

УДК 669.15'74-198:669.181.27

В.С. Куцин, В.А. Гладких, В.И. Ольшанский,

И.Ю. Филиппов, С.Н. Кузьменко, В.Н. Рак, А.В. Рубан

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ
МЕЖДУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ
ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА**

Анотація. Проведено аналіз впливу вхідних параметрів, що беруть участь в оперативному управлінні технологічним процесом виплавки ферросилікомарганцю: ІЭ, RЭ, <Ств/(Mn+SiO2)>, tмет. На вихідні: ПП, ηMn, Qуд, з метою оптимізації основних ТЕП процесу. Наведено результати інтерпретації параметрів регресійних моделей. Показано, що прагнення поліпшити один показник може привести до погіршення іншого. Тому для оптимізації ходу технологічного процесу необхідно контролювати баланс значень основних ТЕП з точки зору впливу кожного на ефективність процесу шляхом оперативного управління вхідними змінними.

Ключові слова: ферросплавна піч, ферросилікомарганець, технологічні параметри, електричні характеристики, рівняння множинної регресії, інтерпретація параметрів регресійних моделей.

Аннотация. Проведен анализ влияния входных параметров, участвующих в оперативном управлении технологическим процессом выплавки ферросиликомарганца: IЭ, RЭ, <Ств/(Mn+SiO2)>, tмет. На выходные: ПП, ηMn, Qуд, с целью оптимизации основных ТЭП процесса. Приведены результаты интерпретации параметров регрессионных моделей. Показано, что стремление улучшить один показатель может привести к ухудшению другого. Поэтому для оптимизации хода технологического процесса необходимо контролировать баланс значений основных ТЭП с точки зрения влияния каждого на эффективность процесса путем оперативного управления входными переменными.

Ключевые слова. ферросплавная печь, ферросиликомарганец, технологические параметры, электрические характеристики, уравнения множественной регрессии, интерпретация параметров регрессионных моделей.

Annotation. The analyses effect of input parameters involved in the operational management of the ferrosilicon manganese smelting process: IЭ, RЭ, <Ств/(Mn+SiO2)>, tмет. On the output: ПП, ηMn, Qуд, has been conducted in order to optimize the main technical-economic values of the process. The results of the interpretation parameter of regression models has been provided. It is shown that the desire to improve one indicator may lead to a deterioration of another. Therefore, to optimize the course of the process it's necessary to control the main technical-economic values in terms of the influence of each parameter on the efficiency of the process and operational management of the input variables.

Keywords: Ferroalloy furnace, ferrosilicomanganese, technical-economic values, electrical characteristics, multiple regression equation, interpretation of regression models parameters.

Введение

Исследование статистической взаимосвязи в фактических данных, характеризующих процесс за длительный период времени, позволяет установить некоторые закономерности его реализации. Обработка результатов наблюдений за составом шихтовых материалов, ходом технологического процесса, количеством и

качеством выпускаемой продукции позволяет предсказывать возможность нарушения требуемых параметров конечных продуктов производства, когда их качество находится в заданных пределах, и своевременно вводит соответствующие коррективы, обеспечивающие устойчивость технологического режима.

Эффективность технологического процесса в рудовосстановительных печах зависит от трех основных режимов: шихтового, электрического и газового [1]. В составе существующей АСУ ТП рис.1 реализованы следующие автоматические системы контроля и управления:

- система рецептурного дозирования шихтовых материалов (АСУДМ),
- система управления загрузкой печных бункеров (АСУЗП),
- система управления электрическим режимом печи и перепуском электродов (АСКЭР),
- система контроля газового и температурного режимов печи (АСКГТ).

Актуальным является разработка модели процесса выплавки ферросплавов. Где входные данные это технологические параметры и электрические характеристики, полученные от существующих систем, выходные – расчёт технико-экономических показателей (ТЭП) работы ферросплавных печей. Применение математической статистики для обработки, приведенных к одному временному формату входных и выходных данных позволяет найти значимые связи между ними. С помощью методов регрессионного анализа находят модель с адекватным отражением установленных взаимосвязей между технологическими параметрами, электрическими характеристиками и ТЭП процесса получения марганцевых сплавов [2,3].

Наличие модели позволяет координировать результаты наблюдений за составом шихтовых материалов, ходом электрического и технологического режима, количеством и качеством выпускаемой продукции, предсказывать возможность нарушения параметров конечных продуктов производства и «хода» печи, своевременно вводит соответствующие корректировки, обеспечивающие устойчивость технологического режима плавки. Это достигается анализом имеющегося архива контролируемых параметров, который формируется путем обработки данных существующих систем АСУ ТП по разработанным алгоритмам, с целью приведения их к удобному для дальнейших вычислений формату.

Формирование электронной базы данных электрических и технологических параметров по каждой печи осуществляется на основе архивирования параметров:

- АСУДМ – состав и количество шихтовых материалов;
- АСУЗП – оперативный контроль изменения массы печных бункеров позволяет определять скорость схода шихты;
- АСКЭР – характеристики электрического режима, перепуска электродов, включая длину электрода и его положения относительно подины печи
- ручной ввод - количество и состав выпущенного металла, шлака, содержание элементов в шихтовых материалах.

При работе печей ЦПФ с учетом тарифных зон стоимости электроэнергии активная мощность печи является переменной величиной, следовательно, особый интерес представляет параметры, оперативно характеризующие размеры и состояние приэлектродного пространства включающего шихту, шлак металл. К таким параметрам относятся ток электрода, активное сопротивление приэлектродного пространства и его дифференциальные составляющие (сопротивление расплава, дуги и шунта), расстояние электрод-подина. Эти параметры отражают процессы, протекающие в ванне печи, и выход их за оптимальные границы сигнализирует о нарушении хода технологического процесса, что позволяет оперативно принять решение по его устранению.

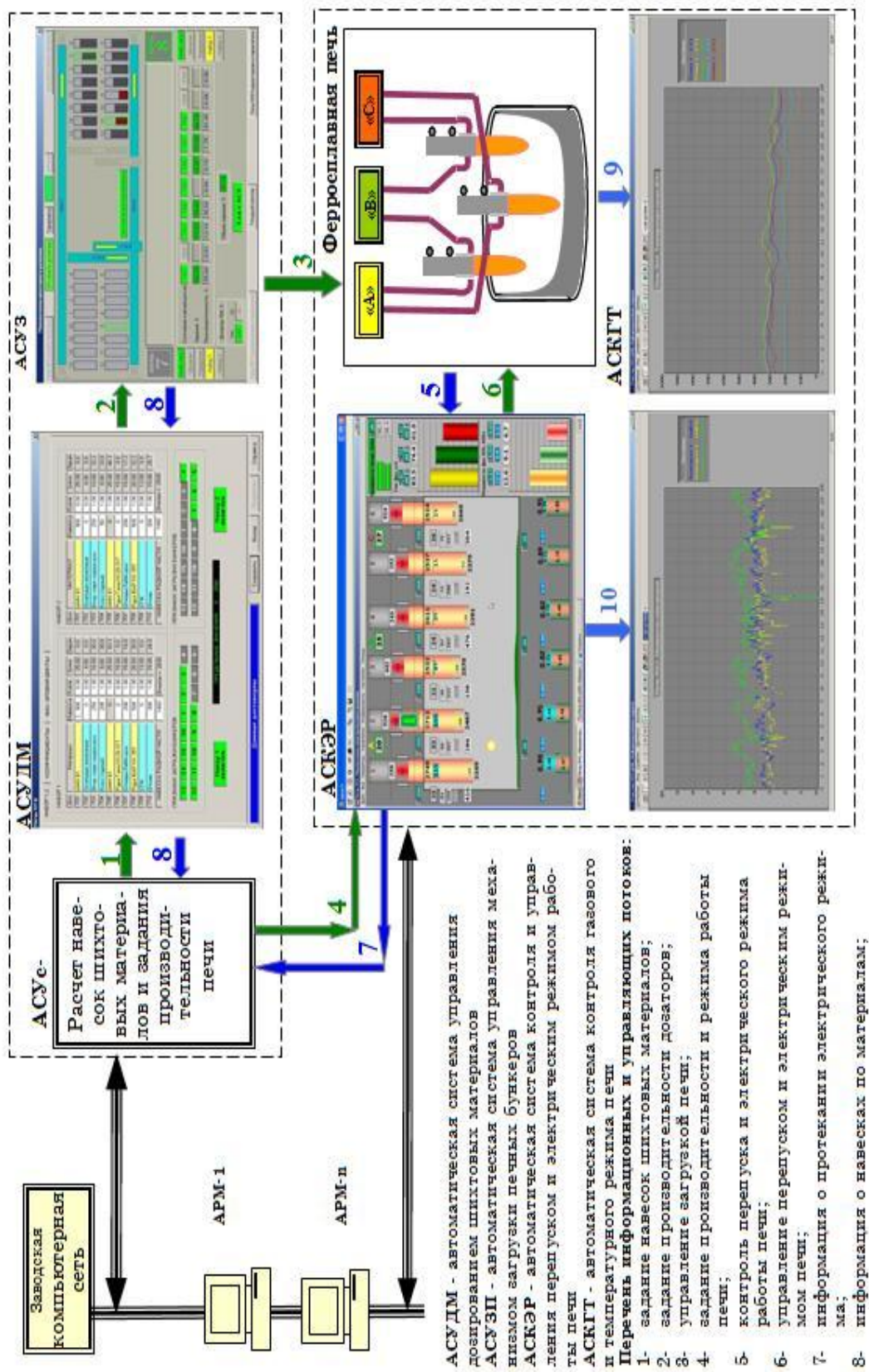


Рисунок 1 – Схема структурная автоматической системы управления технологическим процессом выплавки ферросплавов

Активная мощность определяется квадратом тока и активным сопротивлением приэлектродного пространства.

$$P_{\text{Э}} = I_{\text{Э}}^2 R_{\text{Э}} \quad (1)$$

Активное сопротивление приэлектродного пространства состоит из сопротивления зоны дуги-шунта $R_{\text{ДШ}}$ и зоны расплава $R_{\text{Р}}$ [4,5]. Таким образом, интенсивность протекания определяется в основном электрическими характеристиками процесса.

Интерпретация полученных регрессионных моделей проводилась при изменении входных переменных (электрических характеристик $I_{\text{Э}}$ и $R_{\text{Э}}$ и технологических параметров $\langle C_{\text{ТВ}}/(\text{Mn}+\text{SiO}_2) \rangle$, $t_{\text{мет}}$) диапазон изменения от минимального до максимального значения приведен в таблице 1.

Таблица 1

Перечень и характеристика исходных данных

Наименование	Обознач.	Ед.изм.	Макс.	Среднее	Миним.
Заданный в печь марганец	$\langle \text{Mn} \rangle$	т	105.65	60.93	27.44
Отношение углерода к марганцу и кремнезему в шихте	$\langle C_{\text{ТВ}}/(\text{Mn}+\text{SiO}_2) \rangle$		0.25	0.15	0.11
Время, затраченное на производство металла в текущей смене	$t_{\text{мет}}$	мин	729	434	140
Количество полученного марганца	$[\text{Mn}]$	т	81.0	46.2	14.3
Количество полученного металла	$[\text{Me}]$	т	114.5	63.3	20.0
Производительность печи	$\Pi_{\text{п}}$	т/час	14.8	9.1	2.9
Количество электроэнергии	$Q_{\text{п}}$	кВт·час	563.2	271.1	66.5
Ток электрода	$I_{\text{Э}}$	кА	93.3	78.6	55.0
Сопротивление эл-да	$R_{\text{Э}}$	МОм	1.37	0.93	0.57

Рассмотрим модели множественной регрессии влияния значений входных переменных на ТЭП работы печи: производительность $\Pi_{\text{п}}$, извлечение марганца $\eta_{\text{Mn}} = [\text{Mn}]/\langle \text{Mn} \rangle$; удельный расход электроэнергии на тону выпущенного металла $Q_{\text{уд}} = Q_{\text{п}}/[\text{Me}]$. Модели мультипликативного типа получены путем анализа данных электронной базы в виде уравнений множественной регрессии:

$$\eta_{\text{Mn}} = 0,00574 I_{\text{Э}}^{0,563} R_{\text{Э}}^{0,05} t_{\text{мет}}^{0,51} (C_{\text{ТВ}}/(\text{Mn}+\text{SiO}_2))^{0,389}; \quad (2)$$

$$Q_{\text{уд}} = 3,35 I_{\text{Э}}^{-0,01} R_{\text{Э}}^{-0,19} t_{\text{мет}}^{0,081} (C_{\text{ТВ}}/(\text{Mn}+\text{SiO}_2))^{0,111}; \quad (3)$$

$$\Pi_{\text{п}} = 0,0021 I_{\text{Э}}^{1,93} R_{\text{Э}}^{0,99} \quad (4)$$

Переходя к интерпретации полученных коэффициентов уравнений регрессии важно помнить о том, что полученные коэффициенты являются лишь оценками, поэтому вся интерпретация представляет собой лишь оценку. Уравнения регрессии отражает только общие тенденции выборки [2,3].

Результаты интерпретации параметров регрессионных моделей (2-4) приведены на рисунках 2, 3. На рисунке 2 приведены зависимости ТЭП работы печи от тока электрода и сопротивления приэлектродного пространства. Анализ графиков показал, что при прочих равных условиях с увеличением тока электрода η_{Mn} и $\Pi_{\text{п}}$ растут, $Q_{\text{уд}}$ изменяется слабо. При прочих равных условиях с увеличением $R_{\text{Э}}$ растет $\Pi_{\text{п}}$, уменьшается $Q_{\text{уд}}$, η_{Mn} меняется не значительно. На рис. 3 представлена интерпретация зависимости $Q_{\text{уд}}$, η_{Mn} от $t_{\text{мет}}$ и $C_{\text{ТВ}}/(\text{Mn}+\text{SiO}_2)$. При прочих равных условиях увеличение $t_{\text{мет}}$ приводит к росту η_{Mn} , что является положительным моментом, но при этом растет и удельный расход электроэнергии. Похожая картина наблюдается и при изменении $C_{\text{ТВ}}/(\text{Mn}+\text{SiO}_2)$.

Выводы

Полученные модели множественной регрессии позволяют прогнозировать характер изменения ТЭП при увеличении или уменьшении факторных переменных участвующих в технологическом процессе выплавки ферросиликомарганца. Например: при увеличении $R_{\text{Э}}$ уменьшается $Q_{\text{уд}}$, что благоприятно влияет на ТЭП, в результате чего растет производительность печи, готовый металл накапливается быстрее, а т.к. плавильное пространство печи ограничено - выпуск приходится делать раньше сократив $t_{\text{мет}}$, что приведет к уменьшению η_{Mn} , компенсировать которое можно увеличением $C_{\text{ТВ}}/(\text{Mn}+\text{SiO}_2)$, что также приведет к росту $Q_{\text{уд}}$. Анализ полученных моделей показал, что стремление улучшить один показатель может привести к ухудшению другого. Поэтому для оптимизации хода технологического процесса необходимо определить баланс значений основных ТЭП с точки зрения влияния каждого на эффективность процесса и путем оперативного управления входными переменными стабилизировать найденные значения. Для этого необходимо предварительно определить характерные значения регулируемых параметров $I_{\text{Э}}$, $R_{\text{Э}}$, $t_{\text{мет}}$ и $C_{\text{ТВ}}/(\text{Mn}+\text{SiO}_2)$. Кроме того обобщенный показатель $R_{\text{Э}}$ не дает возможности оценить отдельно вклад составляющих сопротивления приэлектродного пространства ($R_{\text{р}}$, $R_{\text{дш}}$) [6,7], которые отражают распределение энергии в зависимости от характеристик шихты $C_{\text{ТВ}}/(\text{Mn}+\text{SiO}_2)$ и расплава $\langle(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2\rangle$. Для этого необходимо создание соответствующих моделей.

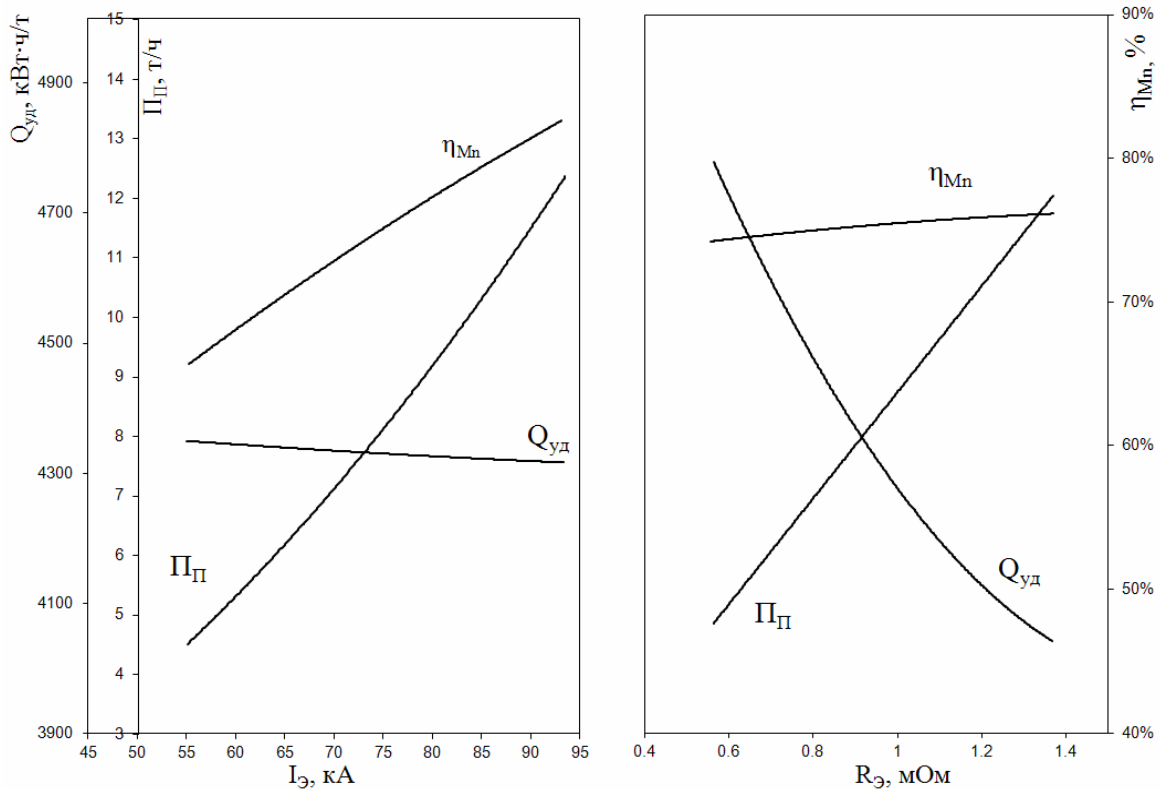


Рисунок 2 – Зависимости ТЭП работы печи от тока электрода и сопротивления приэлектродного пространства

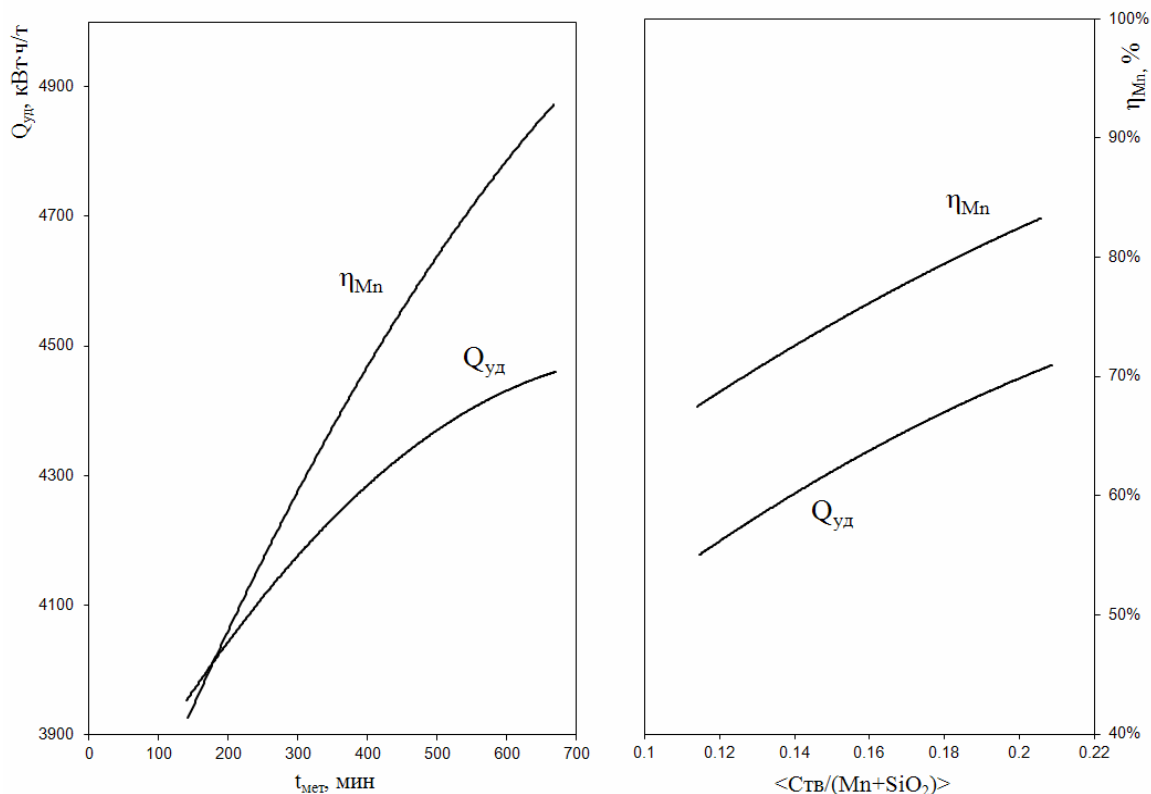


Рисунок 3 – Зависимости ТЭП работы печи от времени и $C_{ТВ}/(Mn+SiO_2)$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гасик М. И. Физикохимия и технология электроферросплавов: учебник [для высш. учеб. зав.] / М. И Гасик., Н. П Лякишев. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – 448 с.
2. Винарский М.С. Математическая статистика в черной металлургии / М.С. Винарский, В.Т. Жадан, Ю.Е. Кулак. - К. : Техніка, 1973. - 220 с.
3. Цымбал В.П. Математическое моделирование металлургических процессов / Цымбал В.П. – М. : Металлургия, 1986, -256 с
4. Определение параметров и характеристик элементов схем замещения ванн рудовосстановительных электропечей. / С.Н. Кузьменко, А.В. Николенко, В.И. Ольшанский, Е.В. Лапин, В.А. Гладких, В.П. Грунов // Сталь. - 2005. - №12. - С. 35-38.
5. Автоматическая система контроля и управления электрическим режимом шестиэлектродной печи по выплавке силикомарганца / В.С. Куцин, В.И. Ольшанский, В.А. Гладких, С.Н. Кузьменко, В.П. Грунов. // Сучасні проблеми металургії : прогресивні енерго- і ресурсо зберігаючі технології та обладнання в електротермії феросплавів : наукові праці. - Дніпропетровськ : Системні технології, 2003. – Т.6. - С. 159-163.
6. Определение оптимальных параметров электрического режима при выплавке ферросиликомарганца / В. С. Куцин, В. А. Гладких, С. Н. Кузьменко, А. В. Николенко, В. И. Журбенко, В. Ф. Лысенко, В. И. Погорелый // Сталь. - 2009. - № 1. - С. 52-54.
7. Определение рациональных параметров выплавки ферросиликомарганца на основе электрических характеристик процесса / В. С. Куцин, В. А. Гладких, С.Н. Кузьменко, А. В. Николенко, В. И. Журбенко, В. Ф. Лысенко, А. Н. Овчарук // Сталь. - 2010. - № 1. - С. 55-58.