

УДК 621.311

Д.В. ЗУБИТАШВИЛИ, канд. техн. наук, вице-президент Национальной энергетической академии Грузии (Грузинский НИИ энергетики и энергетических сооружений, Тбилиси)

ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСПЛАВОВ

Приведена схема получения электрических и рабочих характеристик дуговой печи, которые позволяют выбрать оптимальные параметры для осуществления автоматического управления процессом плавки, а также реализации мероприятий по энергосбережению.

Грузия в настоящее время испытывает и будет испытывать дефицит собственных энергетических ресурсов [1]. В свою очередь, жесткая зависимость от импорта энергоресурсов влияет на функционирование и развитие отраслей национального хозяйства.

В нормальных условиях соотношение цен промышленной продукции и стоимости энергоносителей имеет циклический характер. В начале инфляционного всплеска возникает существенный разрыв в темпах их роста. Промышленность быстро поднимает свои цены, а тарифы в энергетике искусственно сдерживаются. Затем наступает этап опережающего роста тарифов на энергоносители по отношению к ценам в промышленности [2].

Из-за жесткой зависимости от цен импортируемых энергоресурсов, а также политики иностранных дистрибьюторов в Грузии, рост цен на энергоресурсы происходит опережающими темпами, что не может не отразиться на темпах развития национального хозяйства. Отсюда следует, что вопросы энергосбережения для Грузии имеют жизненно важное значение.

У производителей нет иного пути для сохранения конкурентоспособности своей продукции, кроме резкого сокращения нерационального потребления энергоресурсов – осуществления энергосберегающих мероприятий.

Одним из крупных промышленных потребителей электроэнергии в Грузии является производство ферросплавов электротермическим способом. На его долю приходится около 8% электроэнергии, потребляемой в целом по стране, поэтому даже незначительное улучшение показателей работы основного электрооборудования дает значительный экономический эффект.

На Зестафонском ферросплавном заводе (ЗФЗ) в настоящее время эксплуатируются электрические печи, проработавшие несколько десятков лет. За этот период оборудование печей ремонтировалось и подвергалось некоторым конструктивным изменениям с целью повышения эффективности их работы. Вместе с тем, годы

тяжелой эксплуатации в условиях энергетического кризиса привели к факторам, которые не могли не отразиться на техническом состоянии и качестве работы печей. К этим факторам можно отнести частые отключения и качество (низкая частота) электрической энергии в питающей сети, используемого сырья, отсутствие автоматики при управлении технологическими процессами и др.

Таким образом, качество и эффективность работы электрических печей в настоящее время полностью зависят лишь от опыта работы технологов и обслуживающего персонала, следящих за технологическим процессом в печи.

Вместе с тем известно, что оптимальному технологическому режиму не всегда сопутствует оптимальный электрический режим работы печи [3]. Одной и той же полезной электрической мощностью, требуемой по условиям технологии, можно достичь изменением положения электродов печи или изменением ступеней печного трансформатора при соответствующем напряжении питающей сети. При этом соотношение полезной мощности на электрической дуге и потерь энергии в короткой сети, печном трансформаторе и питающей сети при различных ступенях напряжения трансформатора и соответствующих положениях электродов будет различным. Следовательно, при одинаковой полезной электрической мощности, необходимой по технологии, потери электрической энергии будут отличаться.

Для выбора оптимальных электрических режимов работы печи, удовлетворяющих в первую очередь условиям технологии, необходимо точное знание всех электрических параметров печного контура с разделением по элементам короткой сети, ванны печи и печного трансформатора. Выбор оптимального электрического режима работы печи при данном напряжении питающей сети, а затем и его автоматическое поддержание в технологическом процессе, неизменно приведут к повышению показателей работы печи и прежде всего к ощутимой экономии электроэнергии.

В связи с этим, с целью реализации возможности повышения энергетических показателей

печей ЗФЗ требуется построение электрических характеристик данных печей с определением параметров их электрических контуров. Существуют опытный и расчетный пути решения данной задачи [3, 4]. Расчетное определение параметров и характеристик печных контуров связано со многими трудностями, отражающимися на достоверности полученных результатов. Поэтому данный путь может быть оправдан лишь на стадии проектирования электрической печи. Для эксплуатируемых же печей, по нашему мнению, наиболее целесообразно определение характеристик на основе промышленных экспериментов, позволяющих варьировать как ступенями трансформатора, так и положением электродов при заданном технологическом режиме печи.

Следует отметить, что результаты эксперимента позволяют определить не только оптимальные электрические режимы работы печи, в согласовании с её рабочими характеристиками, но и дают возможность установить необходимые параметры регулирования для последующей автоматизации технологического процесса при работе печи [5]. Вместе с тем, экспериментальный путь определения характеристик печи также связан с определенными трудностями, вызванными конструктивными особенностями короткой сети и самой ванны печи.

Рассмотрим это на примере печи №4 цеха №1 ЗФЗ, находящейся в настоящее время на реконструкции. Питание печи осуществляется от трехфазного печного трансформатора типа ЭПТЦ-10000/6 (зав. №162057, вып. 1935 года), претерпевшего в свое время реконструкцию. Мощность трансформатора с пятью ступенями напряжения 11150 кВА, а группа соединения обмоток $\Delta/Y-11$. Напряжение на высокой стороне 10000 В, а на низкой стороне 143, 137, 132, 127 и 122 В в соответствии со ступенями напряжения. При этом фазные токи на высокой стороне составляют 371, 357, 344, 329 и 318, соответственно. Ток в короткой сети может достигать 45000 А. Схема соединения короткой сети печной установки – "звезда на электродах". При этой схеме, как известно, вторичные обмотки трансформатора соединяются в звезду, а их выводы обычно сгруппированы пофазно. То же относится к гирляндам и трубошинам [3].

Такая схема короткой сети обладает наибольшей индуктивностью и коэффициентом неравномерности, поэтому её применяют лишь на малых печах, где эти недостатки не столь значительны. Для рассматриваемой в нашем случае печи,

имеющей кроме того расположение электродов в ряд, указанные недостатки могут быть ощутимы. Это вызвано геометрической несимметрией короткой сети при расположении электродов в ряд и появлением эффекта переноса мощности [1, 2]. В таких случаях, при описании электрического режима печи, для падений напряжений в фазах справедлива следующая система уравнений:

$$\begin{aligned} U_1 &= I_1(r_1 + R_1) + jI_1 x_{11} + jI_2 x_{21} + jI_3 x_{31}, \\ U_2 &= I_2(r_2 + R_2) + jI_2 x_{22} + jI_2 x_{32} + jI_1 x_{12}, \\ U_3 &= I_3(r_3 + R_3) + jI_3 x_{32} + jI_1 x_{13} + jI_2 x_{23}, \end{aligned}$$

где I_1, I_2 и I_3 – комплексы токов в различных фазах; R_1, R_2 и R_3 – электрические сопротивления дуг в фазах. Расположение токопроводов короткой сети в ряд приводит к симметрии относительно средней фазы. Поэтому, при прочих равных условиях, для активных и индуктивных сопротивлений фаз справедливы выражения:

$$r_1 = r_3 = r_2; \quad x_{11} = x_{33} = x_{22}$$

Аналогично для взаимоиנדуктивностей различных фаз можно записать:

$$x_{12} = x_{21} = x_{23} = x_{32} = x_{31} = x_{13}$$

В такой сети, из-за отличия во взаимоиנדуктивностях крайних и средних фаз, даже при симметричном напряжении питания, когда $U_{12} = U_{23} = U_{31}$ и $U_1 = U_2 = U_3$, - напряжения дуг в различных фазах, следовательно и полезные мощности, будут различны. При этом происходит якобы перенос мощности из третьей фазы в первую. Одновременно происходит смещение электрической нейтрали печи относительно нейтрали питающей сети и появляется напряжение смещения U_0 .

Таким образом, заложенная в конструкции печи электрическая несимметрия короткой сети и электродов по фазам предопределяет регулирование электродов по отдельности. Следовательно, экспериментальное исследование печей цеха №1, с учетом вышеприведенных особенностей, также должно осуществляться по каждой фазе в отдельности.

Для исследования электрических характеристик электротермической установки ЗФЗ Грузинским НИИ энергетики и энергетических сооружений на печи №4 под руководством и при непосредственном участии автора выполнены подготовительные работы по оснащению печного контура специальными измерительными проводниками. На рисунке приведена схема подключения проводников к различным точкам короткой сети и ванны печи по каждой фазе в отдельности.

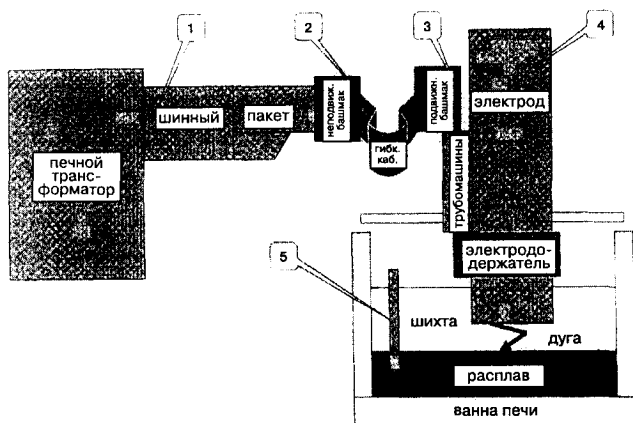


Рис. 1. Схема установки измерительных проводников в короткой сети и ванне печи №4 цеха №1 ЗФЗ

Точками 1-3 показаны места подключения проводников с помощью резьбовых соединений, выполненных в материале (меди) короткой сети. При этом точка 1 взята совпадающей с точкой подключения штатных вольтметров на пульте управления печи. Точки 2 и 3 выполнены соответственно на неподвижном и подвижном башмаках, причем так, чтобы контактные соединения при измерении входили в предыдущий участок короткой сети.

Все эти проводники оснащены термостойкой изоляцией и проложены пофазно вдоль участков короткой сети так, чтобы исключить в них какие-либо наводки. Точка 4 берется с кожуха электро-

да специальными переносными контактами. Точка 5 должна представлять собой нулевую точку звезды на электродах. Для её получения используется вольфрамовый стержень, опускаемый во время эксперимента через шихту до касания с расплавом. По этой точке может быть определено смещение нейтрали U_0 .

Для определения мощности дуг печи необходимо подключать ваттметры непосредственно к электродам у места их входа в область свода, для чего используются точки 4 и 5. Эксперименты следует выполнять для различных токов и положений электродов при нескольких ступенях напряжения трансформатора. Разделение короткой сети по участкам позволяет определить не только суммарные потери, но и их составляющие по каждому участку отдельной фазы с учетом состояния контактных соединений.

Таким образом, на основе экспериментальных данных будут получены электрические и рабочие характеристики дуговой печи, которые позволят выбрать оптимальные параметры для осуществления автоматического управления процессом плавки, а также реализации мероприятий по энергосбережению. Причем последнее достигается как выбором и поддержанием оптимального режима работы печи, так и разработкой и внедрением мероприятий по снижению потерь в самих элементах короткой сети.

1. Зубиташвили Д.В. Состояние и перспективы развития электроэнергетики Грузии // Проблемы общей энергетики. - 2003. - №8 - С. 21-24.

2. Кожевников К.Г. Энергосбережение. Во что вкладывать средства? // Топливо-энергетический комплекс. - М., 2000 - №3.

3. Электрические промышленные печи: Дуговые печи и установки специального нагрева / Под. ред. А.Д. Свенчанского. - Изд. второе, перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1981. - 296 с. ил.

4. Емлин Б.И., Гасик М.И. Справочник по электротермическим процессам. - М.: Металлургия, 1978. - 184 с.

5. Электрооборудование и автоматика электротермических установок / Под ред. А.П. Бершицкого, М.Я. Смелянского, В.М. Эдемского. - М.: Энергия, 1978. - 304 с.