловой нагрузки, температурными условиями, физико-химическим взаимодействием с печной атмосферой и т.п. Тепловая нагрузка футеровки стены является следствием теплообменных процессов в свободном пространстве печи и в

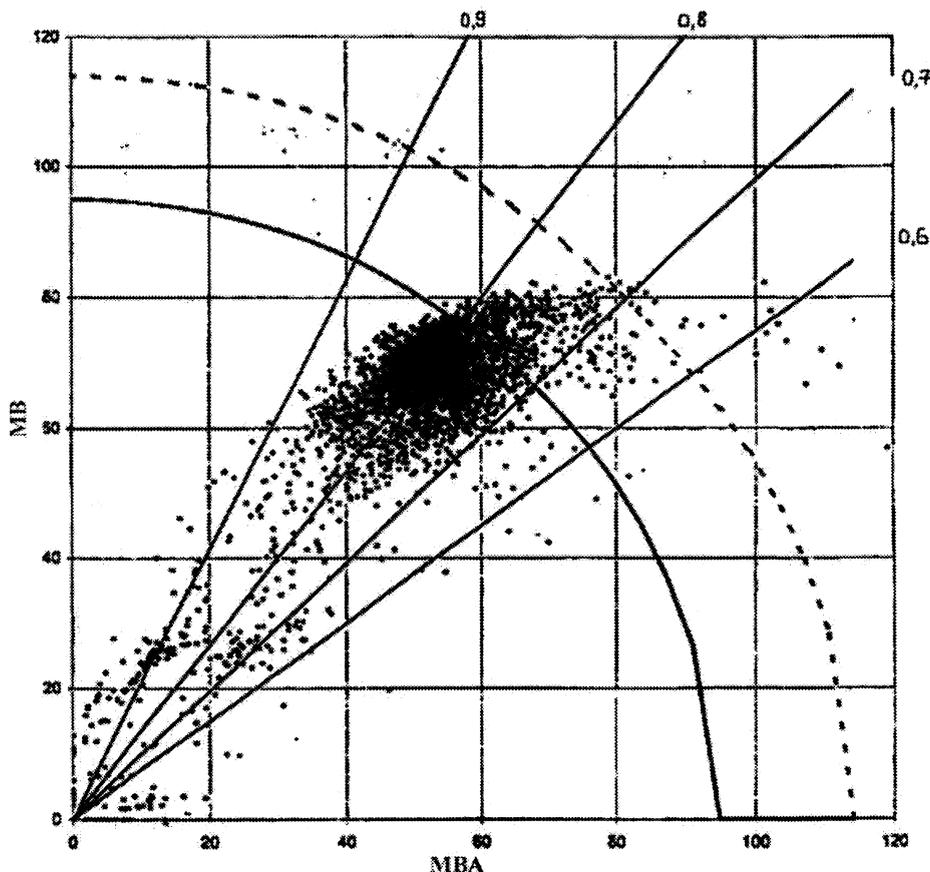


Рис. 2. Круговая диаграмма режима работы трансформатора и устойчивости электрической дуги

первую очередь может быть оценена плотностью теплового потока q , падающего от дуги как «точечного» источника излучения на данную площадку футеровки стены в соответствии с законами направления и расстояния [6]. Это приводит к работе трансформатора не в полную мощность, простоям за счет перегрева водоохлаждаемых элементов печи в первую очередь против электродов, потерям тепловой энергии за счет перегрева охлаждающей жидкости, повышенному расходу огнеупорных изделий и низкой стойкости водоохлаждаемых элементов печи.

Выводы

В результате анализа работы дуговой сталеплавильной печи с новым трансформатором мощностью 95 МВА и системой регулирования SIMELT-AC-NEC отмечено снижение времени под током, удельного расхода электроэнергии, удельного расхода электродов, однако до настоящего момента не полностью используются возможности трансформатора мощностью 95 МВА. Для

увеличения производительности и полного использования возможностей трансформатора мощностью 95 МВА необходимо дополнительно изменить конструкцию каркаса и свода ДСП для снижения облучаемости водоохлаждаемых элементов электрическими дугами.

Литература

1. Pfeiffer G. Elektrische Auslegung und Auszurustung von Lichtbogehofen // Radex-Rundschau. 1984. N.2. S. 359-377.
2. Смоляренко В.Д., Девицкий А.Г., Попов А.Н., Бесчаснова М.А. Энерготехнологические особенности процесса электроплавки стали и инновационный характер его развития // Электротехнология. 2003. № 12. С. 12-19.
3. Энергосбережение при электроплавке. Материалы Российско-Германского семинара, 21-30.04.1996 г. Национальный комитет по электротехнологии, семинар по электроплавке и электропечам. АО «ВНИИЭТО».
4. Егоров А.В. Расчет мощности и параметров электроплавильных печей: Учеб. пособ. для вузов. М.: МИСИС, 2000.
5. Пат. ВУ 2182 U.
6. Егоров А.В. Электроплавильные печи черной металлургии: Учеб. для вузов. М.: Металлургия, 1985.