

Министерство образования и науки Украины  
Одесский национальный политехнический университет

*Труды*  
*ОДЕССКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА*

Научный и производственно-практический  
сборник

Вып. 2(24), 2005

Одесса

Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. — Одесса, 2005. — Вып. 2(24). — 276 с. — Яз. рус., укр.

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

*Малахов В.П.* — гл. редактор, *Кострова Г.В.* — зам. гл. редактора, *Плескач Л.О.* — отв. секретарь, *Баранов П.Е.*, *Дащенко А.Ф.*, *Дубковский В.А.*, *Куценко А.Н.*, *Пуйло Г.В.*, *Алексеева Л.А.*, *Ефрюшина Н.П.*, *Кожухарь В.Я.*, *Кругляк Ю.А.*, *Куниченко Б.В.*, *Новохатский И.А.*, *Бельтюков Е.А.*, *Продиус И.П.*, *Соколенко В.Н.*, *Харичков С.К.*, *Гончарук Г.И.*

Сборник основан в 1996 году, зарегистрирован в Министерстве Украины по делам печати и информации 5 декабря 1996 года, свидетельство серии КВ № 2380

Печатается по решению Ученого совета Одесского национального политехнического университета, протокол № 2 от 25.10.2005 г.

Компьютерную версию опубликованных материалов можно получить по адресу:  
<http://www.ospu.odessa.ua>

**ЭНЕРГЕТИКА. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

<i>М.В. Максимов, О.В. Маслов, Т.С. Писклова.</i> Анализ эффективности управления энерговыделением водо-водяных энергетических реакторов.....	86
<i>В.А. Кишиневский, А.П. Боровский, Б.Н. Шукайло.</i> Предотвращение коррозии паровых калориферов и их конденсаторов.....	90
<i>В.А. Дубковский, Г.П. Верхивкер, В.П. Кравченко.</i> Методика расчета конвертора природного газа, выполненного из трубок Фильда.....	95
<i>Д.В. Чернуха, О.П. Воинов.</i> Особливості функціонування будівельних споруд з утепленими огорожуючими конструкціями .....	101
<i>Л.П. Андреев, В.Р. Никульшин, А.М. Андрущенко.</i> Рациональные уравнения теплоотдачи при конденсации пара на вертикальной поверхности .....	104
<i>С.С. Титарь, А.А. Климчук, Е.В. Сафронов.</i> Охлаждение жидкого продукта при транспортировке в железнодорожных цистернах .....	107
<i>О.В. Камінський.</i> Теплонасосна система опалення та водопостачання на базі скидних та ґрунтових вод .....	111
<i>В.В. Булгар, А.Д. Излев, И.В. Меркулов.</i> Электромагнитный расчет быстродействующего линейного двигателя постоянного тока индукторного типа .....	114
<i>А.В. Королев.</i> Влияние электродинамических сил на электрически обогреваемый канал.....	119
<i>К.В. Дубовенко.</i> Рекуперация энергии в контуре электрического разряда с переменной индуктивностью .....	124

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

<i>М.Б. Копитчук, С.В. Шендрик, І.Г. Мілейко.</i> Математична модель інформаційних сигналів тензометричних систем.....	130
<i>А.В. Дрозд, А.В. Нечипорук, М.В. Лобачев.</i> Формализация описания средств контроля по модулю умножителя мантисс.....	135
<i>Г.Я. Тулущенко, А.Н. Хомченко.</i> Моделирование несимметричных блужданий по сеткам средствами СКМ MATLAB.....	139
<i>Т.В. Філатова.</i> Об'єкти зі змінним вектором атрибутів .....	142
<i>И.И. Маракова.</i> Оценка эффективности системы с цифровыми водяными знаками в условиях атаки оцениванием .....	146
<i>Г.В. Кострова, Е.В. Колесникова, И.В. Прокопович.</i> Нейронная сеть для расчета равновесия системы “шлак-металл” восстановительного периода.....	152
<i>В.Л. Тимченко.</i> Синтез управляющих функций на основе структурно-переключаемых обратных связей при управлении многомерным объектом.....	155
<i>Ю.К. Тодорцев, И.Н. Максименко.</i> Объектно-ориентированная модель системы теплоснабжения. Информационные модели.....	160
<i>О.Є. Яковенко, В.Д. Гогунський.</i> Розробка критеріїв оцінювання якості і прийняття рішень при проектуванні автоматизованої навчальної системи .....	165
<i>В.А. Вайсман.</i> Теоретические основы выбора функции цели для проектов систем управления качеством .....	169

УДК 004.032.26:669.187

Г.В. Кострова, канд. техн. наук, доц.,  
 Е.В. Колесникова, канд. техн. наук,  
 И.В. Прокопович, канд. техн. наук, доц.,  
 Одес. нац. политехн. ун-т

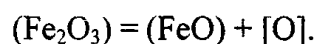
## НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ РАСЧЕТА РАВНОВЕСИЯ СИСТЕМЫ “ШЛАК-МЕТАЛЛ” ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА

*Г.В. Кострова, К. В. Колеснікова, І.В. Прокопович.* Нейронна мережа для розрахунку рівноваги системи “шлак-метал” на стадії відновлення. Запропоновано алгоритм розрахунків рівноваги системи “шлак-метал” стадії відновлення під керуванням нейронної мережі.

*G.V. Kostrova, K.V. Kolesnikova, I.V. Prokopovich.* Application of a neural network for calculation of balance of system “slag-metal” of a stage of restoration. The algorithm of calculation of balance of system “slag-metal” of a stage of restoration is offered under the control of a neural network.

Основной составляющей автоматизированной системы управления технологическим процессом выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах является подсистема расчета химического равновесия и материального баланса процесса. Эта подсистема служит для определения количества и типа материалов, загружаемых в печь на каждом отдельном этапе процесса [1]. Предложена методика совместного решения системы уравнений материального баланса и химического равновесия системы под управлением нейронной сети (НС) [2], использование которой позволило значительно сократить время расчета равновесия системы за счет распараллеливания вычислений.

Однако формирование равновесной системы в ванне печи на стадии восстановления существенно отличается от условий окислительного периода, когда в ванне создается избыток кислорода, и содержание окислов железа  $Fe_2O_3$  и  $FeO$  зависит от основности шлака и концентрации углерода в металле [3]. Технологические операции стадии восстановления направлены на химическое “связывание” кислорода, растворенного в металле и шлаке: кислорода в металле становится меньше, чем на стадии окисления. В этом случае ведущим элементом в системе становится кислород  $[O]$ , который растворен в металле. А равновесная концентрация окислов железа  $Fe_2O_3$  и  $FeO$  в шлаке должна определяться по равновесию реакций

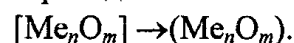


В связи с этим расчет математического описания стадии раскисления должен основываться на расчетах концентраций окислов железа  $Fe_2O_3$  и  $FeO$  исходя из условий равновесия. Концентрация окислов железа в шлаке на этом этапе плавки переводится из разряда ограничений в виде равенств, определяемых экспериментально, в разряд независимых переменных, зависящих от условий равновесия.

Сложность в моделировании равновесия системы “шлак-металл” восстановительного периода состоит еще и в том, что на первом этапе раскисления шлак еще не сформирован. В соответствии с технологической инструкцией конечный шлак окислительного периода полностью удаляется из печи [4]. Далее на зеркало расплавленного металла присаживаются раскислители: ферромарганец, ферросилиций, силикокальций и др., которые плавятся и вступают в химическое взаимодействие с кислородом, растворенным в расплавленном металле и присутствующим в атмосфере печи,



Образующиеся при этом окислы переходят в шлак



Поэтому алгоритм моделирования статистики процесса восстановительного периода состоит из двух этапов: расчета раскисления металла без шлака и расчета равновесия в системе “шлак — металл” после наводки шлака.

Расчет раскисления металла при отсутствии шлака выполняется в следующей последовательности. Исходя из практических или справочных данных об угаре ферросплавов, определяется распределение раскислителя между металлом и шлаком. Рассчитывается состав металла и концентрация кислорода в нем. При этом в результате расчета теплового баланса системы учитывается тепловой эффект реакции образования окислов, переходящих в шлак, а также тепло, необходимое для плавления ферросплавов. Расчет выполняется в один проход без итераций.

После раскисления металла выполняется операция формирования шлака.

С помощью алгоритма [1], с дополнительным циклом по FeO, определяется влияние массы FeO в шлаке на величину функций рассогласования, для проверки предположения о преимущественном влиянии независимых переменных на значение “своих” частных функций невязки баланса (рис. 1).

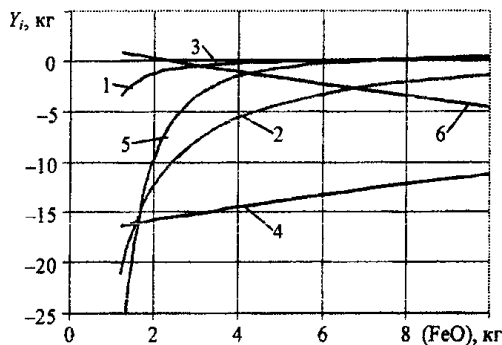


Рис. 1. Влияние массы (FeO) в шлаке на частные функции рассогласования общего материального баланса системы:

1 — баланс кремния в пересчете на  $\text{SiO}_2$ , 2 — баланс марганца в пересчете на  $\text{MnO}$ , 3 — баланс магния в пересчете на  $\text{MgO}$ , 4 — баланс хрома в пересчете на  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , 5 — баланс фосфора в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 6 — баланс кислорода

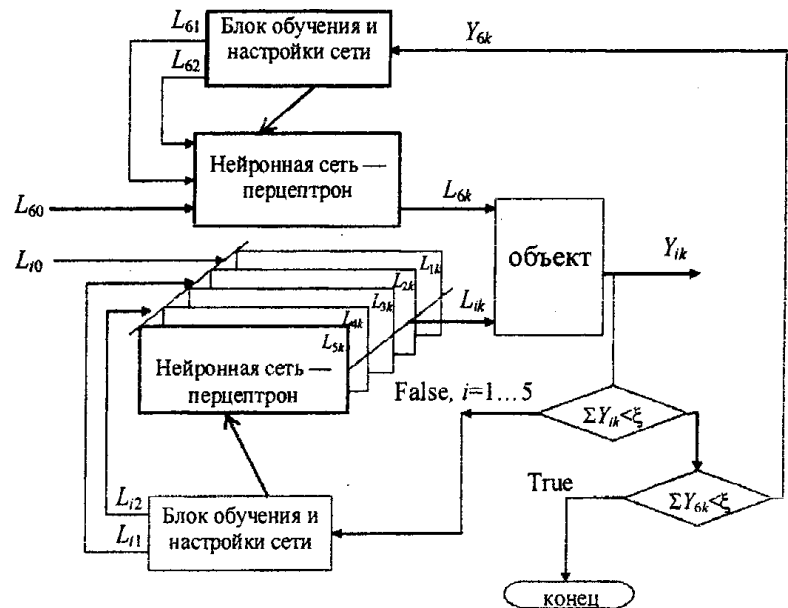


Рис. 2. Нейронная сеть для управления расчетом материального баланса системы в период раскисления

Результаты компьютерного эксперимента выявили нелинейную зависимость частных функций рассогласования от величины (FeO) в шлаке. При этом уменьшение массы (FeO) в шлаке приводит к значительному небалансу расчета, а относительное изменение невязки баланса по кислороду отличается более чем на порядок от частных функций рассогласования по фосфору и марганцу. Выявленные свойства математического описания не позволяют использовать предложенный прием распараллеливания вычислений, т.к. при независимом изменении (FeO) происходит существенное изменение всех частных функций рассогласования.

Принимая во внимание, что при зафиксированном (FeO) процесс расчета сходится к решению по всем компонентам, используем иную стратегию расчета — цикл в цикле. Вначале рассчитаем равновесие при заданном значении (FeO). Затем найдем такое значение (FeO), которое обеспечит баланс системы по кислороду. Внутренний цикл решает задачу сходимости расчета с заданным значением (FeO), а во внешнем цикле выполняется изменение величины (FeO) до значений, которые обеспечивают общий баланс по кислороду в системе. При построении нейронной сети, реализующей вычислительную процедуру “цикл в цикле”, в качестве объекта-аналога используется нейроконтроллер

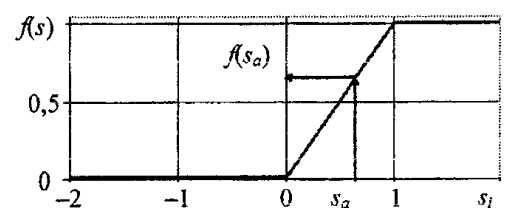


Рис. 3. Активационная функция нейронов

на базе стандартного перцептрона (рис. 2). В качестве активационной функции нейрона примем линейную зависимость  $f(s)=s$ , проходящую через начало координат (рис. 3). Выходной сигнал нейрона формируется в соответствии с правилом

$$f(s) = \begin{cases} 1, & \text{если } s > 1; \\ s, & \text{если } 0 \leq s \leq 1; \\ 0, & \text{если } s < 0. \end{cases}$$

Результаты расчета равновесия по предложенному алгоритму показывают, что расчет сходится к искомому решению с допустимой погрешностью (рис. 4). На начальном этапе поиска решения система совершает колебания вблизи точки решения. После достижения области решения по всем переменным, кроме кремния и марганца, происходит подстройка последних до значений, удовлетворяющих условиям решения.

Как видно из полученных результатов, наиболее вероятным является достижение области решения в пределах 5...10 внешних циклов. Если предположить, что каждый внутренний цикл завершается на пятой итерации, то общее число обращений к модели расчета равновесия не должно превысить 25...50. Такие вычислительные затраты являются приемлемыми.

## Литература

1. Колесникова Е.В. Информационное обеспечение расчетов материального баланса процессов выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи // Колесникова Е.В., Быстров Ю.А., Кострова Г.В. Материалы 11 семинара "Моделирование в приклад. науч. исслед." — Одесса: ОНПУ, 2004. — С. 12 — 13.
2. Колесникова К.В. Застосування нейронної мережі для рішення рівнянь математичного опису рівноваги системи "шлак-метал" // Колесникова К.В., Кострова Г.В. Материалы 8-й межд. конф "Пути повышения качества и экономичности литейных процессов" — Одесса, 2004. — С. 106 — 108.
3. Иоффе Х. М. Производство стали. — М.: Металлургия, 1975. — 480 с.
4. Виплавка сталі 20ГЛ, 20ГФЛ в основній електропечі. Технологічний регламент / М-во. пром. політики України, Кременч. сталеливар. з-д. — Кременчук — 2001. — 22 с.

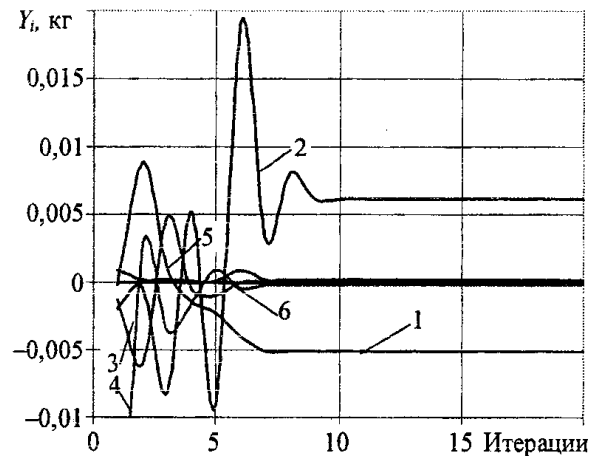


Рис. 4. Общая и частная функции рассогласования материального баланса системы: 1 — баланс кремния в пересчете на  $\text{SiO}_2$ ; 2 — баланс марганца в пересчете на  $\text{Mn}$ ; 3 — баланс магния в пересчете на  $\text{Mg}$ ; 4 — баланс хрома в пересчете на  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 5 — баланс фосфора в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 6 — общий баланс

Поступила в редакцию 20 июня 2005 г.

*Труды*  
*ОДЕССКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА*

Научный и производственно-практический  
сборник

Вып. 2(24). 2005

*Машиностроение. Технология металлов*

*Энергетика. Электротехника*

*Компьютерные и информационные сети и системы.*

*Автоматизация производства*

*Электроника. Радиотехника. Средства телекоммуникаций*

*Проблемы фундаментальных и прикладных наук*

*Химия. Химтехнология*

*Экономика*

Редакторы

Кострова Г.В.

Мозель Л.Н.

Плескач Л.О.

Компьютерная верстка

Прокопович И.В.

Адрес редакции: Украина,  
65044, Одесса-44,  
просп. Шевченко, 1,  
ОНПУ, комн. 313

---

Сдано в набор 18.10.2005. Подписано в печать 01.11.2005. Ризографическое издание. Бумага  
КУМ СОРУ. Формат 60×88/8. Тираж 300 экз. Цена договорная. Усл.-печ. л. 34,5

---

Замовлення 37

Видавництво та друкарня "ТЕС"(Свідоцтво ДК № 771)

Одеса, Канатна 81/2.

Тел. 42-90-98