УДК 621.365.2

Влияние рукавов электрододержателя на активное сопротивление трубошинного участка токоподвода дуговой сталеплавильной печи

**Власов Д. С. ,. Бикеев Р. А, Сериков В. А., Добров А.Н.**

*Россия, Новосибирск, НГТУ*

*В статье приведен метод расчета коэффициента добавочных потерь (КДП) для учета металлоконструкций, лежащих вблизи токоведущих элементов, на электрические параметры токоподвода. Приведены результаты численного моделирования для трехфазной 100-тонной дуговой сталеплавильной печи в виде зависимостей активного сопротивления участка и КДП от геометрии участка токоподвода и свойств рукавов. Результаты подтверждены экспериментальными данными.*

*Ключевые слова: дуговая сталеплавильная печь, коэффициент добавочных потерь, рукав электрододержателя, трубошины, схема замещения электропечного контура, мощные электротехнологические установки*

*In the article is shown method of calculation of coefficient of additional losses (CAL) to take into account influence of metallic constructions on electrical parameters of current-lead. There are also shown results of numerical simulation for three-phase arc steel furnace of 100 ton capacity in form of graphs of dependences of active resistance and CAL on geometry of current-lead partition and properties of the arms. The results are verified by experimental data.*

*Key-words: electric arc furnace, coefficient of additional loses, electrode holding arm, tubular bus, equivalent circuit of furnace, powerful electrotechnological installations*

Для расчета электрических, рабочих, эксплуатационных характеристик проектируемой ДСП, а также для разработки технологического процесса необходимо знать активные сопротивления элементов токоподвода, входящие в электрическую схему замещения печного контура.

Существует общеизвестная инженерная методика расчета активных сопротивлений токоподвода мощных электротехнологических установок, в которой эти дополнительные потери учитываются с помощью коэффициент добавочных потерь (КДП) [1]. Данный коэффициент введен только для ферромагнитных металлоконструкций, расположенных вблизи токоведущих проводников. Рекомендуемое значение КДП в этой методике составляет 1.15.

Инженерных методик точного учета влияния металлоконструкций на активное сопротивление токоподвода на данный момент не существует. Однако исследовательские работы в этом направлении ведутся давно. В 1960 – 1970 гг. во ВНИИЭТО были выполнены исследования по определению электрических потерь в рукавах и стойках электрододержателей дуговых сталеплавильных печей ДСП-100 и ДСП-200, изготовленных из конструкционной магнитной и немагнитной стали [2, 3].

Физическое моделирование – надежный, хорошо зарекомендовавший себя метод. Однако он требует изготовления, хоть и в уменьшенном масштабе, исследуемого объекта. В случае дуговых сталеплавильных печей стоимость таких работ весьма велика.

Исследования, подобные приведенным выше, можно в настоящее время проводить методами численного моделирования.

Для этого в программном пакете конечно-элементного численного моделирования ANSYS была построена базовая геометрическая модель с использованием чертежей реальной установки ДСП-100 И6, приведенная на рисунке 1.

При формировании допущений численной модели две трубошины, относящиеся к одной фазе, были заменены одним медным проводником коробчатого сечения, ширина и высота которого соответствовали габаритным размерам двух трубошин, а толщина стенки равнялась толщине стенки трубошины (рисунок 2). При этом, изменяемыми параметрами модели являются: расстояние от крайней трубошины до крайнего рукава *h*1 и расстояние от средней трубошины до среднего рукава *h*2. Различные сочетаний значений *h*1 и *h*2 представляют собой различные варианты исполнения трубошинного участка токоподвода ДСП. При этом рукава электрододержателей могут быть из магнитной стали (μr=*f*(*H*), ρ=20∙10-8 ом м) или немагнитной стали (μr=1, ρ=80∙10-8 ом м).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 1 – Общий вид трубошинного участка токоподвода трехфазной ДСП-100 И6: 1 – трубошины фаз, 2 – стальные рукава электрододержателей. | Рисунок 2 – Расчетная модель трубошинного участка ДСП-100 И6:  1 – модельные трубошины, 2 – рукава электрододержателей; *h*1 и *h*2 – геометрические параметры модели. |

В результате решения системы уравнений Максвелла в модельных элементах трубошинного участка токоподвода и окружающем пространстве было получено распределение удельной активной и реактивной мощности в расчетной области, из которых легко найти активные сопротивление элементов токоподвода относительно тока источника питания:

,

где  – интегральная активная мощность,  – ток источника питания.

Имея электрические параметры, полученные из модели без проводящих рукавов, можно получить коэффициенты дополнительных потерь для разных вариантов значений *h*1 и *h*2 и материалов рукавов по формуле:

,

где ,  – сопротивление фазы участка токоподвода в присутствии близлежащих металлоконструкций и в их отсутствии соответственно.

На рисунке 3 приведены графики зависимости среднефазного КДП от геометрических параметров *h*1 и *h*2 и свойств рукавов.

Из графиков видно, что среднефазный КДП уменьшается с увеличением расстояния между трубошинами и рукавами. В работе [2] этот коэффициент для 100-тонной ДСП получился равным 1.35 для *h*1 = 1400 мм и *h*2 = 2400 мм. Это значение ** отмечено на рисунке 3 и отличается от результатов выполненного численного моделирования не более чем на 4%. При этом результаты численного моделирования, полученные для магнитной и немагнитной стали, отличаются друг от друга не более чем на 9%, что подтверждает выводы работы [2]. Таким образом, правильность модели трубошинного участка токоподвода ДСП-100 И6 подтверждается экспериментом с достаточной для инженерных расчетов точностью.

Выполненные расчеты показали, что КДП для активного сопротивления фаз ** может варьироваться в диапазоне 1.2 ÷ 2.6.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 3 – Коэффициенты добавочных потерь к активному сопротивлению:  а) среднефазный коэффициент добавочных потерь КДПАС участка трубошин ДСП-100: 1 – *h*1 = 500 мм; 2 – *h*1 = 1000 мм; 3 – *h*1 = 1500 мм; сплошные – магнитная сталь, пунктирные – немагнитная; Х – экспериментальный результат [2];  б) коэффициент добавочных потерь для активного сопротивления: 1, 2, 3 – крайняя фаза; 4, 5, 6 – средняя фаза; 1, 4 – *h*1 = 500 мм; 2, 5 – *h*1 = 1000 мм; 3, 6 – *h*1 = 1500 мм;  сплошные – магнитная сталь, пунктирные – немагнитная. | |

Полученный результат можно объяснить, с одной стороны, более широким диапазоном изменения расстояний между трубошинами и рукавами, а с другой стороны, учетом трехфазной системы токов в трубошинах, взаимодействующих как между собой, так и с рукавами электрододержателей собственной и соседних фаз.

Полученные зависимости коэффициента добавочных потерь можно рекомендовать к использованию при проектировании аналогичных дуговых сталеплавильных печей, имеющих геометрические параметры, входящие в диапазон исходных данных выполненного исследования.

Список литературы

1.Данцис, Я. Б. Короткие сети и электрические параметры дуговых электропечей [Текст] / Я.Б. Данцис. - Москва : Металлугрия, 1987. - 320 с.

2.Бортничук, Н.И. Работы по моделированию коротких сетей в лаборатории ВНИИЭТО [Текст] / Н.И. Бортничук // Сб. науч. тр. Моделирование коротких сетей . - Москва : ЦИНТИЭЛ, 1963.

3.Бортничук, Н. И. Методы определения и улучшения электрических параметров электродуговых печей [Текст] / Н. И. Бортничук, Л. А. Сафронов и

О. В.Юрыгин // Электротермия. – 1964. - №31. – С. 41-43.

**Власов Давид Сергеевич**, кандидат технических наук, инженер кафедры автоматизированных электротехнологических установок (АЭТУ) Новосибирского государственного технического университета (НГТУ). Почтовый адрес: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20; раб. тел. +7(383)346-30-32; моб. тел. +7(951)900-91-77; e-mail: wlasow.david@gmail.com

**Бикеев Роман Александрович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры АЭТУ НГТУ. Контактная информация: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20; раб.тел. +7(383)346-30-32; моб.тел. +7(913)902-38-66; e-mail: bikeev@ngs.ru

**Сериков Виктор Андреевич**, аспирант, кафедра АЭТУ НГТУ. Почтовый адрес: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20; раб. тел. +7(383)346-30-32; e-mail: victorserikov@yandex.ru

**Добров Антон Николаевич**, магистрант, кафедра АЭТУ НГТУ. Почтовый адрес: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20; раб. тел. +7(383)346-30-32; моб.тел. +7(952)927-05-83; e-mail: antdobrov@mail.ru