

Analysis of the electrical characteristics influence of the current supply on the technical and economic indicators of the melting of ferrosilicochrome

A.K. Zhunusov^{1*}, V.I. Kulinich², A.K. Zhunusova¹

¹Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

²Innovative University of Eurasia, Pavlodar, Kazakhstan

*Corresponding author: zhunusov_ab@mail.ru

Abstract. This article presents the results of a research of the influence of the electrical characteristics of the current lead on the technical and economic indicators of ferrosilicochromium smelting. The parameters of the operation of the furnace No.43 of the Aksu Ferroalloy Plant in connection with the change in the characteristics of the current lead during the modernization of the EPU are considered. According to the experimental results of calculations, the power R_u , the composition of the metal and slag from the production of ferrosilicochromium are have great importance, almost with a rare use of the electrical resistance of the solid charge and the electrical resistivity of the slag, regardless of the readings of the sensors and the electrical parameters of the current supply. When using computational computer-computer programs (CRP), eleven modes of network operation are used. In this paper, mode 10 is closest to the production mode. According to mode 10, the electrical parameters of the current supply have been improved. According to the conditions of experimental calculations, the power P_y , the compositions of the metal and slag of ferrosilicochromium production remain constant. Modernization of a short network and an increase in the deepening of electrodes into the charge led to a decrease in R_y to $0.945 \div 0.958 \text{ m}\Omega$ and secondary voltage U_2 to 155 V , to a decrease in the SiC content in the slag to 15.1 and a decrease in flyoff SiO₂ to $67.0 \div 68.6 \text{ kg/t}$. The deepening of the electrodes with their reduced fit increased the furnace productivity to 79.8 t , and the specific power consumption decreased by $870 \text{ kW/h}\cdot\text{t}$.

Keywords: active resistance, short network, transformer, ferrosilicochrome.

1. Введение

В настоящее время отсутствуют достоверные знания и измерения фактических величин и зависимостей активно-индуктивных сопротивлений внешнего энергоподвода от особенностей конструктивного оформления и физического состояния его деталей и узлов, от электрического режима в данный период плавки. Это связано отчасти с тем, что на действующих электропечных агрегатах в процессе многих модернизаций существенно изменились конструктивные решения коротких сетей, первоначальные расчетные и справочные электротехнические и геометрические параметры электропечных установок (ЭПУ) [1-10].

При увеличении мощности и геометрических параметров печей производят реконструкцию трансформаторов и коротких сетей. Но их новые значения потерь холостого хода и короткого замыкания для трансформаторов и характеристики коротких сетей в лучшем случае рассчитывают по задаваемым ГОСТом значениям плотности тока в проводниках, процентных величин мощности и в напряжениях короткого замыкания, не выполняя холостого хода в прямых замерах. Для новых и модернизируемых электропечей активные и индуктивные составляющие сопротивления зачастую только рассчитывается по эмпирическим формулам при константах, которые далеко не безупречны [1-3].

2. Методы и материалы

Эффективность технологии, конструктивных и геометрических параметров ЭПУ, вместе с воздействующими факторами на величину активного сопротивления ванны (R_v) (физико-пространственные свойства шихты, положение электродов и электрический режим) выражается в технологических затратах электроэнергии (УР-Этехн), удельного расхода электроэнергии (УРЭ), по полному металлу, выплавленному в печи в следующей формуле [4-6]:

$$УРЭ_{техн} = УРЭ_{энт} \cdot \frac{1 + \left(\frac{r_{ккс}}{R_g} \right)}{1 - \left(\frac{r_{менл}}{R_g} \right)} \quad (1)$$

где $УРЭ_{энт}$ – удельный расход электроэнергии; $\gamma_{тепл}$ – тепловые потери; R_v – активное сопротивление ванны.

Данная формула показывает влияние на производительность ЭПУ не столько абсолютных величин активных сопротивлений энергоподвода и ванны, сколько их соотношения, которые являются индивидуальными для каждой печи и сплава.

Именно поэтому даже слишком достоверные справочные абсолютные величины по параметрам активного

сопротивления трансформатора ($r_{тр}$) и активного сопротивления короткой сети ($r_{кк}$), выявленные на действующих ферросплавных печах [3-10], в отрыве от активного сопротивления ванны (R_v) не могут свидетельствовать об эффективности технологии для данного сплава ЭПУ.

Анализ данных величин сопротивлений коротких сетей приведенных в работах [1,2] показывает, что их конструкция создается из условия обеспечения энергетического КПД около 0.915 по отношению к сопротивлению электропечной установки (R_y), вычисленному от средних величин токов и напряжений в нагрузочной таблице принятого трансформатора, в которой энергетический КПД определяется из активной мощности на фазе потери мощности в короткой сети, т.е. вообще используют абстрактную активного сопротивления короткой сети ($r_{кк}$), а активное сопротивление ванны (R_v) не фигурирует вовсе (формула 5).

При расчете полезного фазового напряжения печей ($U_{нф}$), исходя из формулы

$$U_{нф} = c \cdot P_e^n \quad (2)$$

С выбранными коэффициентами при разбегах $c=4.6 - 5.8$ и $n=0.25-0.38$ вычисляют вторичный линейный ток электрода ($I_э$)

$$I_э = \frac{P_e}{U_{нф}} \quad (3)$$

и

$$I_{\max} = (1.2 - 1.3) \cdot I_э \quad (4)$$

где c и n – коэффициенты, зависящие от вида процесса (шлаковый или бесшлаковый – n) и от марки (электрических характеристик шихты и электрического режима – c); R_v – мощность, выделяющаяся в ванне печи, МВт.

По последнему или по току короткого замыкания рассчитывают активное сопротивление короткой сети ($r_{кк}$) и определяют характеристики трансформатора из стандартного ряда [3], но с условием, что энергетический коэффициент полезного действия при условии полного использования энергии должен быть больше 0.915

$$0.915 > \left[\eta_{КПД} = \frac{U_{нф}}{I_э} / \left(\frac{U_{нф}}{I_э + r_{кк}} \right) \right] > 0.87 \quad (5)$$

Однако такой $\eta_{КПД}$ практически недостижим [2]. Чтобы вывести активное сопротивление короткой сети с трансформатором ($r_{кк}$) из зависимости от активного сопротивления ванны (R_v), вторичного линейного тока электрода ($I_э$), плотности тока в материале вывели следующее эмпирическое выражение ($r_{кк}$) для различных по типу и мощности электропечей на примере расчетов Струнского Б.М. из работы [2]

$$r_{кк} = \frac{r_{уик} \cdot x_c \cdot t_{вкл}}{t_{общ} + r_{мп} + \rho_{yc}} \cdot \left(\frac{D_э}{2} + \frac{D_p}{2 + L_{мп}} \right) \cdot \frac{T_{II}}{(S_o \cdot N_{мпн})} \cdot K_э \quad (6)$$

где $r_{уик}$ – активное сопротивление емкостных конденсаторных батарей, о наличии которого свидетельствует тепло, выделяющееся в помещении размещения установки продольно-емкостной компенсации; x_c – емкостное сопротивление рабочее при регулируемом числе конденсаторов в батарее; $t_{общ}/t_{вкл}$ – доля времени вклю-

ченной установки продольно-емкостной компенсации (УПК) в данном общем периоде работы печи; D_B – диаметр ванны; D_p – диаметр распада электродов; $r_{тр}$ – сопротивление трансформаторного агрегата; ρ_{yc} – удельное электросопротивление материала (УЭС) трубошин ($0.018-0.022$ мкОм·м); S_o – площадь сечения одной трубошины; $N_{мпн}$ – количество труб в пакете на полюс-фазу; T_{II} – индекс типа печи (РКО-1.2, РКЗ-1.05 и т.д.); $K_э$ – эмпирический коэффициент; $L_{мп}$ – расстояние между выводами среднего трансформатора и внутренней футеровкой ванны.

В рассматриваемом ряде печей мощностью от 12 до 80 МВ·А справочный разбег значений активного сопротивления короткой сети с трансформатором ($r_{кк}$) составляет 0.22-0.09 м·Ом [1].

Как правило, в активном сопротивлении короткой сети с трансформатором ($r_{кк}$) различают следующие подэлементы и поддетальные сопротивления

$$r_{кк} = r_{уик} + r_{мп} + r_{ск} + r_{тр.ш.л} + r_{г} + r_{мп.э} + r_{щ-э} + r_{э-у.шх} \quad (7)$$

где $r_{уик}$ – активное сопротивление емкостных конденсаторных батарей, о наличии которого свидетельствует тепло, выделяющееся в помещении размещения установки продольно-емкостной компенсации; $r_{ск}$ – сопротивление контактов (переходы шинных выводов трансформатора в трубчатые (шинные) пакеты и гибких пакетов, из трубошины в башмаках. Данных о значениях в м·Ом практически не имеется. Зависят от качества меди и болтовой сборки, также от времени нахождения в эксплуатации); $r_{тр.ш.л}$ – трубчатые (шинные) пакеты (прогнозные расчеты по влиянию активного сопротивления внешнего энергоподвода на ведущие показатели плавки как производительность печи и удельный расход электроэнергии при сохранении технологического режима, показывают значительные экономические резервы. Так, например, при сохранении наружного радиуса медных токоведущих труб ($R_H=25$ мм) уменьшение сопротивления с 0.19к до 0.12к мОм (k – доля участия трубчатых пакетов из количества (N) труб в активном сопротивлении короткой сети с трансформатором ($r_{кк}$)) приведет к уменьшению внутреннего радиуса медных токоведущих труб ($R_{внутр}$) с 20 до 16.4 мм, к росту массы меди в 1.583 раза, к росту производительности, с учетом сложившихся потерь металла со шлаком и при разливке до 77.8 против 72.6 тонн, и к снижению удельного расхода электроэнергии (УРЭ) до 6452 против 6909 кВт·ч/т); $r_{г}$ – сопротивление гибкостей (в зависимости от позиций подвижного и неподвижного башмаков, т.е. от посадки электродов существенно изменяется индуктивное сопротивление гибкостей x_r (мОм). Активное сопротивление гибкостей (r_r) зависит от кабельного или ленточного исполнения, степени обгара, и времени эксплуатации, со временем может повышаться на 40-50% от начального); $r_{тр-э}$ – сопротивление токоподвода к контактным щекам электродержателя – это вертикальный водоохлаждаемых труб, зависимость такая же как у трубчатых (шинных) пакетов ($r_{тр.ш.л}$); $r_{щ-э}$ – сопротивление контакта щека-электрод; $r_{э-у.шх}$ – сопротивление участка электрода «обрез контактных щек-уровень шихты», зависит от степени скокованности и скорости срабатывания электрода. «Сырой» электрод может увеличить сопротивление токоподвода на 20-40%. Зависит от эксплуатационных характеристик самоспекающихся электродов.

Исходя из формулы 7, приведенной выше, внимание сосредоточено, в основном, на сопротивлении трансформаторного агрегата ($r_{тр}$) и на сопротивлении трубчатого (шинного) пакетов ($r_{тр.ш.л}$), где оценивается только допустимая плотность тока в них. Остальные составляющие практикой игнорируются как в измерении, так и в расчетах.

Конструктивно отдельные участки сети, типа контактных узлов медь-медь, объединили расчетно для уменьшения их количества и приведения их параметров к какой-то достоверной зависимости от соотношения линейных размеров, конструкции и качества выполнения.

Абсолютные, подетальные и в целом, величины сопротивлений короткой сети должны определять:

- геометрические параметры печи (включая диаметры ванны D_B , электродов $D_Э$, распада электродов D_P , высоты ванны H_B), установка трансформатора в плане, высота размещения и габариты короткой сети;

- качество материалов, конструктивное оформление и качество исполнения;

- соблюдение требований работоспособности материальных конструкций сети с допустимой плотностью тока при его максимально возможной величине;

- характер выплавки ферросплавов (т.е. отношение $r_{кк}/R_B$ и $r_{тепл}/R_B$ должны быть менее 0.15 и различными в ряду марганцевых, кремнистых и хромистых сплавов);

- но не задаваемые или требуемые значения электрического КПД, коэффициента мощности печного трансформатора ($\cos\phi$) и неконкретная мощность $P_B=U_{пф} \cdot I_Э$, предполагающая любые соотношения полезного фазного напряжения ($U_{пф}$) и тока ($I_Э$) при $U_{пф} \cdot I_Э=const$.

3. Результаты и обсуждение

Рассмотрим параметры работы печи №43 ферросплавного цеха №4 Аксуского завода ферросплавов (г. Аксу, Павлодарская область) в связи с изменением характеристик токоподвода при модернизации электропечной установки (ЭПУ). Геометрические и электротехнические параметры электропечи №43 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Геометрические и электротехнические параметры электропечи №43

Электропечи	Проектные геометрические параметры, м					
	Диаметр электрода, $D_Э$	Диаметр распада электродов, D_P	Диаметр ванны, D_B	Диаметр колошника, D_K	Высота ванны, H_B	Высота воронки, $h_в$
Печь № 43	1,4	3,90	7,9	10,0	2,93	0
Электротехнические параметры, r и x в мОм						
Электропечи	Активное сопротивление короткой сети с трансформатором, $r_{ккк}$	Индуктивное сопротивление, $x_{ккк}$	Индуктивное сопротивление с УПК, x_c	Линейное напряжение, $U_л, В$	Ступени вторичного напряжения, $U_л C_m, В$	Мощность печи, $S, МВ \cdot А$
Печь № 43	0,19	0,37	0,676	140-230	23	25

По условиям экспериментальных вычислений, мощность P_u , составы металла и шлака производства ферросиликохрома остаются постоянными, практически при постоянном удельном электросопротивлении твердой шихты $УЭС_{штв}=10.77-10.74$ мОмм и удельного электросопротивления шлака $УЭС_{шл}=1.7-2.02$ мОмм независимо от положения электродов и электротехнических параметров токоподвода.

Перечень выборочных параметров из расчетных данных компьютерно-расчетных программ (КРП) с полным объемом составляет:

1. Назначаемые параметры работы печи:

- сопротивления короткой сети ($r_{кк}$), индуктивное сопротивление короткой сети ($x_{кк}$) и индуктивное сопротивление сети с установкой продольно-емкостной компенсацией ($x_{сУПК}$), мОмм;
- диаметр электродов ($D_Э$);
- длина погруженной в ванну печи ($h_э$) и общая длина ($h_{э0}$) электродов;
- посадка электродов (Π), м.

2. Варьируемые параметры для соблюдения постоянными мощности (P_u , МВт) и равенства $R_{тдрСРП} = R_{тп}$, атм:

- вторичное линейное напряжение ($U_л, В$);
- объем жидкой фазы в слое стенок тигля основного ($qV_{жст0}$);
- порозность шихты ($q\Pi_3$);

- высота твердой шихты ($h_{штв}$) через коэффициент $k/h_{штв}$;

- коэффициент обратного конуса шихты $k/обр.к$, в q -доле;

- регулировочный коэффициент тепловых потерь или условного сопротивления тепловых потерь ($k/тепл$), q к балансу выделения энергии в магматическом блоке ($P_{м.бл}$);

- структурные составы металлов и шлаков в суммарном равновесном процессе (СРП).

3. Расчетные электротехнические параметры печи:

- площадь сечения фактическая ($S_{факт}$, кВА);
- активная мощность (P_u , МВт);
- линейное напряжение ($U_л, В$);
- вторичный линейный ток электрода ($I_Э$, кА);
- активное сопротивление электроустановки (R_u) и индуктивное сопротивление электроустановки (X_u), мОм;
- коэффициент мощности печного трансформатора ($\cos\phi$);
- мощность электрических потерь ($P_{эл.потерь}$), МВт;
- мощность (P) и нагрузка ($q_{тепл}$) к мощности установки (P_u),
- энергетический КПД;
- мощность, выделяющаяся в ванне печи (P_B), МВт;
- мощность энтальпийная ($P_{энт}$), МВт;
- плотности тока в электроде ($i_э$) и в контактных щетках ($i_{щек}$), кА/м².

При проведении расчетов КРП использовали одиннадцать режимов работы печи. В данной работе рассматривается наиболее приближенный для производственных условий режим 10.

Таблица 2. Электротехнические параметры токоподвода

№ режима работы печи	Линейное напряжение, $U_{л}, В$	Вторичный линейный ток электрода, $I_{л}, кА$	Агрегатная твердожидкая зона стенок тигля через коэффициент, $K/жст$	Порозность шихты, $qПз$	Высота твердой шихты через коэффициент, $к/hштв$	Коэффициент обратного конуса шихты, $к/обр.к$	Условное сопротивление тепловых потерь, $к/тепл$	Расчетное давление СО в газовом пузыре термодинамического моделирования, $P_{тдр}/гп, кПа$	Температура термодинамического равновесия в суммарном равновесном процессе, $T_{тдр} СРП, °K$
Базовый	157	85.5	0.375	0.81	0.5	1.0	1.0	3.19	1970
Режим 10	155	86.0	0.200	0.81	0.8	0.98	0.878	3.123	1990
№ режима работы	Активное сопротивление ванны, $R_{в}, мОм$	Сопротивление твердой шихты, $R_{штв}, мОм$	Сопротивление слоя столба шихты, $R_{стл}, мОм$	Сопротивление дуги, $R_{дуг}, мОм$	Сопротивление магматического блока, $R_{м.бл}, мОм$	Мощность, выделяющаяся в ванне печи, $P_{в}, кВт$	Мощность выделяющаяся твердой шихтой, $P_{штв}, кВт$	Мощность выделяющаяся со стенок тигля основных, $P_{сто}, кВт$	Мощность электродуги, $P_{дуг}, кВт$
Базовый	0,76	2.47	1.46	2.97	1.70	16981	5272	8972	1774
Режим 10	0.79	1.40	3.35	2,74	1.49	17652	10016	4320	2148

Заглубление электродов на 0.8 м с пониженной посадкой 0.9 м вместе со снижением активного сопротивления короткой сети с трансформатором $r_{ккс}$ до 0.15 и индуктивного сопротивления $x_{ккс}$ до 0.4 мОм резко изменило распределение энергии P_1 по зонам с увеличением мощности выделяющаяся твердой шихтой ($P_{штв}$), почти в два раза, за счет увеличения высоты твердой шихты $h_{штв}$ до 1.411 м против 0.8 м по базовому и это при постоянном качестве и порозности шихты. Уменьшение выделения энергии мощности стенок тигля основных ($P_{сто}$) до 4320÷8972 кВт снизило объем жидкой фазы с уменьшением ее плотности до 2131/2309 кг/м³.

4. Выводы

Таким образом, модернизация короткой сети и увеличение заглубления электродов в шихту привели:

- к значительному снижению активного сопротивления (R_y) до 0.945÷0.958 мОм и вторичного напряжения $U_{л}$ до 155 В;
- к снижению содержания SiC в шлаке до 15.1 и снижению улета SiO₂ до 67.0÷68.6 кг/т, что способствовало увеличению металла до 815.2 кг/т рудного сырья;
- радиус активного схода шихты R_a придвинулся к внутренней футеровке до 0.398 м вместо 0.528 м, улучшилось отношение R_p/R_a до 1.217 (R_p – радиус распада электродов);
- заглубление электродов с их пониженной посадкой повысило производительность печи до 79.8 т, а удельный расход электроэнергии снизился до 6234 кВт/ч·т или на 870 кВт/ч·т.

References

- [1] Danziss, Ia.V., Kazevich, L.S., Zhilov, G.M., Mitrofanov, N.N., Rosenberg, V.L. & Cherenkova, I.M. (1987). Korotkie seti i elektricheskie parametry dugovyh elektropechey. *M.: Metallurgia*
- [2] Strunskiy, B.M. (1982). Rasschety rudnotermicheskikh pechey. *M.: Metallurgia*

Режим 10 - электротехнические параметры токоподвода (таблица 2) подверглись модернизации до значений $r_{ккс}=0.15$, $x_{ккс}=0.4$, $x_{сУПК}=0.4732$ мОм, а положение $h_{э}$ изменилось (м): $h_{э0}=2.7$; $\Pi=0.9$; $h_{э}=1.8$.

- [3] Kulinich, V.I., Golovachev, N.P., Suslov, A.V., Klimenko, V.F. & Varkentin, P.P. (2007). Determining the active-inductive components of the impedance in electrofurnace power-supply components. *Steel in Translation, 37(6), 524–531*
- [4] Suslov, A.V., Kulinich, V.I., Shcherbatykh, V.M., Zamylov, V.G. & Bastrykin, V.Yu. (2008). Distribution of the energy and electrical parameters of furnaces of different power according to the PET program. *Steel in Translation, 38(2), 158–160*
- [5] Kulinich, V.I., Suslov, A.V., Chikhichin, V.Y., Rodygin, A.V. & Masalov, V.P. (2010). Methods of predicting technological developments and simulating electrofurnaces in the smelting of ferrochrome. *Steel in Translation, 40(4), 347–354*
- [6] Kulinich, V.I., Zhunusov A.K., Tolymbekova, L.B. (2015). Analiz vyplavki ferrosilichroma pri primeneni razlichnyh colichestv uglerodistykh vosstanoviteley. *Vestnik KazNTU, 2(108), 414-419*
- [7] Kulinich, V.I., Zhunusov A.K., Tolymbekova L.B. & Zhunusova A.K. (2016). Modelirovanie veschestvennogo stroenia vannы rudovosstanovitelnoy electrichekoy pechi. *Vestnik KazNITU, 4(116), 425-429*
- [8] Sariev, O., Kelamanov, B., Zhumagaliyev, Y., Abdirashit, A. & Almagambetov, M. (2020). Remelting the high-carbon ferrochrome dust in a direct current arc furnace (DCF). *Metallurgiya, 59(4), 533-536*
- [9] Zayakin, O.V., Zhuchkov, V.I. & Leont'ev, L.I. (2018). Electric Furnace Bath Structure During High-Chromium Ferrochrome Production. *Metallurgist, 62(5-6), 493-50*
- [10] Shabanov, E.Z., Baisanova, A.M., Grigorovich, K.V., Inkarbekova, I.S. & Samuratov, E.K. (2020). Phase Transitions on Heating a Mixture of Chromium Ore with Aluminosilicochrome as a New Reducing Agent. *Metally, (6), 634-639*

Ферросиликохромды балқытудың техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне берілетін токтың электрлік сипаттамаларының әсерін талдау

А.К. Жүнісов^{1*}, В.И. Кулинич², А.К. Жүнісова¹

¹Торайғыров университет, Павлодар, Қазақстан

²Инновациялық Еуразия университеті, Павлодар, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: zhunusov_ab@mail.ru

Андатпа. Бұл мақалада ток өткізгіштің электрлік сипаттамаларының ферросиликохромды балқытудың техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. ЭПУ жаңғырту кезіндегі ток өткізу сипаттамаларының өзгеруіне байланысты Ақсу феррокорытпа зауытының №4 феррокорытпа цехтың №43 пешінің жұмыс параметрлері қаралды. Эксперименттік есептеу шарттары бойынша R_{Σ} қуаты, ферросиликохром өндірісінің металл және қож құрамы, электродтардың және ток өткізгіштің электрлік параметрлерінің орналасуына қарамастан, қатты шикіқұрамның үлесті электр кедергісі және қождың үлесті электр кедергісі тұрақты болып қалады. Компьютерлік-есептік бағдарламаларды (КЕБ) есептеу кезінде пештің он бір жұмыс режимі пайдаланылды. Осы жұмыста өндірістік жағдай үшін ең жақын режим 10 қарастырады. Модернизацияға режим 10 бойынша ток өткізгіштің электрлік параметрлері өткізілді. Эксперименттік есептеу шарттарына сәйкес R_{Σ} қуаты, ферросиликохром өндірісінің металл және қож құрамы тұрақты болып қалады. Қысқа желіні модернизациялау және электродтарды қожда тереңдетудің жоғарылауы R_{Σ} -дың $0.945 \div 0.958$ Мом-ға дейін және U_{Σ} екінші кернеуінің 155 В дейін төмендеуіне, қождағы SiC құрамының 15.1-ге дейін төмендеуіне және SiO₂-нің $67.0 \div 68.6$ кг/т. дейін төмендеуіне әкелді. Электродтардың тереңдеуі олардың төмен қонуымен пештің өнімділігін 79.8 тоннаға дейін арттырды, ал электр энергиясының нақты шығыны 870 кВт/сағ·т төмендеді.

Негізгі сөздер: белсенді кедергі, қысқа желі, трансформатор, ферросиликохром.

Анализ влияния электротехнических характеристик токоподвода на технико-экономические показатели выплавки ферросиликохром

А.К. Жунусов^{1*}, В.И. Кулинич², А.К. Жунусова¹

¹Торайғыров университет, Павлодар, Казахстан

²Инновационный Евразийский университет, Павлодар, Казахстан

*Автор для корреспонденции: zhunusov_ab@mail.ru

Аннотация. В данной статье приводятся результаты исследования влияния электротехнических характеристик токоподвода на технико-экономические показатели выплавки ферросиликохрома. Рассмотрены параметры работы печи №43 Аксуского завода ферросплавов в связи с изменением характеристик токоподвода при модернизации ЭПУ. По условиям экспериментальных вычислений, мощность R_{Σ} , составы металла и шлака производства ферросиликохрома остаются постоянными, практически при постоянном удельном электросопротивлении твердой шихты и удельного электросопротивления шлака независимо от положения электродов и электротехнических параметров токоподвода. При проведении расчетов компьютерно-расчетных программ (КРП) использовали одиннадцать режимов работы печи. В данной работе рассматривается наиболее приближенный для производственных условий режим 10. По 10 режиму электротехнические параметры токоподвода подверглись модернизации. По условиям экспериментальных вычислений, мощность R_{Σ} , составы металла и шлака производства ферросиликохрома остаются постоянными. Модернизация короткой сети и увеличение заглубления электродов в шихту привели к снижению R_{Σ} до $0.945 \div 0.958$ мОм и вторичного напряжения U_{Σ} до 155 В, к снижению содержания SiC в шлаке до 15.1 и снижению улета SiO₂ до $67.0 \div 68.6$ кг/т. Заглубление электродов с их пониженной посадкой повысило производительность печи до 79.8 т, а удельный расход электроэнергии снизился на 870 кВт/ч·т.

Ключевые слова: активное сопротивление, короткая сеть, трансформатор, ферросиликохром.