

УДК 669.15'74 – 198:669.018.5

Ю.Е. Харламов, Лю Ли, А.В. Безуглый, В.А. Безуглый,
А.В. Николенко, О.В. Замковой, А.Н. Овчарук

**ИННОВАЦИОННАЯ СХЕМА КОММУТАЦИИ
КОРОТКОЙ СЕТИ СОВРЕМЕННЫХ
РУДОВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ**

Анотація. Наведено параметри рудовідновних печі, призначеної для виробництва феронікелю. Дана характеристика пічного трансформатора з глибоким введенням 110 кВ потужністю 48 МВ.А з широким діапазоном вторинної напруги, що дозволяє працювати з високим коефіцієнтом використання встановленої потужності. Запропоновано схему розщепленої фази, що складається з 4-х вторинних обмоток з їх подальшою комутацією, що забезпечує мінімальну кількість комутуючих елементів і мінімальний струм комутації.

Ключові слова: рудовідновних піч, феронікель, глибокий введення, пічної трансформатор, комутація, розщеплена фаза.

Дальнейшее развитие электротермического производства ферросплавов базируется на строительстве и внедрении печных агрегатов повышенной единичной мощности, работающих как на переменном, так и на постоянном токе в зависимости от качества исходного сырья и выплавляемых сплавов [1–3].

При разработке параметров таких печей особое внимание уделяется конструкции футеровки, обеспечивающей их надежную эксплуатацию на протяжении десятилетий без капитальных ремонтов [4–5], системам токоподвода и компенсации реактивной мощности, позволяющим значительно снизить удельный расход электроэнергии на единицу производимой продукции, и системам очистки пылегазовых смесей, выделяющихся при протекании восстановительных процессов, их полной утилизации в собственном производстве или смежных отраслях промышленности.

Наличие дешевой электроэнергии и сырья – основных условий, определяющих рентабельность электротермии, и запрет некоторыми государствами его экспортировать, обусловили необходимость и воз-

© Харламов Ю.Е., Лю Ли, Безуглый А.В., Безуглый В.А., Николенко А.В., Замковой О.В., Овчарук А.Н., 2017

возможность интенсивного развития производства ферросплавов в странах Юго-Восточной Азии – Китае, Индонезии, Индии, Малайзии и др.

В 2011 году в городе Хуа-Хуа (КНР) был введен в эксплуатацию завод по производству ферроникеля в составе двух рудотермических печей мощностью по 48 МВ·А каждая, производства компании Sinosteel, четырех вращающихся трубчатых печей и четырех конвертеров. Техническая характеристика рудотермической печи приведена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика рудовосстановительной электропечи

Мощность печи, МВ·А	48
Номинальная мощность трансформатора, МВ·А	16
Количество трансформаторов, шт.	3
Первичное напряжение, кВ	110
Пределы вторичного линейного напряжения, В: - при последовательном включении вторичных обмоток - при параллельном включении вторичных обмоток	800 – 340 400 – 170
Число ступеней трансформатора	24
Охлаждение трансформатора	масляно-водяное
Электроды: - тип электродов - количество электродов, шт. - диаметр электродов, мм - диаметр распада электродов, мм - скорость перемещения электродов, мм/мин - ход электродов, мм	самообжигающиеся 3 1500 4200 200 – 300 1000
Режим плавки	непрерывный
Исходный загружаемый материал	моношихта (ога-рок)
Ванна печи: - форма - диаметр ванны, мм - высота ванны от пода до свода, мм - количество выпускных отверстий для выпуска шлака - диаметр выпускного отверстия шлаковой летки, мм - количество выпускных отверстий для выпуска металла - диаметр выпускного отверстия металлической летки, мм	круглая 15240 7000 2 70 2 70 150 350 – 450 600 – 650 1000 – 1100

- уровень оси летки для выпуска металла (от пода печи), мм - уровень расплава металла, мм - уровень оси летки для выпуска шлака (от пода печи), мм - уровень расплава шлака, мм - уровень слоя твердой шихты, мм - высота подсводного пространства, мм	4500 – 4900 1500 – 2000
Футеровка ванны печи: - рекомендуемый материал в рабочей зоне печи - температура футеровки, °С: · в зоне металлической ванны (стены и подина) · в зоне шлакового пояса · в зоне твердой шихты · в подсводном пространстве	периклазо- углеродистые ог- неупоры не более 1500 не более 1650 не более 1200 не более 1000
Свод печи: - форма - рекомендуемый материал футеровки - рабочее разряжение под сводом печи, Па - температура колошникового газа, °С	плоская шамот, динас 2 – 5 800 – 1000
Количество патрубков на своде: - для отвода газов, шт. - для подачи шихты, шт. - смотровые люки, шт.	1 27 – 30 2 – 3
Производительность печи (по огарку), т/ч	65 – 70

Как указано в характеристике, каждая печь имеет по 3 одно-фазных трансформатора по 16 МВ·А. Характеристика трансформатора приведена в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика печного трансформатора

Ступени транс-форматора	Номинальная мощность, кВА	Номинальное напряжение, В	Номинальная сила тока, А
1	16000	800/400	20000/40000
2	15600	780/390	20000/40000
3	15200	760/380	20000/40000
4	14800	740/370	20000/40000
5	14400	720/360	20000/40000
6	14000	700/350	20000/40000
7	13600	680/340	20000/40000
8	13200	660/330	20000/40000
9	12800	640/320	20000/40000
10	12400	620/310	20000/40000
11	12000	600/300	20000/40000
12	11600	580/290	20000/40000

13	11200	560/280	20000/40000
14	10800	540/270	20000/40000
15	10400	520/360	20000/40000
16	10000	500/250	20000/40000
17	9600	480/240	20000/40000
18	9200	460/230	20000/40000
19	8800	440/220	20000/40000
20	8400	420/210	20000/40000
21	8000	400/200	20000/40000
22	7600	380/190	20000/40000
23	7200	360/180	20000/40000
24	6800	340/170	20000/40000

Проектом предусматривалось использование в процессе производства никельсодержащего сырья с различными физико-химическими свойствами. В связи с этим печной трансформатор должен иметь широкий диапазон регулировки напряжения вторичной обмотки с высоким коэффициентом использования установленной мощности трансформатора.

Авторами была досконально проработана теоретическая основа решения этой проблемы. Существующий метод завышения сечения вторичной обмотки на нескольких последующих ступенях, по сравнению с первой, не обеспечивает решения поставленной задачи. В нашем случае было необходимо решить эту проблему при изменении напряжения вторичной обмотки печи на 50 %. Предложена схема расщепленной фазы, состоящая из 4 вторичных обмоток, рассчитанных на ток 10 кА с последующей их коммутацией, которая обеспечивает минимальное количество коммутирующих элементов и минимальный ток коммутации. Для решения такой задачи было предложено нестандартное расположение выводов вторичных обмоток трансформатора, что и было успешно реализовано китайским заводом-изготовителем трансформатора (компания Sinosteel) по патенту украинских специалистов. В процессе коммутации 4 вторичные обмотки включались параллельно, что обеспечивало фазный ток 40 кА, а ток электродов 69,2 кА. Цепь собиралась 4 перемычками в цепях 10 кА с линейным расширением 400 В. Второй режим коммутации предусматривает попарное последовательно-параллельное включение вторичных обмоток. Коммутация осуществляется двумя перемычками в цепи тока 10 кА (рисунке 1).

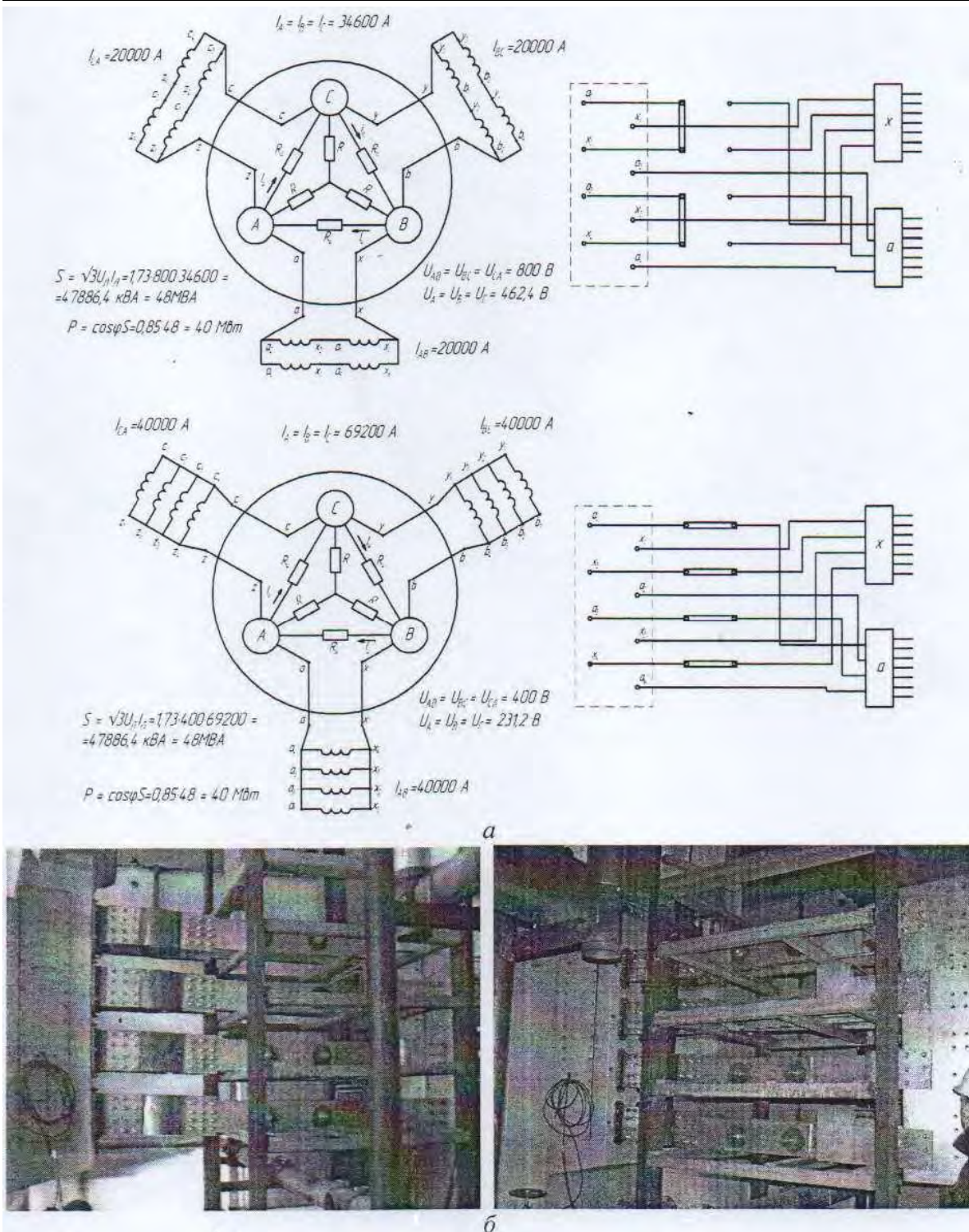


Рисунок 1 - Коммутация короткой сети: а – схема; б – общий вид

При такой коммутации линейное напряжение вторичной обмотки составляет 800 В при номинальном токе фазы 20 кА, а ток электрода 34,6 кА. Питающая подстанция с глубоким вводом 110 кВ (рисунок 2). Токоподвод 110 кВ к печным агрегатам осуществляется

через современные измерительно-коммутирующие устройства (рисунок 3).

Короткая сеть выполнена медными водоохлаждаемыми трубами (рисунок 4). В печи используется новый по форме кожух электрода и токоподвод.

С помощью гидравлики осуществляется перепуск и перемещение электродов. За период эксплуатации печи коммутирующие устройства и другие узлы электрической цепи показали возможность надежной эксплуатации и эффективной работы печи на оптимальных электрических параметрах ведения процесса на никельсодержащем сырье с различными физико-химическими свойствами.



Рисунок 2 - Распределительная подстанция 110 кВ



Рисунок 3 - Электрическое коммутирующее высоковольтное устройство 110 кВ



Рисунок 4 - Общий вид короткой сети

Внедренная схема токоподвода на участке короткая сеть – электрод заключается в том, что он, в отличие от отечественных рудовосстановительных печей, осуществляется за счет контакта медных щек с наружными ребрами кожуха электрода. Такая конструкция кожуха электрода обеспечивает его высокую механическую прочность, исключает обрывы и обеспечивает оптимальный режим спекания электродов за счет физического тепла, выделяющегося из реакционных зон печи.

Для обеспечения работы рудовосстановительной печи с высоким коэффициентом мощности ($\cos \varphi$ 0,92–0,95) в коммутационной схеме подключения предусмотрена компактная установка поперечной компенсации реактивной мощности.

Выводы

Разработанная и внедренная коммутационная схема подключения рудовосстановительной печи мощностью 48 МВ·А с глубоким вводом напряжения (110 кВ) высокой стороны, производящей ферроникель из окисленных никельсодержащих руд, обеспечивает высокий (0,92–0,95) коэффициент мощности, а широкий диапазон вторичного напряжения (170–800 В) позволяет оптимизировать электротехнологические параметры процесса плавки и полностью использовать установленную мощность печного трансформатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ферросплавные электропечи. Учебник / Гладких В.А., Гасик М.И., Овчарук А.Н., Пройдак Ю.С. – Днепропетровск: Системные технологии. 2007. – 259 с.
2. Рудовосстановительные печи и технологии производства марганцевых ферросплавов. Под редакцией д.т.н. Куцина В.С. и академика НАН Украины Гасика М.И. – Днепропетровск: НМетАУ, 2011 – 508 с.
3. Производство ферросплавов / Шевченко В.Ф. Издательство «Издательский дом «Вокруг света», 2013, 424 с.
4. Geldenhuys I.J. Aspects of DC chromate smelting at Mintek – an overview. INFACON XIII, Kazakhstan, Almaty, 2013, p. 31 – 47.
5. Рудовосстановительные электропечи повышенной мощности – новый этап в развитии электротермии на стыке двух тысячелетий / Величко Б.Ф., Куцин В.С., Беспалов О.П., Овчарук А.Н., Ольшанский В.И., Филиппов И.Ю., Бобуцкий В.И. // Сучасні проблеми металургії. Ключові аспекти розвитку електрометалургійної галузі. Наукові вісті – Дніпропетровськ: 2016. – т. XIX, с. 253 – 260.