

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЦЕССАХ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАННЫМИ СВОЙСТВАМИ

УДК 622.788:658.012.011.56:519.8

М.Н. Бойко, Д.А. Ковалев, Н.Д. Ванюкова

КОМПЛЕКСНЫЙ РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И КАЧЕСТВА УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОКАТЫШЕЙ ПРИ ОБЖИГЕ НА КОНВЕЙЕРНОЙ МАШИНЕ

Постановка проблемы

В настоящее время большое внимание уделяется проблемам снижения расхода энергоресурсов и повышению качества конечного продукта, в том числе и при производстве окатышей. Значительный резерв для решения данных задач имеется в совершенствовании системы управления. В основу современных систем управления заложены математические модели технологических процессов. Особое внимание при построении математических моделей обжига окатышей уделяется подмоделям для прогнозирования конечного качества продукта. Зачастую при расчете качества учитываются очень ограниченный набор параметров, как правило, температурно-временные показатели, что снижает точность прогнозирования. При этом остаются неучтенными многие факторы, в значительной мере влияющие на процесс формирования прочности окатышей.

Анализ публикаций по теме исследования

В разработанном способе управления процессом термообработки окатышей [1], включающем использование математической модели процесса, оценка качества окатышей производится только по распределению температуры в слое и в зависимости от степени достижения максимальной температуры, соответствующей максимальной прочности. При этом фактически не учитывается динамика набора прочности окатышами, а также проблематичным представляется определение температуры, требуемой для достижения максимальной прочности

В работе [2] предложено прочность и истираемость окатышей основностью 1,2 из качканарского концентрата после обжига оценивать с помощью уравнений, построенных на основе методов множественной регрессии. Приведенные уравнения регрессии носят частный характер и не учитывают влияния многих важных факторов.

С помощью алгоритмов во ВНИИМТе ранее были построены функциональные зависимости между технологическими параметрами и прочностью обожженных окатышей [3]. Использовали алгоритмы с последовательным выделением трендов и многорядный алгоритм. Для построения модели использовали результаты измерения прочности Лебединских окатышей на сжатие и влияющих на нее технологических параметров. Использование алгоритма последовательного выделения трендов не обеспечило высокой точности модели.

Формирование целей исследования

Целью данного исследования является создание модели для расчёта качества обожженных окатышей, которая позволяет определять их прочность в зависимости от параметров, как исходных окатышей, так и процесса обжига. Применение разработанных уравнений зависимости прочности в динамической математической модели обжига углеродсодержащих железорудных окатышей позволяет создать комплексную систему управления параметрами процесса обжига и качества обожженных окатышей производимых на конвейерной машине.

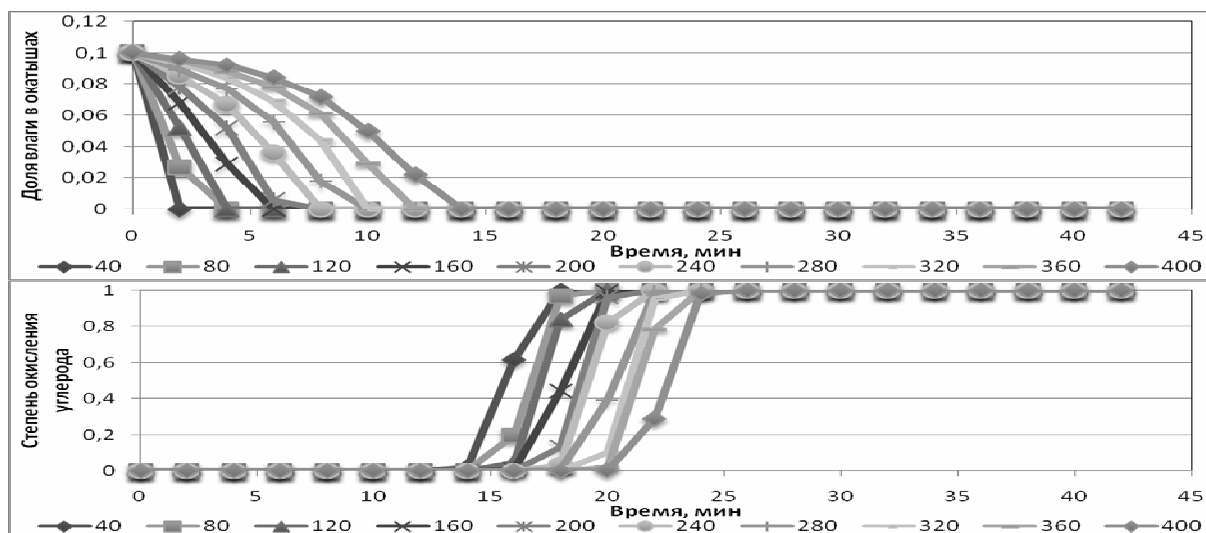
Основная часть

На кафедре металлургии чугуна НМетАУ разработана и реализована на ПЭВМ математическая модель процесса обжига углеродсодержащих окатышей на конвейерной машине. Модель включает описание реальных физико-химических и тепловых механизмов, вовлеченных в процесс обжига окатышей. Расчет параметров в этой системе основан на кинетических уравнениях и анализируются с позиций кинетики. Для случая топохимического реагирования расчет массопереноса основан на химическом взаимодействии и диффузии газового компонента в пограничной пленке и через пористый слой продукта реагирования.

Для определения прочности обожженных окатышей на сжатие разработана математическая модель, которая использует частные подмодели для определения влияния на процесс упрочнения: химического состава исходных окатышей – через использования показателей основности, глиноземистого и магнезиального индексов; динамики нагрева окатышей; максимальной температуры обжига; диаметра окатышей.

На рис. 1 приведены результаты расчета изменения содержания влаги, степени окисления углерода, степени разложения известняка, степени окисления магнетита в окатышах в процессе обжига на конвейерной машине по высоте слоя. На рис. 2 показан расчет распределения температур газа и окатышей в процессе обжига на конвейерной машине, а также конечная прочность окатышей по высоте слоя.

При моделировании использовали следующие начальные условия: высота слоя окатышей 400 мм, диаметр окатышей 15 мм, основность окатышей 0,6, содержание в окатышах: кремнезёма 5,3 %, глинозема 1,9 %, магнезии 1,3 %, углерода твердого топлива 0,5 %. Температура в зоне обжига составила 1200 °С.



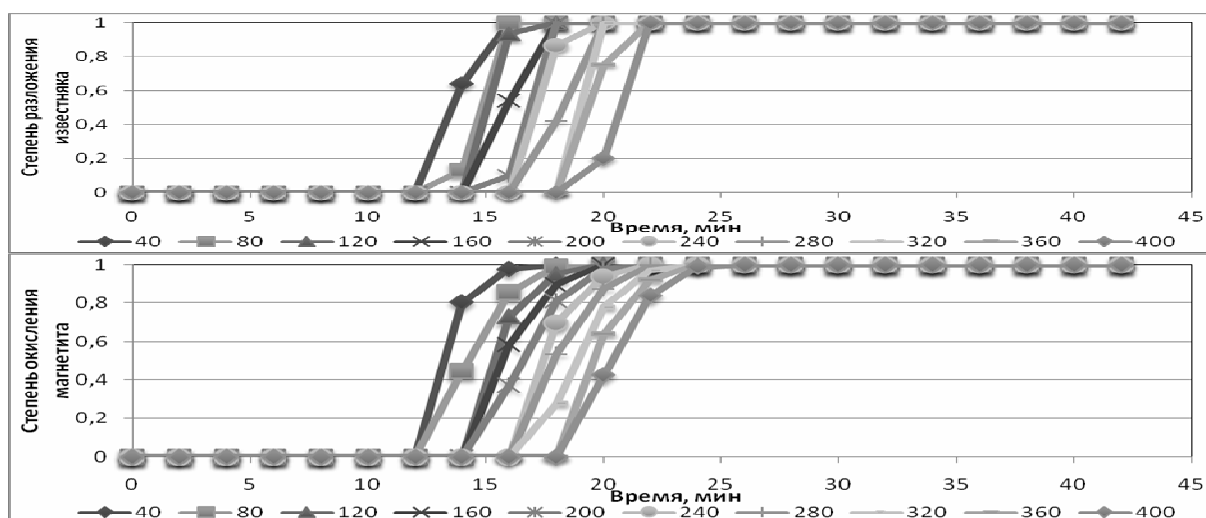


Рисунок 1 - Изменение содержания влаги, степени окисления углерода, степени разложения известняка, степени окисления магнетита в окатышах

При обжиге углеродсодержащих окатышей температуру газов в зоне обжига необходимо снизить до некоторого уровня, чтобы окатыши нижних горизонтов слоя не нагрелись выше требуемой температуры обжига. Так при содержании углерода в окатышах 0,5 % температура газов при обжиг была снижена до 1200 °С, при этом максимальная температура окатышей верх слоя составила 1230 °С, а низа – 1280 °С (рис. 2). Данная разница температур при обжиге углеродсодержащих окатышей вызвана регенерацией теплоты и накоплением её в нижней части слоя.

В результате этого прочность обожженных окатышей низа слоя несколько выше, чем верха (рис 2). Так для окатышей, расположенных на 40 мм от верха слоя прочность на сжатие составила 195 кг/окатыш, а на глубине 360 мм – около 250 кг/окатыш.

При увеличении расхода твёрдого топлива (свыше 1,5%) получить равномерно хорошее качество окатышей по высоте слоя не представляется возможным. В связи с большим накоплением теплоты в нижней части слоя температуру газа в зоне обжига требуется значительно снизить, при этом окатыши верха слоя будут обжигаться при заниженных температурах и, как следствие приобретут низкую прочность. В тоже время окатыши, расположенные в нижних горизонтах слоя получают избыток теплоты и переоплавятся, что ухудшит их качество.

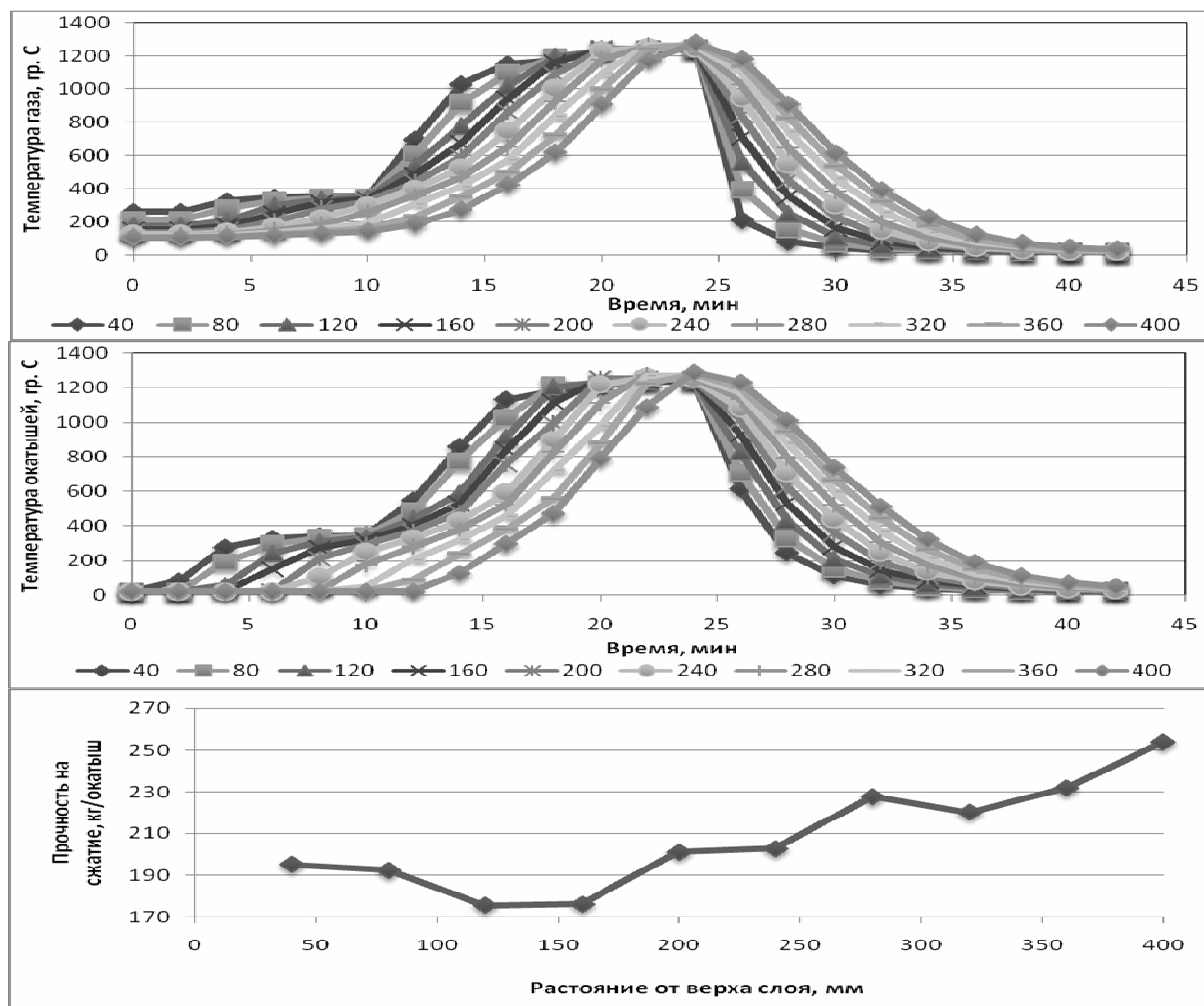


Рисунок 2 - Распределение температуры газа и окатышей в процессе обжига на конвейерной машине, а также конечная прочность окатышей по высоте слоя

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Создана модель для расчёта качества обожженных окатышей, которая позволяет определять прочность окатышей в зависимости от параметров исходных окатышей и процесса обжига, а именно распределению температуры в слое, динамики нагрева окатышей, диаметра окатышей, их основности, глиноземистого и магнезиальных индексов.

Установлено, что при обжиге углеродсодержащих окатышей существует максимально допустимый расход твёрдого топлива на уровне до 1%. Превышение данного предела не позволит получить окатыши требуемого качества по всей высоте слоя.

Применение разработанных уравнений зависимости прочности в динамической математической модели обжига углеродсодержащих железорудных окатышей позволяет создать комплексную систему

управления параметрами процесса обжига и качества обожженных окатышей производимых на конвейерной машине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ №2145435 С1. Способ управления процессом термообработки в установке для получения окатышей / Г.М. Майзель, А.П. Буткарев // Бюл. 2000 №4.
2. Автоматизация фабрик окускования железных руд и концентратов/ Н.В. Федоровский, В.В. Даньшин, В.И. Губанов и др.–М.: Металлургия, 1986.–206 С.
3. Управление окускованием железорудных материалов/ Ю.С. Юсфин, А.Д. Каменов, А.П. Буткарев.–М.: Металлургия, 1990.–280 С.

Получено 12.03.2008 г.

УДК 669.046.55

А.Г. Величко, В.Д. Антонец

ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ РАСПЛАВА ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ПРОДУВКОЙ ПРИ ВАКУУМНОЙ ОБРАБОТКЕ

Введение. Актуальность производства качественного металла для Украины предусматривает внедрение на металлургических предприятиях установок вакуумной обработки стали. В настоящее время явления, сопровождающие окислительное обезуглероживание расплава для достижения низких содержаний углерода, изучены недостаточно. В статье проанализированы теоретические предпосылки создания математической модели, которую можно было бы применить для контроля процесса окислительного обезуглероживания под низким давлением.

Основная часть. Колебательные процессы при обезуглероживании во вторичной реакционной зоне рассмотрены для условий продувки металла кислородом в установках процессов VOD и DETEM. Продувке металла кислородом под вакуумом, как и в кислородно-конвертерном процессе, присущ пульсирующий характер взаимодействия, определяющий как периодическое изменение размеров зоны взаимодействия [1,2,3], так и дискретность газовыделения [4-7].

Частота этого процесса в разных источниках определяется в пределах 5-10 Гц и 4-6 Гц [1], 4-8 Гц [2], 3,3 - 5 Гц [4], 2-4 Гц [6]. В работе [5] приведено выражение для определения частоты f процесса газовыделения:

$$f = 8,1 \cdot Q_0^{-0,2}, \quad (1)$$

где Q_0 – объемный расход кислорода через сопло, м³/мин.

При расходе кислорода на продувку в установке процесса VOD $Q_0 = 16-23,3$ м³/мин и в установке процесса DETEM $Q_0 = 2,083$ м³/мин по выражению (1) получаем частоту газовыделения $f = 4,31-4,65$ Гц для процесса VOD и $f = 7$ Гц для процесса DETEM.

В работе [7] приведена уточненная схема газовыделения в пределах вторичной реакционной зоны. На поверхности образовавшихся в этой зоне небольших пузырьков монооксида углерода происходит окисление углерода, приводящее к увеличению

объема пузырьков. В определенный момент роста пузырьков монооксида углерода достигается максимальная плотность размещения «упаковки» пузырьков, достигших критических размеров в пределах вторичной реакционной зоны и происходит их слияние в крупный газовый объем. Периодическое образование и выделение крупного объема монооксида углерода связывается с резким уменьшением поверхности реакции окисления.

Предложенный механизм не противоречит современным теоретическим и экспериментальным данным об импульсном выделении крупных газовых объемов [8]. При протекании реакции окисления углерода по мере увеличения газосодержания во вторичной реакционной зоне растет размер пузырьков и пузырьковый режим течения исчерпывает себя, когда пузырьки начинают соприкасаться. Согласно принципу Гиббса-Кюри, термодинамически устойчивой является форма тела, имеющая наименьшую поверхностную энергию Гиббса. Поскольку поверхностная энергия соприкасающихся пузырей больше поверхностной энергии пузыря, агломерированного из соприкасающихся пузырей, возникает тенденция к их слиянию. Попарное поперечное слияние пузырей носит лавинообразный каскадный характер, а укрупнение пузырей заканчивается, когда размер агломерированных пузырей достигает поперечного размера потока во вторичной реакционной зоне. При дальнейшем окислении углерода пузыри будут расти в продольном направлении, а пузырьковый режим сменяется снарядным. Такая схема идеальна, так как в реальности скорость попарного слияния пузырей конечна, а также из-за наличия поверхностно-активных веществ, которые даже в малых количествах препятствуют полному слиянию пузырей. Поэтому вместо одного крупного объема должна получиться сотовая структура пузырей, в которой подпитка жидким металлом происходит по разделительным пленкам между пузырями.

Суммарная межфазная поверхность в этом случае гораздо больше, чем в идеальном случае (однофазный газовый объем). Этим, по-видимому, объясняются высокие скорости обезуглероживания в сталеплавильных агрегатах.

Скорость агломерации $V_{сл}$ двух одинаковых пузырей в предположении, что выделяющаяся при слиянии энергия $E(y_0)-E(y)$

переходит в кинетическую энергию встречного движения центров масс пузырей определяется выражением [8]:

$$V_{cl}(y) = \left\{ \frac{2[E(y_0) - E(y)]}{\rho_{cp} \cdot V_{пуз}} \right\}^{0,5}, \quad (2)$$

где $E(y_0) - E(y) = 4\pi\sigma R^2 - 2\pi\sigma R_{cl} \cdot h - \pi\sigma h(2R_{cl} - h)$;

R_n – радиус образовавшихся (первичных) пузырьков, варьировался в расчетах от 0,0005 до 0,001 м;

σ – поверхностное натяжение жидкой стали, $\sigma = 1,2$ Н/м;

R_{cl} – радиус сегмента при слиянии пузырьков, м;

h – высота сегмента, м;

ρ_{cp} – плотность жидкого металла с учетом газосодержания ϕ_{cp} ;

$V_{пуз}$ – объем пузыря, м, причем

$$V_{пуз} = \frac{4}{3}\pi R_n^3 = \frac{\pi}{3}h^2(3R_{cl}h) = const.$$

Расчетом для условий вакуумирования в процессах VOD и DETEM получены значения $V_{cl} = 0,2839-0,2842$ м/с для указанных размеров пузырьков.

Согласно [8] длительность однократной агломерации пузырей t определяется по выражению:

$$t = \int_{2^{1/3}R_n}^{2R_n} \frac{\frac{dy}{dh} - dh}{V_{cl}(y)}, \quad (3)$$

которое определено численно как:

$$t = 0,69 \left(\frac{\rho_{cp} \cdot R_n^3}{\sigma} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Общее количество слияний пузырей k определяется выражением [8]:

$$k = 3 \frac{\ln\left(\frac{R_k}{R_n}\right)}{\ln 2}, \quad (5)$$

где R_k – конечный радиус газового объема из агломерированных пузырей, который выделяется во вторичной реакционной зоне, м.

Общая длительность слияний пузырей t_k определится как:

$$t_k = \sum_1^k t_i = 0,69 \left(\frac{\rho_{cp} \cdot R_n^3}{\sigma} \right)^{\frac{1}{2}} \sum_{i=0}^{k-1} 2^{i/2} \quad (6)$$

Скорость выделения газовых объемов $w_{z.o.}$ будет прямо пропорционально длине газового потока L_3 (глубине вторичной реакционной зоны) и обратно пропорциональна общей длительности слияния пузыря t_k . Для практических расчетов согласно [9] можно принять

$$L_3 = k_1 \cdot Q_0^{2/5}, \quad (7)$$

где $k_1 = 0,15-0,18$ (от среднего до максимального значения);

Q_0 – объемный расход кислорода в м³/мин.

При периодическом обтекании выделяющимися газовыми объемами краев зоны взаимодействия, в той фазе, когда она является открытой, происходит срыв вихрей с краев этой зоны. Периодически срывающиеся вихри приводят к образованию вихревого звука, основная частота которого f может быть определена выражением [10]:

$$f = Sl(Re) \frac{w_{z.o.}}{D_k}, \quad (8)$$

где $Sl(Re)$ – число Струхала;

$w_{z.o.}$ – скорость выделения газовых объемов, м/с;

D_k – поперечный размер (диаметр) газового объема агломерированных пузырей, выходящего из вторичной реакционной зоны, $D_k = 2R_k$, м.

Согласно уточненной схеме газовыделения [7] максимальный поперечный размер выделяющегося газового объема D_k составляет около половины диаметра вторичной реакционной зоны D_3 на уровне ванны, так как выделяющиеся газовые объемы (свищи) обтекают первичную реакционную зону с разных сторон [1, 3].

Для практических расчетов максимально возможная величина диаметра зоны взаимодействия D_3 образующейся при выходе на поверхность крупных газовых объемов, составляет [9]:

$$D_3 = 0,37 \cdot Q_{O_2}^{2/5}. \quad (9)$$

Расчетом по (9) определено, что для условий продувки в процессе VOD $D_3 = 1,12-1,3$ м, а для условий продувки в процессе DETEM $D_3 = 0,496$ м.

При этом максимальный поперечный размер выходящего газового объема может составить $D_k \approx 0,56-0,65$ м для процесса VOD и $D_k \approx 0,248$ м для процесса DETEM.

Величина числа $Sl(Re)$ не постоянно и зависит от размеров вихрей, как известно из [10] от отношения λ длины вихря к диаметру выходящего газового потока. В случае строго круглой формы вихря, при $\lambda = 1$, число Струхала $Sl(Re) = 0,31$, при $\lambda = 2$ (длина вихря в 2 раза больше диаметра) $SL(Re) = 0,2$. Теоретически допустимо и существование вихрей с $\lambda = 3$. Число Струхала является поэтому статистической величиной и определяет в некоторой степени разброс значений частоты газовыделения f .

Результаты расчетов частоты периодичности газовыделения f по уравнениям (2) - (9) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Расчет частоты периодичности газовыделения из вторичной реакционной зоны при окислительной продувке расплава.

Процесс	Радиус первичных пузырьков, м	Длительность однократного слияния пузырей, с	Общее количество слияний пузырей	Общая длительность слияния пузырей, с	Глубина вторичной реакции онной зоны, м	Скорость выделения газовых объемов, м/с	Число Струхала	Диаметр выделяющихся газовых объемов, м	Частота газовыделения, Гц
	R_n	t	k	t_k	L_3	$w_{z.o.}$	$Sl(Re)$	D_k	f
VOD	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,644 \cdot 10^{-3}$	25	0,0411	0,45- -0,634	10,94- -15,42	0,2- -0,31	0,56- -0,65	3,36- -8,53
	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,581 \cdot 10^{-3}$	28	0,0162		27,7- -39,13			8,52- -21,66
DETEM	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,662 \cdot 10^{-3}$	21	0,0349	0,20- -0,24	5,73- -14,28	0,2- -0,31	0,248	4,62- -17,85
	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,587 \cdot 10^{-3}$	24	0,0140		6,87- -17,14			5,54- -21,48

Согласно работе [3] скорость всплывания газообразных продуктов реакции окисления углерода в виде пузырей и движение вверх газовых объемов оценивается величиной ~ 10 м/с, близкой к полученным расчетным значениям.

Взяв за основу выражение для частот вихревого звука (8) и подставив в него выражения (4) - (7) с учетом $D_k = \frac{1}{2}D_s$ для среднестатистического значения D_s получаем выражение для определения зависимости частоты процесса газовыделения f от размеров первичных пузырьков R_n :

$$f = \frac{SL(Re)}{3} \left(\frac{\sigma}{\rho_{cp} \cdot R_n^3} \right)^{0,5} \ln^{-1} \left(\frac{0,5L_s}{R_n} \right), \quad (10)$$

а, с учётом выражения (7) :

$$f = \frac{SL(Re)}{3} \left(\frac{\sigma}{\rho_{cp} \cdot R_n^3} \right)^{0,5} \ln^{-1} \left(\frac{0,386 \cdot Q_{o_2}^{0,4}}{R_n} \right), \quad (11)$$

где Q_{o_2} - расход кислорода через сопло, м³/с.

На Рис. 1 приведена графическая зависимость частоты газовыделения f от размеров первичных пузырьков R_n при постоянном расходе кислорода Q_{o_2} , рассчитанная по выражению (10).

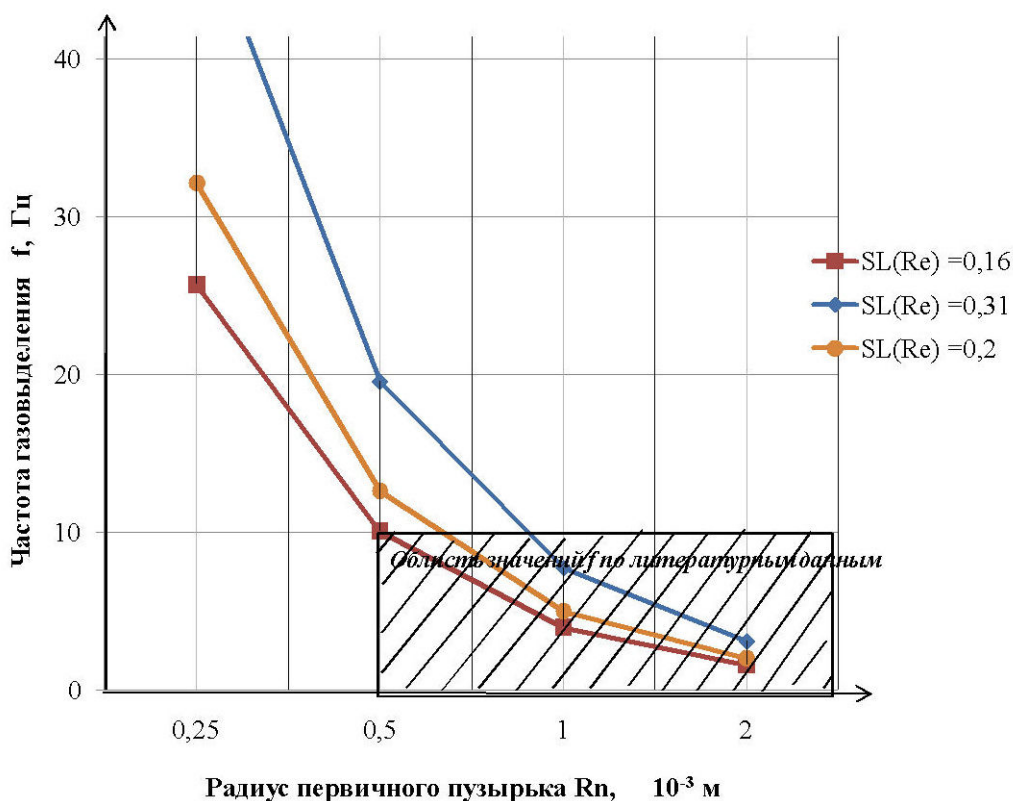


Рисунок 1 - Зависимость частоты газовыделения из вторичной реакционной зоны в процессе обезуглероживания от размеров первичных пузырьков

Из графика на Рис. 1 видно, что значения частоты f , приведенные в литературных источниках (2–10 Гц), больше

соответствуют размерам пузырьков 1-2 мм. а для первичных пузырьков меньших размеров частота f увеличивается в 2-3 раза. По-видимому, этим можно объяснить расхождение рассчитанных по данным таблицы средних значений частоты газовыделения (6-15 Гц) с литературными данными (2-10 Гц) и с рассчитанными по выражению (1).

Если в выражение (10) подставить глубину реакционной зоны L_3 из [3] получаем зависимость частоты f от положения фурмы h_ϕ :

$$f = \frac{SL(Re)}{3} \left(\frac{\sigma}{\rho_{cp} \cdot R_n^3} \right)^{0,5} \ln^{-1} \left[\frac{h_\phi \left(\frac{i}{\rho_{cp} \cdot g \cdot h_\phi} \right)^{0,584} \cdot 8,9 \cdot \cos \alpha}{R_n} \right], \quad (12)$$

где i - импульс струи, кг · м/с;

α - угол наклона оси сопла к вертикали.

Выводы. В результате анализа предложена уточненная схема газовыделения в пределах вторичной реакционной зоны при окислительной продувке расплава. Предложены зависимости частоты акустического излучения при газовыделении от размеров образующихся пузырьков монооксида углерода, расхода кислорода на продувку и положения продувочной фурмы. Рассчитаны ожидаемые значения частоты газовыделения из вторичной реакционной зоны для процессов вакуумной обработки в агрегатах VOD и DETEM. Дальнейшее развитие и уточнение математической модели создаст условия для разработки автоматического управления процессами обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сизов А.М. Газодинамика и теплообмен газовых струй в металлургическом производстве//М.:Металлургия,1987.-С.35-70.
2. Трубагин В.И., Просвирин К.С., Щедрин Г.А., Кисленко А.В. Особенности структуры и гидродинамики реакционной зоны при продувке конверторной ванны кислородными и кислородно-топливными струями//Металлургия и коксохимия. Сб.-К.:Техніка,1979,вып.63.-С.26-29.
3. Бойченко Б.М., Охотский В.Б., Харлашин П.С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія:Підручник. //Дніпропет-ровськ, РВА «Дніпро-Вал»,2004.-С.22-26,99-100.
4. Баптизманский В.И., Охотский В.Б., Величко А.Г. Изучение динамики газовыделения их реакционной зоны//Металлургия и коксохимия. Сб.-К.:Техніка, 1979, вып.63.-С.3-7.

5. Охотский В.Б. Взаимодействие газовой струи с жидкостью при продувке сверху//Известия ВУЗов. Черная металлургия, 1984, №1.
6. Охотский В.Б., Рубан В.В. Инфразвук в шуме продувки в конвертере//Известия ВУЗов.Черная металлургия,1990, №6.-С.24-26.
7. Величко А.Г.Вибрация в конвертерной плавке.//Дн-ск.: Системные технологии,2000,-С.47-50.
8. Накорчевский А.И., Басок Б.И.Гидродинамика и тепломассоперенос в гетерогенных системах и пульсирующих потоках//К.: Наукова думка, 2001.-С.41-44.
9. Охотский В.Б.Физико-химическая модель кислородно-конвертерного процесса//Теория и практика кислородно-конверторных процессов.VI Всесоюз.научн.-техн.конференция. Тезисы докладов, Дн-ск, 1981.-С.13-16.
10. Козырев С.П.Гидроабразивный износ металлов при кавитации //М.:Машиностроение, 1971. -С.34-40.

Получено 13.03.2008 г.

УДК 621.793:621.14:620.18

А.И. Денисенко

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОКОМПОЗИТНЫХ МИКРОЧАСТИЦ ДЛЯ ИНЖЕКЦИОННОГО МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДА

Введение и анализ публикаций

Применение нанотехнологий и использование наноматериалов рассматриваются как прогрессивный подход в теории и практике литиевых химических источников тока. К наноструктурам традиционно относят структуры с характерным размером от десяти до нескольких сотен нанометров, хотя последние – это, скорее, субмикронные структуры. Механизм разряда и заряда литиевых источников тока в большинстве случаев определяется твердофазной диффузией. Основным преимуществом наноструктурных материалов традиционно считается малая диффузионная длина, что позволяет провести заряд или разряд на всю глубину за достаточно короткое время [1].

На основании результатов электрохимического тестирования и электронной микроскопии металлокомпозита, формируемого инъекцией частиц из литированных оксидов металлов в приповерхностный слой проводника, в [2] рекомендована оптимальная мезаструктура электрода с характерными размерами пор 10-20 мкм между агломератами (гранулами) из металлокомпозита в форме нитей или комков с характерными размерами того же порядка величины. Одним из практических направлений применения этой рекомендации стало предварительное формирование гранул инъекцией микрочастиц оксида в микрочастицы алюминия методом встречных двухфазных струй с последующей заменой инъекции в приповерхностный слой металла электрода оксидных микрочастиц на инъекцию предварительно сформированных металлокомпозитных микрочастиц [3,4].

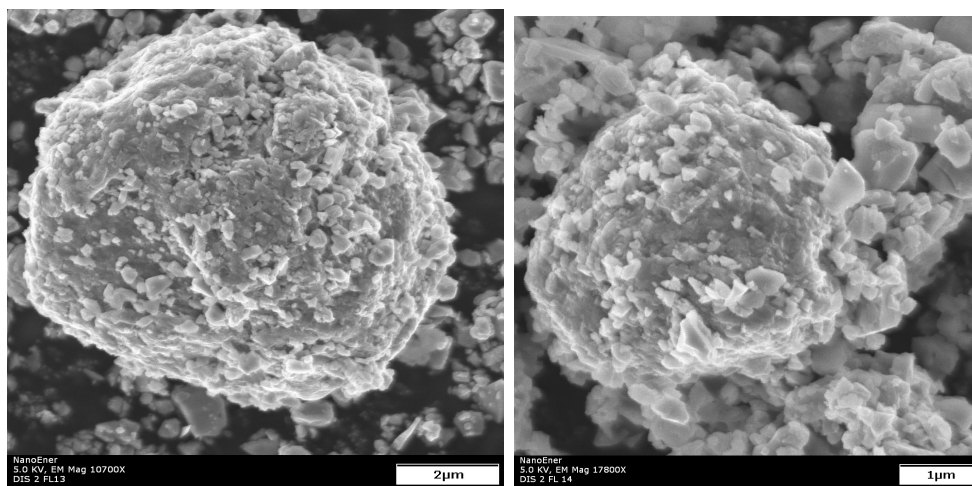
Постановка задачи

Представляется актуальным исследование и оптимизация структуры и свойств предварительно формируемых металлоком-

позитных микрочастиц для использования в технологии синтеза электродных структур, основанной на инъекции микрочастиц в приповерхностный слой проводника.

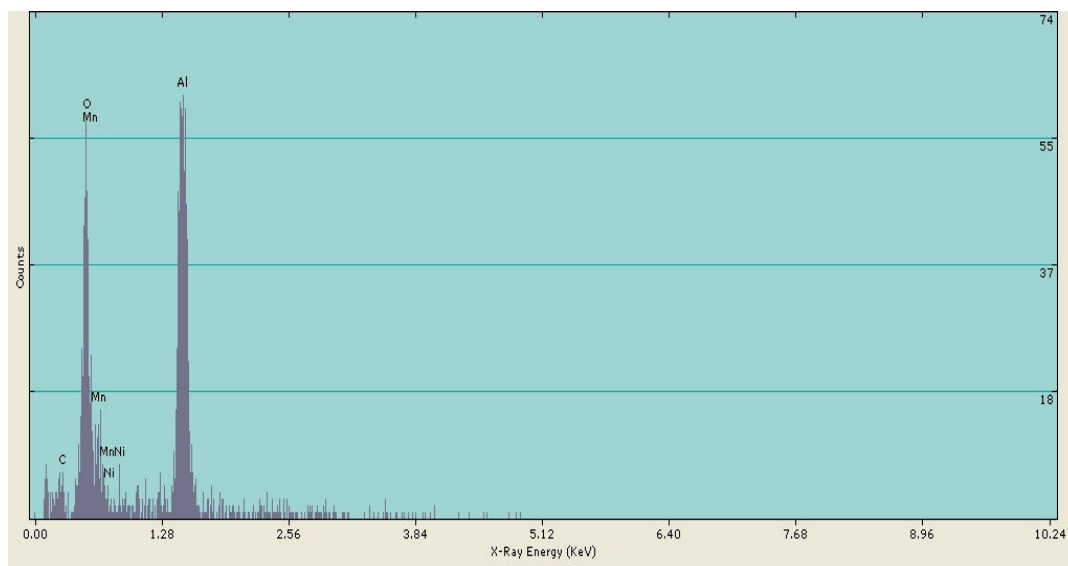
Основная часть

На рис. 1 приведены типичные электронномикроскопические изображения металлокомпозитных микрочастиц, сформированных инъекцией микрочастиц литиево-марганцевой шпинели (LiMn_2O_4) в микрочастицы алюминия с диаметрами в диапазоне 4-20 мкм на глубины 1-3 мкм методом встречных двухфазных струй [3,4].



а

б



в

Рисунок 1 - Металлокомпозитные микрочастицы (а и б) из алюминия и литиево-марганцевой шпинели и типичный результат (в) локального микроанализа их поверхности

По данным локального микроанализа (электронный микроскоп AMRAY, США), материал металлокомпозитных микрочастиц содержал марганец, алюминий и кислород (литий не определяли).

На поверхности алюминиевых частиц формировался активный слой состоящий из трех компонент - внедряемых частиц шпинели, алюминия и пор, заполненных воздухом, прилегающих к шпинели и алюминию. Все три компонента структурно необходимы для электрохимического применения металлокомпозита в качестве электродного материала (поры заполняются электролитом.) Учитывая, что упомянутые компоненты имеют существенно различающиеся плотности, в качестве индикативной интегральной характеристики активного слоя была выбрана плотность [5].

Таблица 1

Пористость приповерхностного слоя частицы-носителя в зависимости от сочетаний объемных долей шпинели и алюминия

	шпинель														
0,00	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60
0,03	79%	76%	73%	70%	67%	64%	61%	58%	55%	52%	49%	46%	43%	40%	37%
0,06	76%	73%	70%	67%	64%	61%	58%	55%	52%	49%	46%	43%	40%	37%	34%
0,09	73%	70%	67%	64%	61%	58%	55%	52%	49%	46%	43%	40%	37%	34%	31%
0,12	70%	67%	64%	61%	58%	55%	52%	49%	46%	43%	40%	37%	34%	31%	28%
0,15	67%	64%	61%	58%	55%	52%	49%	46%	43%	40%	37%	34%	31%	28%	25%
0,18	64%	61%	58%	55%	52%	49%	46%	43%	40%	37%	34%	31%	28%	25%	22%
0,21	61%	58%	55%	52%	49%	46%	43%	40%	37%	34%	31%	28%	25%	22%	19%
0,24	58%	55%	52%	49%	46%	43%	40%	37%	34%	31%	28%	25%	22%	19%	16%
0,27	55%	52%	49%	46%	43%	40%	37%	34%	31%	28%	25%	22%	19%	16%	13%
0,30	52%	49%	46%	43%	40%	37%	34%	31%	28%	25%	22%	19%	16%	13%	10%
0,33	49%	46%	43%	40%	37%	34%	31%	28%	25%	22%	19%	16%	13%	10%	7%
0,36	46%	43%	40%	37%	34%	31%	28%	25%	22%	19%	16%	13%	10%	7%	4%
0,39	43%	40%	37%	34%	31%	28%	25%	22%	19%	16%	13%	10%	7%	4%	1%
0,42	40%	37%	34%	31%	28%	25%	22%	19%	16%	13%	10%	7%	4%	1%	
0,45	37%	34%	31%	28%	25%	22%	19%	16%	13%	10%	7%	4%	1%		
0,48	34%	31%	28%	25%	22%	19%	16%	13%	10%	7%	4%	1%			
0,51	31%	28%	25%	22%	19%	16%	13%	10%	7%	4%	1%				
0,54	28%	25%	22%	19%	16%	13%	10%	7%	4%	1%					
0,57	25%	22%	19%	16%	13%	10%	7%	4%	1%						
0,60	22%	19%	16%	13%	10%	7%	4%	1%							
0,63	19%	16%	13%	10%	7%	4%	1%								
0,66	16%	13%	10%	7%	4%	1%									
0,69	13%	10%	7%	4%	1%										

алюминий

Полученная с применением численных методов зависимость плотности от долевого объемного соотношения шпинели и алюминия использовалась для оценок пористости приповерхностного металлокомпозитного слоя микрочастиц-носителей. Пористость

металлокомпозита, определяемая объемной долей, дополняющей до единицы сумму объемных долей алюминия и шпинели при разных их сочетаниях [5], представлена в таблице 1. В центральной части таблицы замкнутой линией выделена область наиболее перспективных для электрохимических применений значений плотностей металлокомпозитного слоя.

На рис. 2 представлена зависимость суммарной поверхности одного грамма монодисперсных металлокомпозитных частиц от их диаметра, определенная в пределах диапазона размеров исходных частиц алюминия. Из графика рис. 2 следует, что для металлокомпозитных микрочастиц диаметром до 8 мкм достигается более эффективное соотношение суммарной площади поверхности к массе, чем для частиц больших размеров.

Металлокомпозитный слой ограничен глубинами проникновения шпинели в частицу-носитель (на 1-3 мкм), под этим слоем в частице-носителе располагается цельнометаллическое (алюминиевое) ядро.

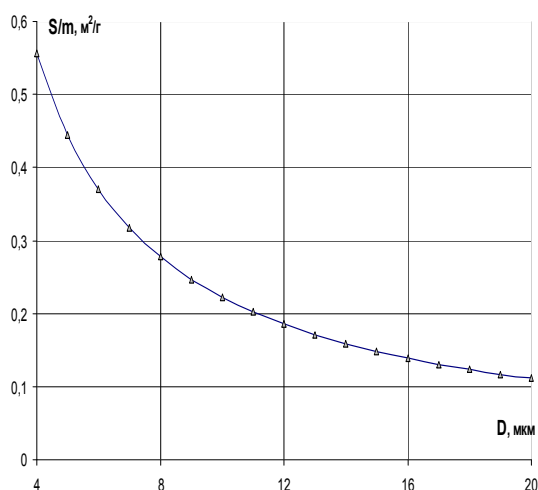


Рисунок 2 - Поверхность порошков из монодисперсных металлокомпозитных частиц в зависимости от их диаметра

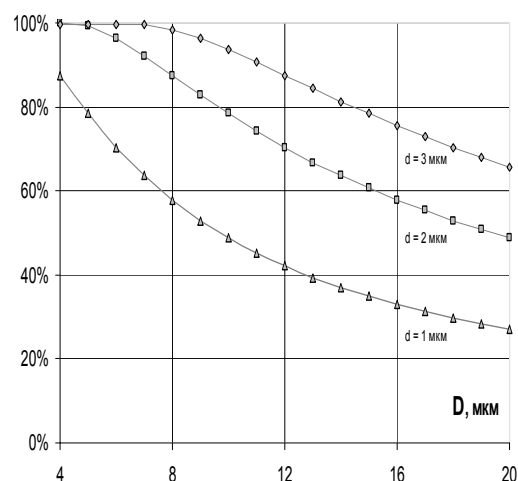


Рисунок 3 - Объемная доля активного слоя (толщиной d) в частице-носителе в зависимости от ее диаметра D

Ядро микрочастицы-носителя металлокомпозитного слоя, занимая часть объема микрочастицы, является нежелательным балластом по сравнению с металлокомпозитным слоем [5]. Из графиков, представленных на рис. 3, следует, что для металлокомпозитных частиц диаметром до 8 мкм достигается значительно более эффективная с точки зрения доли активного слоя структура, чем для частиц больших размеров.

Выводы

Для металлокомпозита приповерхностного слоя микрочастиц, соответствующих рекомендованным [2] гранулам оптимальных размеров, сформированных инъекцией микрочастиц литиево-марганцевой шпинели в микрочастицы алюминия диаметром 4-20 мкм методом встречных двухфазных струй, с применением численных методов получена оценка пористости в зависимости от сочетаний объемных долей шпинели и алюминия.

К применению в технологии синтеза электродных структур, основанной на инъекции предварительно сформированных металлокомпозитных микрочастиц в приповерхностный слой проводника, наиболее перспективны металлокомпозитные микрочастицы диаметром до 8 мкм, для которых достигаются большая доля металлокомпозита в микрочастице и более эффективное отношение суммарной площади поверхности к массе, чем для частиц больших размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скундин А.М. Нанотехнологии в литиевых источниках тока // Материалы VI Междунар. конф. “Фундаментальные проблемы электрохимической энергетики” (+ЭХЭ). – Саратов: Изд-во Сарат. Унта. – 2005. – С. 344–345.
2. Денисенко А.И. Мезоскопический аспект структурной инженерии металлокомпозитного катода // Зб. праць I Міжнародної науково-практичної конференції “Новости научной мысли – ‘2006”. – Т.5. – С. 3-5.
3. Пат. 20070218366 США, МКИ H01M4/62. Electrode for energy storage device and method of forming the same: Пат. 20070218366 США, H01M4/62, Kalynushkin Y. (США); Novak P. (США); Inc. – № 11/560922; Заявл. 17.11.2006; Оpubл. 20.09.2007, НКИ 29/623.500. – 23 с.
4. Пат. 20070224513 США, МКИ H01M4/80. Electrode for cell of energy storage device and method of forming the same: Пат. 20070224513 США, H01M4/80, Kalynushkin Y. (США); Novak P. (США); Inc. – № 11/561077; Заявл. 17.11.2006; Оpubл. 27.09.2007, НКИ 429/238. – 13 с.
5. Денисенко А.И. К оценке эффективности металлокомпозитного катодного материала по плотности // Зб. праць I Міжнародної науково-практичної конференції “Наука: Теорія та практика – “2006”. – Т.3. – 2006. – С. 3-5.

Получено 14.03.2008 г.

УДК 517.9:621.78:669.14

А.И. Денисенко, В.И.Цоцко, И.М.Спиридонова, Б.Г.Пелешенко

АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ОДНОМЕРНОГО ОБРАЗЦА В УСЛОВИЯХ МЕСТНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ

Введение и анализ публикаций

Для быстропротекающих неравновесных процессов в условиях локального нагрева и охлаждения поверхности металла экспериментально определить температуру, скорости ее изменения, параметры тепловых потоков в лучшем случае затруднительно. Поэтому в процессе решений многих задач динамической металлофизики, в частности при разработке новых способов и совершенствовании известных методов химико-термической обработки, применяют математическое моделирование исследуемых явлений [1]. Такой подход позволяет существенно экономить материальные и энергетические ресурсы, а также получить значительный выигрыш во времени, имеющий решающее значение в условиях современной конкуренции в научно-технической сфере.

При использовании местной термообработки, которая, как правило, проводится для крупногабаритных металлических деталей и, часто, в сочетании с диффузионным насыщением поверхностного слоя детали дополнительными компонентами, характер распределения температур недостаточно изучен. Особенно это касается высокоинтенсивных энергетических потоков и, в первую очередь, импульсных воздействий [2], [3], [4]. Диффузионные процессы, сопряженные с нагревом, ограничены температурным полем [5], которое в каждом конкретном случае индивидуально.

Постановка задачи

Целью настоящей работы является исследование методом аналитического моделирования закономерностей распределений температуры, возникающих при воздействии на поверхность металла интенсивными локальными источниками энергии с широким диапазоном скоростей нагрева и охлаждения при формировании необходимых физических свойств поверхностного слоя.

Основная часть

В качестве исследуемой модели была выбрана конечная одномерная однородная модель из низкоуглеродистой стали, длина которой l варьировалась в диапазоне 2-20 мм и соответствовала размерам наиболее типичных деталей, требующим упрочняющей обработки, например рабочим органам культиватора-плоскореза [6]. Рабочая поверхность модели в первой фазе исследования нагревалась, а во второй фазе охлаждалась по заданному линейному закону в диапазоне скоростей термообработки от 1 до 10^6 К/с.

При наиболее общих условиях обработки передняя (рабочая) и задняя граничные плоскости образца модели поддерживаются при температурах T_0 и T_l . При этом вдоль образца устанавливается линейное распределение температуры ([7], с.169) $T(x) = T_0 + (T_l - T_0) \frac{x}{l}$, где x – расстояние от обрабатываемой поверхности в направлении задней граничной плоскости.

На первом этапе решалась задача нахождения распределения температуры $T(x, t)$ по глубине (длине) образца при нагреве рабочей поверхности от исходного значения T_0 до конечного значения T_{0max} по линейному относительно времени t закону: $T(0, t) = T_0 + b \cdot t$, где $0 < t \leq (T_{0max} - T_0)/b$, b – скорость изменения температуры на рабочей поверхности.

Поставленная задача сводится к решению одномерного однородного уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (1)$$

при $0 < x < l$ и $0 < t \leq (T_{0max} - T_0)/b$, удовлетворяющего начальному условию $T(x, 0) = T_0 + (T_l - T_0) \frac{x}{l}$ и граничным условиям первого типа ([7], с. 188): $T(0, t) = T_0 + b \cdot t$ и $T(l, t) = T_l$, где a^2 – коэффициент температуропроводности исследуемого металла – низкоуглеродистой стали.

Методом Фурье ([7], с. 200) было получено [8] искомое решение:

$$T(x, t) = (T_0 + bt) + [T_l - T_0 + bt] \frac{x}{l} + \frac{2bl^2}{\pi^3 a^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} \{ \exp[-(\frac{\pi n}{l})^2 a^2 t] - 1 \} \sin(\frac{\pi n}{l} x), \quad (2)$$

в частности в момент окончания нагрева $t = t_0$:

$$T(x, t_0) = T_{0max} + (T_l - T_{0max}) \frac{x}{l} + \frac{2bl^2}{\pi^3 a^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} \{ \exp[-(\frac{\pi n}{l})^2 a^2 t_0] - 1 \} \sin(\frac{\pi n}{l} x) \quad (3)$$

Для рассматриваемой модели исследования были выбраны [8] следующие параметры нагрева: $T_l = 20$ °C; $T_0 = 550$ °C; $T_{0max} = 930$ °C. Коэффициент температуропроводности низкоуглеродистых сталей в указанном интервале температур равен $a^2 = 6,9 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Исследовалось влияние скорости нагрева b на распределение температуры в образце. Кроме стандартных скоростей (1-100 К/с), оценивалось влияние сверхскоростных режимов нагрева ($\approx 10^6$ К/с), например при лазерной обработке или обработке взрывом.

На рис. 1 приводятся распределения температур в образце $l_3 = 10$ мм по окончании нагрева поверхности (по достижению температуры $T(0, t)$ максимального значения $T_{0max} = 930$ °C) при различных скоростях нагрева b .

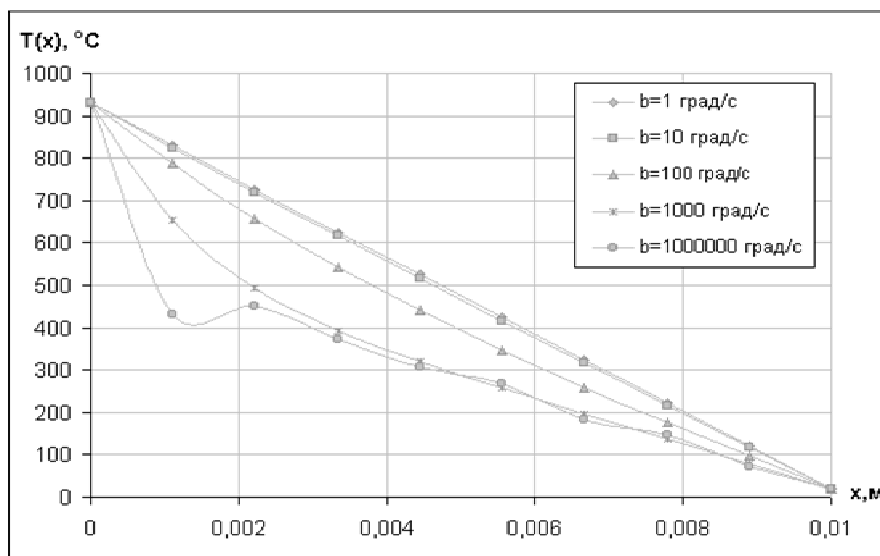


Рисунок 1 - Зависимость распределения температуры по толщине образца $l_3 = 10$ мм от скорости нагрева b .

Для образца $l_1 = 2$ мм нелинейность в распределении температуры начинает проявляться при скоростях нагрева ≈ 1000 К/с. В образцах $l_2 = 5$ мм – при скоростях 100-300 К/с, и только в образце $l_4 = 20$ мм – при низких скоростях нагрева (≈ 10 К/с). Для сверхвысоких скоростей нагрева ($b \sim 10^6$ К/с) распределение температуры распадается на две близкие к линейным области с изломом между ними, что обусловлено влиянием двух процессов –

поступлением энергии с высокой скоростью к поверхности нагрева и оттоком ее по механизму теплопроводности к противоположной поверхности, поддерживаемой при постоянной температуре T_l . Более пологая линия за изломом (рис. 1) соответствует первоначальному стационарному распределению температуры и отражает инерционные свойства образца. Зона излома смещается в глубь образца при увеличении его толщины l . Приблизительно каждое удвоение l удваивает x^* – расстояние от зоны излома до поверхности нагрева. Величину x^* можно трактовать как предел эффективного диффузионного насыщения компонентом внешней среды, сопряженного с поверхностным нагревом. В этой связи скорость нагрева b выступает фактором управления глубины и интенсивности диффузионного воздействия.

Из выражения (2) определялось распределение градиента температуры $\frac{\partial T}{\partial t}$ в образцах в течение времени нагрева:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = -\frac{(T_0 + bt) - T_l}{l} + \frac{2bl}{\pi^2 a^2} \sum \frac{l}{n^2} \left[\exp\left(-\frac{\pi^2 n^2 a^2}{l^2} t\right) - 1 \right] \cos\left(\frac{\pi n}{l} x\right). \quad (4)$$

При прочих равных условиях максимальное значение градиента (~ 2400 К/мм) формируется вблизи поверхности нагрева наиболее тонкого образца. Варьируя величиной градиента температуры, можно управлять полем механических напряжений в поверхностном слое и, следовательно, дополнительно воздействовать на диффузионный поток насыщающего компонента.

Из (2) следует скорость роста температуры слоя с координатой x :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = b \left[1 - \frac{x}{l} - \frac{2}{\pi} \sum \frac{l}{n} \sin\left(\frac{\pi n}{l} x\right) \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2 a^2}{l^2} t\right) \right]. \quad (5)$$

Для всех случаев наблюдается практически линейное нарастание температуры в слоях образца с течением времени. Скорость изменения температуры слоя снижается в зависимости от удаленности его от поверхности нагрева и уменьшения толщины образца.

На втором этапе был проведен расчет температурного поля указанной модели после линейного нагрева поверхности со скоростью b с последующим ее охлаждением со скоростью c . Эта задача сводится к решению уравнения (1) для $0 < t \leq (T_{0max} - T_0)/c$ и $0 < x < l$,

удовлетворяющему начальному условию (3) и граничным условиям: $T(0,t) = T_{0max} - c \cdot t$, $T(l,t) = T_l$. Отсчет времени ведется с момента окончания нагрева $t_0 = (T_{0max} - T_0)/b$.

Искомое решение было получено [9] в виде суммы трех составляющих:

$$T(x,t) = u(x,t) + w(x,t) + z(x,t), \quad (6)$$

где $u(x,t)$ – равновесный (граничный) компонент, $w(x,t)$ – компонент внутреннего последствия, зависящий от начального распределения температуры в процессе нагрева, и $z(x,t)$ – компонент внешнего воздействия, зависящий от температуры среды.

Если охлаждения рабочей поверхности заканчивается на температуре T_0 , то в процессе последующей релаксации указанные компоненты приобретают вид:

$$\left. \begin{aligned} u(x,t) &= T_0 + (T_l - T_0) \frac{x}{l}; \\ w(x,t) &= \frac{2bl^2}{\pi^3 a^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} \exp\left[-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 t\right] \left\{ \exp\left[-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 t_0\right] - 1 \right\} \sin\left(\frac{\pi n}{l} x\right); \\ z(x,t) &= \frac{2bl^2}{\pi^3 a^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} \exp\left[-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 t\right] \left\{ \exp\left[-\left(\frac{\pi n}{l}\right)^2 a^2 t^*\right] - 1 \right\} \sin\left(\frac{\pi n}{l} x\right); \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где $t^* = (T_{0max} - T_0)/c$ – полный интервал времени охлаждения рабочей поверхности.

Исследовалось влияние скорости охлаждения c на распределение температуры в образцах.

Для тонких образцов при умеренных скоростях охлаждения и нагрева (1-100 К/с) величина отклонения температуры от ее равновесного значения в момент окончания процесса охлаждения (нагрева) незначительна (для образца l_1 менее 4 °С, для образца l_2 – 24 °С) и целесообразно пользоваться равновесной кривой распределения. При высоких значениях параметров c и b отклонение температуры для указанных образцов может достигать нескольких сотен градусов, но в течение непродолжительной релаксационной выдержки (1-2 с), которая соответствует естественной погрешности технологии процесса, оно уменьшается до долей процента. Таким образом, для тонких образцов есть все основания использовать равновесное распределение температуры.

Для протяженных образцов (l_3 и l_4) уже на скоростях термообработки порядка 10 К/с отклонение температуры ΔT от равновесного значения превосходит несколько процентов и, чтобы применять стационарное распределение температуры, необходимо произвести релаксационную выдержку (6-30 с) в соответствии с расчетными формулами для временной зависимости отклонений при нагреве и охлаждении [9]. Без проведения такой выдержки анализ последующего этапа охлаждения должен проводиться исходя из начального распределения температуры (3).

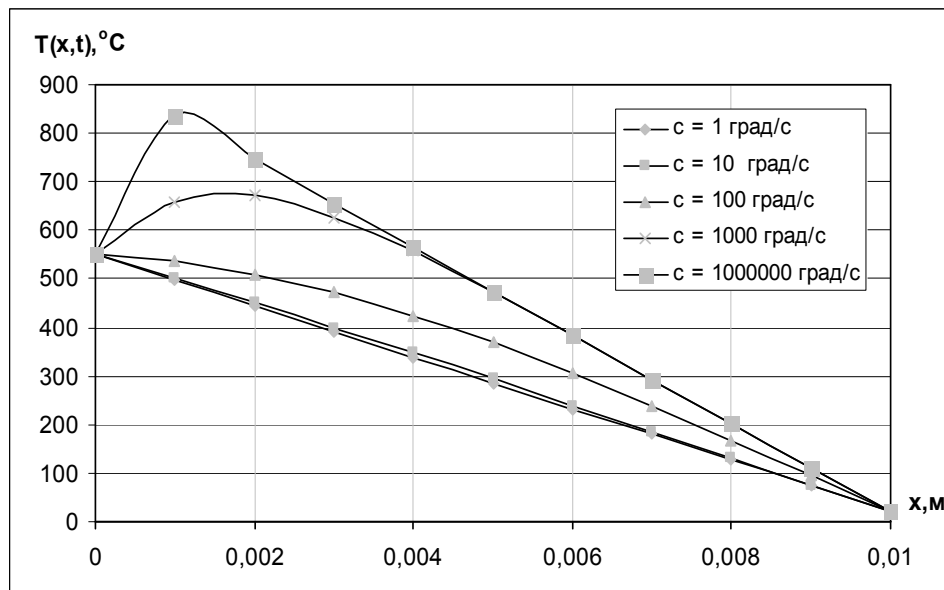


Рисунок 2 - Распределение температуры в образце $l_3 = 0,01$ м в зависимости от скорости охлаждения поверхности c .

При охлаждении образцов после окончания этапа нагрева и проведения релаксационной выдержки начальное распределение (3) сократится до выражения $T(x,0) = T_{0\max} + (T_l - T_{0\max}) \frac{x}{l}$. Тогда решение (7) уравнения (1) примет вид:

$$T(x,t^*) = T_0 + (T_l - T_0) \frac{x}{l} + \frac{2cl^2}{\pi^3 a^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} \{1 - \exp[-(\frac{\pi n}{l})^2 a^2 t^*]\} \sin(\frac{\pi n}{l} x). \quad (8)$$

На рис. 2 приводится распределение температуры в образце $l_3 = 10$ мм по окончанию охлаждения рабочей поверхности из равновесного состояния после нагрева при различных скоростях охлаждения c .

Если для невысоких скоростей охлаждения можно говорить о существовании и определять положение максимального отклонения

температуры $\Delta T(x, t)$ в образцах от ее равновесного значения, то для быстрого охлаждения, особенно в протяженных образцах, формируется максимум в самом распределении температуры $T(x, t)$ (для образца $l_3 = 0,02$ м даже при скорости охлаждения 100 К/с), что, в принципе, позволяет управлять глубиной диффузии в поверхностном слое.

При комбинировании скоростей охлаждения c и нагрева b , в случае, когда не производится релаксационная выдержка после нагрева поверхности, происходит взаимная компенсация отклонений температуры и, таким образом, можно управлять глубиной температурного влияния местной термообработки, например на процессы диффузии. Гашение общего отклонения температуры охлаждением усиливается с ростом скорости нагрева, и увеличении длины образцов, что обусловлено сокращением времени поверхностных релаксаций.

Выводы

1. На одномерных моделях проведен аналитический расчет температурного поля в однородных металлических образцах в условиях местного нагрева и охлаждения. Результаты расчета применены для низкоуглеродистых сталей с использованием ранее обоснованных режимов обработки.

2. Получено распределение температуры в образцах в процессе нагрева и охлаждения в условиях линейного изменения температуры обрабатываемой поверхности при фиксированной температуре задней поверхности образцов.

3. Для скоростей нагрева и охлаждения поверхности образцов ниже 50-100 К/с во всех образцах устанавливается в процессе обработки распределение температуры близкое к равновесному. Неравновесность распределения существенно проявляется при скоростях охлаждения свыше 100 К/с, что позволяет предсказать температурное поле в образцах при умеренных режимах теплового воздействия и известной температуре поверхности нагрева.

4. Для высоких скоростей нагрева в распределении температуры образуются две близкие к линейным области с изломом между ними. Для высоких скоростей охлаждения в распределении температуры формируется максимум, положение которого зависит от времени,

скорости охлаждения и длины образца. Смещение температурного максимума в процессе обработки и релаксации – температурная волна – происходит со скоростью, достигающей 1-10 см/с.

5. Комбинируя скоростями нагрева и охлаждения рабочей поверхности образцов, можно управлять температурным полем, следовательно, и глубиной диффузии в поверхностном слое.

6. В результате анализа релаксационных процессов в модели, для каждого образца определено время перехода к равновесному распределению температур, что может быть использовано для расчета параметров термоциклической обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Математическое моделирование теплопереноса в фазовых превращениях при плазменном напылении. / Н.И. Никитенко, Н.М. Фиалко, Н.Н. Сорокова // Промышленная теплотехника. – 2003. – 25. № 6. – с. 45.
2. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник. / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, И. В. Зуев, А. Н. Кокора. – М.: Машиностроение. – 1985. – с. 89.
3. Вейко В. П. Лазерная обработка пленочных элементов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние. – 1986. – с.11.
4. Эпштейн Г. Н. Строение металлов, деформированных взрывом. – М.: Металлургия. –1980. – с. 143
5. Бокштейн Б. С. Диффузия в металлах. – М.: Металлургия. – 1978. – с. 56.
6. Верняев О. В. Активные рабочие органы культиваторов. – М.: Машиностроение. – 1983. – с. 30.
7. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. – М.: Наука. – 1972. – 736 с.
8. Цоцко В.И., Денисенко А.И.. Температурные характеристики поверхностного слоя низкоуглеродистых сталей в условиях линейного нагрева поверхности // Вісник Дніпропетровського національного університету. –2004. – 2/2(12) . – с. 72–77.
9. Цоцко В.І., Спиридонова І.М., Пелешенко Б.Г., Денисенко О.І. Розподіл температури одновимірного зразка в умовах місцевої термообробки // Фізика і хімія твердого тіла. – 2008. – Т. 9. – № 1. – с. 181–184.

Получено 12.03.2008 г.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ ЧУГУНОВ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОМ

Постановка проблемы. Свойства чугуна при плавке и кристаллизации, образовании отливки в литейной форме находятся под влиянием большого числа факторов и зависят от их разнообразного взаимодействия, поэтому в общем случае невозможно разработать надежную технологию получения качественной отливки только на основе сведений о физических и физико-химических свойствах сплава и материала литейной формы. В связи с этим принято оценивать литейные свойства сплавов, которые непосредственно характеризуют их поведение в технологическом процессе при плавке и разливке, при затвердевании отливки.

С другой стороны разрабатывая состав сплава и выбирая легирующий комплекс, решая в первую очередь вопрос обеспечения рабочих свойств необходимо учитывать влияние легирующих элементов на литейные свойства и, прежде всего, на жидкотекучесть. Высокая жидкотекучесть чугуна определяет не только его способность заполнять форму и воспроизводить самые тонкие очертания, но также способствует хорошему питанию отливок и беспрепятственному удалению газов из металла, что уменьшает опасность получения пороков (усадочных и газовых раковин, пористости, горячих трещин и т.д.).

Анализ публикаций по теме исследований. Исследования А.А.Бочвара и др. [1, 2, 3, 4] доказали связь между жидкотекучестью сплава и его положением на диаграмме состояния. Общая закономерность, подтверждающаяся не только на цветных, но и на Fe—C-сплавах, заключается в том, что жидкотекучесть уменьшается с увеличением интервала затвердевания. В этих же и многих других исследованиях определены основные факторы влияющие на этот технологический параметр.

Жидкотекучесть определяется условиями теплообмена между металлом и формой. Изменение физических свойств жидкого чугуна,

его вязкости и поверхностного натяжения, оказывают значительно меньшее влияние на жидкотекучесть, чем условия теплопередачи. Большое значение имеют оксидные пленки или включения в чугуне, представляющие серьезные препятствия для течения металла.

С повышением температуры заливки увеличивается теплосодержание, а следовательно, и жидкотекучесть чугуна. Влияние этого фактора настолько велико, что температура заливки является главной переменной, изменением которой достигается необходимая жидкотекучесть чугуна для заполнения разных форм.

Также к основным факторам относится химический состав сплава. Отмечается, что жидкотекучесть чугуна возрастает с увеличением содержания кремния, фосфора и особенно углерода, достигая максимума в чугунах эвтектического состава. Фосфор улучшает жидкотекучесть чугуна, уменьшает его поверхностное натяжение и вязкость, образует легкоплавкую фосфидную эвтектику. Сера и марганец в отдельности слабо влияют на жидкотекучесть, но при наличии обоих этих элементов образуется сульфид марганца, сильно понижающий жидкотекучесть. Никель и медь слабо влияют на повышение жидкотекучести низколегированных чугунов, а хром, молибден и титан понижают ее. Сведения о влиянии легирующих элементов на жидкотекучесть чугуна, главным образом, ограничиваются качественной оценкой.

Существенное влияние оказывает и жидкое состояния чугуна. Так как его «наследственные» свойства определяются устойчивым содержанием газов и неметаллических включений, формой графита в исходных материалах, то естественно, что и жидкотекучесть чугуна определяется в известной мере происхождением шихтовых материалов.

Но эти данные нельзя рассматривать как постоянные. При изменении условий плавки изменяется и жидкотекучесть чугуна. Всякое увеличение количества газов и включений, и также укрупнение выделений графита в шихтовых материалах, уменьшают жидкотекучесть. По той же причине увеличение содержания стали в шихте уменьшает жидкотекучесть чугуна даже в том случае, когда состав металла (по обычному химическому анализу) остается без изменения.

Разработаны эмпирические зависимости, широкое применение которых часто заканчивалось неудачами, поскольку в литейной практике отсутствует надежная идентификация причин и вызванных ими последствий. Поэтому применение информационных технологий и систем может помочь решать многофакторные технологические задачи получения качественных отливок.

Цель исследований. Легирующие элементы, обеспечивающие высокий уровень прочности, устойчивость при высоких температурах или в агрессивных средах у сплавов, очень затрудняют получение из них отливок. Поэтому в настоящих исследованиях анализировали комплексное влияние экономного легирования хромом и температуры заливки на жидкотекучесть чугуна.

Методика проведения эксперимента. Жидкотекучесть чугуна определяли по спиральной пробе (рис. 1) с трапецевидным сечением площадью $0,56 \text{ см}^2$. После заливки измеряли длину заполнившейся части спирали (L), которая характеризует жидкотекучесть.

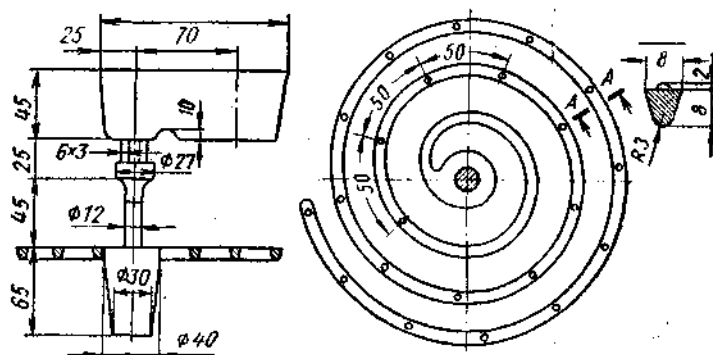


Рисунок 1 – Технологическая проба для определения жидкотекучести чугуна

Основная часть. Пробы заливали из чугунов с возрастающим содержанием хрома и при разных температурах заливки (табл.1, рис.2), каждый эксперимент повторяли не менее трех раз.

Хром принадлежит к числу наиболее сильнодействующих карбидообразующих элементов. Присутствие в чугуне его небольших количеств (свыше 1,17%, по массе) [5] приводит к заметному повышению содержания связанного углерода. Содержание хрома в чугуне оказывает влияние и на его литейные свойства. При содержании хрома в чугуне до 1,08% это влияние слабо выражено, и может не учитываться при проектировании технологии отливки деталей.

Таблица 1

Результаты исследования жидкотекучести опытных чугунов

%, хрома	0,47	0,91	1,08	1,32	1,48	2,14	3,93	5,30
Температура заливки 1340 -1360 ⁰ С								
L, мм	700-720	640-670	640 - 660	470-520	475-520	425 - 470	350 - 390	230-260
Температура заливки 1390 -1410 ⁰ С								
L, мм	790-810	680-700	670-700	510-540	510-540	470-490	370-400	240-400
Температура заливки 1430 -1450 ⁰ С								
L, мм	1000-1100	950 - 1000	950-1000	890-980	850-950	740-800	450 - 550	370-550

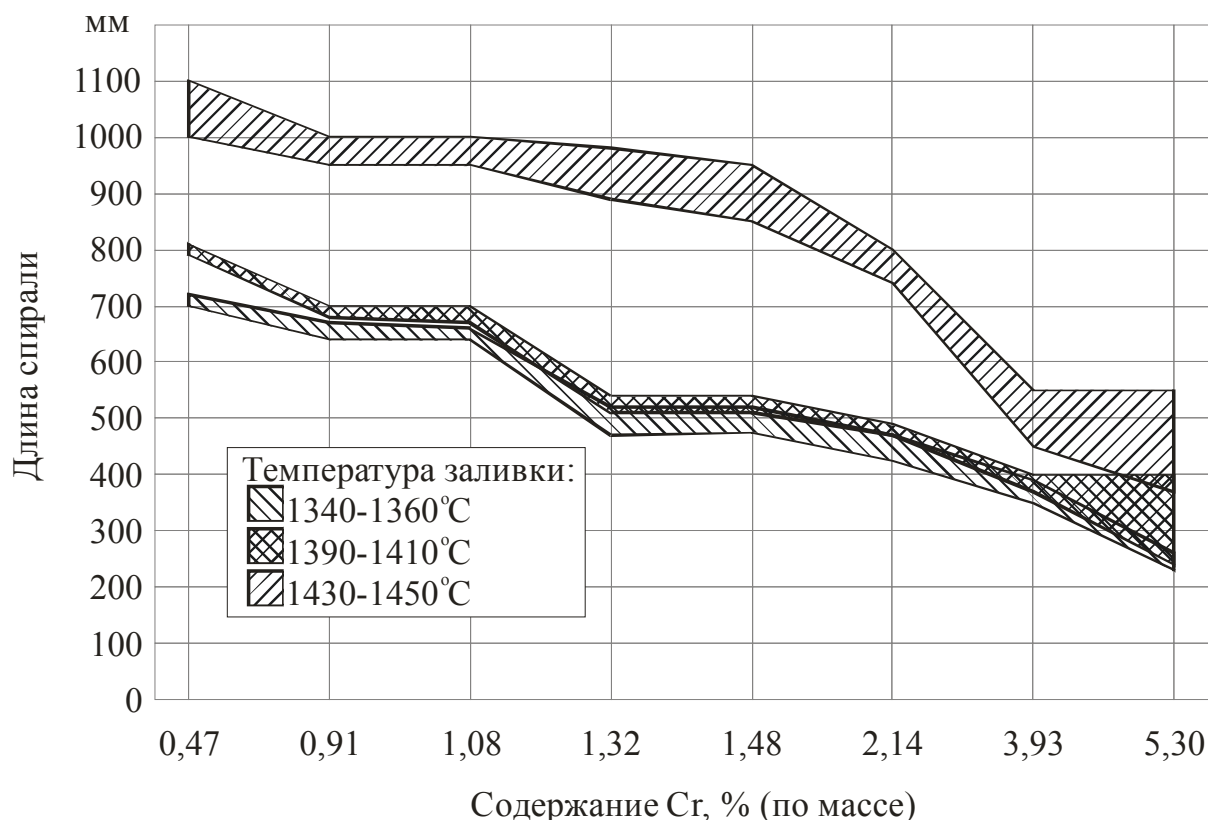


Рисунок 2 – Влияние легирования хромом и температуры заливки на жидкотекучесть опытных чугунов

Жидкотекучесть образцов белых чугунов (содержание хрома выше 1,08%), хотя и хуже, чем у серого чугуна, достаточна для получения тонкостенных отливок. При увеличении температуры заливки все экспериментальные чугуны имели хорошую жидкотекучесть, которая превышает этот показатель для углеродистой стали и лишь немного уступает жидкотекучести серого чугуна.

Это влияние хрома объясняется повышением температуры ликвидуса в легированном хромом чугуне и образованием оксидных пленок. Однако при малых концентрациях влияние этих элементов

на жидкотекучесть чугуна мало заметно. Возможно это также связано с относительно высоким содержанием кремния, который повышает жидкотекучесть чугунов.

В приведенных исследованиях из рассмотрения исключили влияние технологии формы. Жидкотекучесть чугуна определяется в значительной мере конструкцией отливки, сопротивлением формы и тепло-физическими константами ее материала. Очевидно, что факторы, повышающие сопротивление движению металла в форме и ускоряющие охлаждение, уменьшают время его течения и понижают жидкотекучесть.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Таким образом, жидкотекучесть чугуна является функцией многих переменных, характеризующих металл, форму и условия заливки. Ввиду сложности этой зависимости, она не поддается пока точному математическому расчету. Поэтому для каждой отливки в данных условиях приходится подбирать состав чугуна, температуру заливки и конструкцию литниковой системы для обеспечения заполнения формы. Применение информационных технологий и методов математической статистики может помочь решить многофакторные технологические задачи получения качественных отливок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев Б.Б. Физико-химические основы синтеза сплавов. – Л.: Из-во Ленинградского университета. - 1980. - 192 с.
2. Чугун: Справ. изд./ Под ред. А.Д.Шермана и А.А.Жукова. М.: Металлургия, 1991. – 576 с.
3. Гиршович Н.Г. Чугунное литье. – М.: Металлургиздат. – 1949. – 562 с.
4. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. – М.: Металлургия, 1983. – 176 с.
5. Шаповалова О.М., Матвеева М.О. Влияние хрома на формирование графита в чугунах/ Ж. «Металловедение и термическая обработка металлов». – 2004. - № 4.- С.24-30.

Получено 18.03.2008 г.

УДК 669.040.26.001.57

И.А. Павлюченков, Л.А. Игнатенко, В.Ю. Болотов, М.В. Бабенко

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНОЙ ЗАДАЧИ
ПЛАВЛЕНИЯ ТУГОПЛАВКИХ ТЕЛ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ
ФОРМЫ НА ГРАНИЦЕ ШЛАК-МЕТАЛЛ В
СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ**

Ввод кусковых материалов различного химического и гранулометрического состава в жидкую сталь в сталеразливочном ковше в процессе выпуска либо гомогенизирующей продувки расплава является эффективной ресурсосберегающей технологией внепечного раскисления, рафинирования, микролегирования и доводки по химическому составу стали. Следует отметить, что применяемые в настоящее время режимы ввода кусковых материалов (условно цилиндрической либо сферической форм) в расплав сталеразливочного ковша при выпуске либо продувке металла не всегда сопровождаются их прогнозированным плавлением под слоем расплава и равномерным распределением добавки в объеме ковша. Следует отметить, что многие режимы ввода кусковых добавок сопровождаются их выносом в шлаковый покров на поверхности металла, что приводит к неэффективному использованию дорогостоящих материалов и неоднородности химического состава. Процессы кинетики плавления добавок на границе шлак-металл сталеразливочного ковша на сегодняшний день изучены не достаточно детально. Поэтому задачи исследования тепломассообменных процессов при плавлении добавок на границе шлак-металл в сталеразливочном ковше в процессе выпуска плавки либо гомогенизирующей аргонной продувки актуальны для практики производства металла [1].

Поставленная задача исследования кинетики плавления куска вводимого материала на границе шлак-металл рассматривается в допущении о том, что вводимый кусок имеет цилиндрическую форму. Принимая во внимание тот факт, что рассматриваемый кусок частично погружен в расплав стали, а частично находится в расплаве шлака, учитывая различные теплофизические и физические свойства жидких шлака и стали, а также существенно различные условия

теплообмена в этих средах, разработан алгоритм расчета двумерной задачи плавления.

В настоящей работе рассматривается плавление тугоплавких материалов [2]. Периоды плавления тугоплавкого тела представлены на рис. 1.

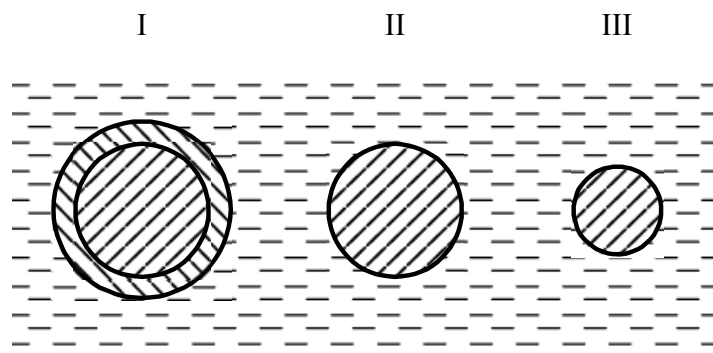


Рисунок 1 - Периоды плавления тугоплавкого тела в расплаве: - затвердевшая корка расплава; - твердая фаза тела; - расплав; I - намерзание и полное расплавление затвердевшей оболочки расплава; II - нагрев поверхности тела до температуры плавления; III - плавление тела

Математическая модель процесса плавления

Рассматривается процесс плавления тела цилиндрической формы, которое расположено на границе шлак-металл. Принимается, что температуры жидкого металла t_m и жидкого шлака $t_{ш}$ постоянны и выше температуры $t_{пл}$ плавления цилиндра. В качестве расчетной области выбрана половина поперечного сечения цилиндра (рис. 2.).

Распределение температур в цилиндре описывается двумерным уравнением теплопроводности:

$$C(T)\rho(T)\frac{\partial T(r,\varphi,\tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{r}\left[\frac{\partial}{\partial r}\lambda(T)r\frac{\partial T}{\partial r}\right] + \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \varphi}\left[\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial \varphi}\right], \quad (1)$$

$$0 < r < R_0, \quad 0 < \varphi < \pi$$

где T – температура, °C; r , φ – текущие значения радиуса и угла соответственно; $\rho(T)$, $C(T)$, $\lambda(T)$ – плотность, теплоемкость, теплопроводность материала цилиндра.

Граничные условия. На оси симметрии поперечного сечения цилиндра тепловой поток равен 0, то есть:

$$\frac{\partial t(r,0,\tau)}{\partial \varphi} = 0. \quad (2)$$

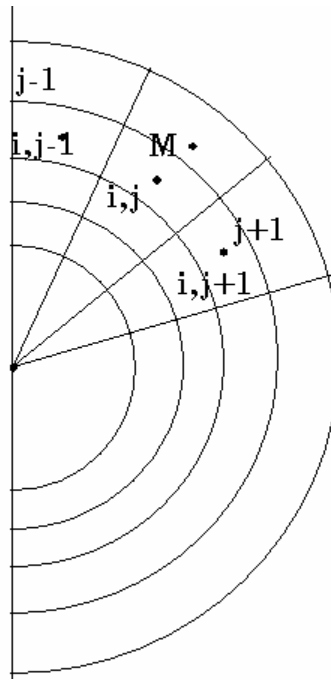


Рисунок 2 - Расчетная область

На поверхности цилиндра, расположенной в шлаковом расплаве ($0 < \varphi < \varphi_h$), происходит конвективный теплообмен с жидким шлаком с коэффициентом теплоотдачи $\alpha_{ш}$. На поверхности цилиндра, расположенной в расплаве стали ($\varphi_h < \varphi < \pi$), происходит конвективный теплообмен с жидким расплавом, коэффициент теплоотдачи которого α_m . Между образовавшимися оболочками расплава металла, шлака и поверхностью рассматриваемого цилиндра теплообмен описывается граничными условиями IV рода.

Распределение температур в затвердевшей оболочке расплава металла имеет вид:

$$C_m(T)\rho_m(T)\frac{\partial T_m}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r} \lambda_m(T) r \frac{\partial T_m}{\partial r} \right] + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[\lambda_m(T) \frac{\partial T_m}{\partial \varphi} \right], \quad (3)$$

$$r > R_0, \quad \varphi_h < \varphi < \pi$$

Условие движения границы плавления (намерзания) для точки P_m , которая принадлежит границе плавления (намерзания) затвердевшей оболочки металла, имеет вид:

$$\alpha_m \left(t_m(r, \varphi, \tau) - t_{пл}^m \right) - \rho_m \frac{\partial t_m(P_m)}{\partial n} = -\rho_m Q_m W(P_m); \quad t(P_m) = t_{пл}^m \quad (4)$$

Распределение температур в затвердевшей оболочке шлака описывается аналогичным уравнением теплопроводности:

$$C_h(T)\rho_h(T)\frac{\partial T_h}{\partial \tau} = \frac{1}{r}\left[\frac{\partial}{\partial r}\lambda_h(T)r\frac{\partial T_h}{\partial r}\right] + \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \varphi}\left[\lambda_h(T)\frac{\partial T_h}{\partial \varphi}\right], \quad (5)$$

$$r > R_0, \quad 0 < \varphi < \varphi_h$$

Условие движения границы плавления (намерзания) для точки P_h , которая принадлежит границе плавления (намерзания) затвердевшей оболочки шлака, имеет вид:

$$\alpha_h(t_h(r, \varphi, \tau) - t_{nl}^h) - \rho_h \frac{\partial t_h(P_h)}{\partial \bar{n}} = -\rho_h Q_h W(P_h); \quad t(P_h) = t_{пл}^h \quad (6)$$

Алгоритм расчета процесса плавления

Алгоритм расчета основан на использовании комбинации метода контрольного объема и метода Дюзимбера [3]. Для решения задачи формируется координатная сетка. Для этого рассматриваемая половина сечения радиусами r_i , где $1 \leq i \leq M$ разбивается на M полукругов и лучами φ_j , где $1 \leq j \leq N$ на N секторов. В итоге получают контрольные объемы с координатами i, j . Задается M_0 – начальное количество узлов по радиусу цилиндра. Значение $M > M_0$ и учитывает максимально возможное количество намерзших слоев металла или шлака.

В предлагаемом алгоритме расчета используется явная разностная схема. Вводятся матрицы температур $t[i, j]$ и $t1[i, j]$ ($1 \leq i \leq M$; $1 \leq j \leq N$) для (n) и $(n+1)$ временных слоев. Вводятся матрицы теплофизических параметров плотности $\rho[i, j]$, теплопроводности $\lambda[i, j]$ и теплоемкости $c[i, j]$, куда заносятся соответствующие значения параметров материалов цилиндра, затвердевших слоев металла и шлака в зависимости от температуры.

Разность между значением избыточной температуры и температуры плавления суммируется в отдельном счетчике. Для этих целей введен массив cd_j , в начале счета его элементы равны 0. Если значение cd_j станет больше отношения теплоты плавления материала к его теплоемкости, то считается что граничная ячейка с координатами (M_j, j) расплавилась. При этом $t[M_j, j]$ становится равной значению температуре расплава, а количество узлов по радиусу M_j уменьшается на 1. Если на данном временном слое происходит намерзание материала, то сравнивается значение cd_j с отношением теплоты плавления материала к его теплоемкости. При этом, если cd_j больше или равно этого отношения, то количество узлов по радиусу M_j увеличивается на 1.

Расчет по данному алгоритму заканчивается при условии, что $M_j = 1$ для всех значений j .

Графическое изображение результатов расчета представлено на рис. 3 - 4.

При этом, цветовая гамма поля температур представлена следующими оттенками:

□ 1050 – 1199°C, ■ 1200 – 1299°C, ■ 1300 – 1399°C,
■ 1400 – 1500°C, ■ 1501 – 1600°C.

На рисунке 3 представлена динамика плавления цилиндра при различных температурах расплава, при этом приняли, что коэффициент теплоотдачи от расплава к поверхности цилиндра α_m постоянен и равен 5000 Вт/(м²·°C). На рисунке 4 представлена динамика плавления цилиндра при различных коэффициентах теплоотдачи от расплава к поверхности цилиндра, при этом приняли, что температура расплава t_m постоянна и равна 1600 °C.

Адекватность предложенного метода, математической модели и алгоритма расчета подтверждается сравнением результатов вычислительного эксперимента с ранее опубликованными экспериментальными и расчетными результатами модельных задач плавления для различных материалов других авторов.

В дальнейших работах авторами планируется рассмотреть процессы связанного перемещения и плавления кусковых добавок в расплаве с учетом влияния гидродинамики жидкого металла при выпуске плавки и в процессе гомогенизирующей аргонной продувки, установить рациональные режимы ввода добавок в расплав, обеспечивающие усвоение материала при его расплавлении на границе шлак-металл. Планируется провести вычислительный эксперимент для ковшей различной емкости, различных химических, гранулометрических и геометрических характеристик вводимых кусковых добавок, для стали различной температуры и химического состава.

Результаты вычислительного эксперимента позволят установить рациональные режимы ввода кусковых добавок из различных материалов в расплав ковша, обеспечивающие наиболее благоприятные условия для расплавления и усвоения добавок, выносимых потоками жидкого металла на границу шлак-металл.

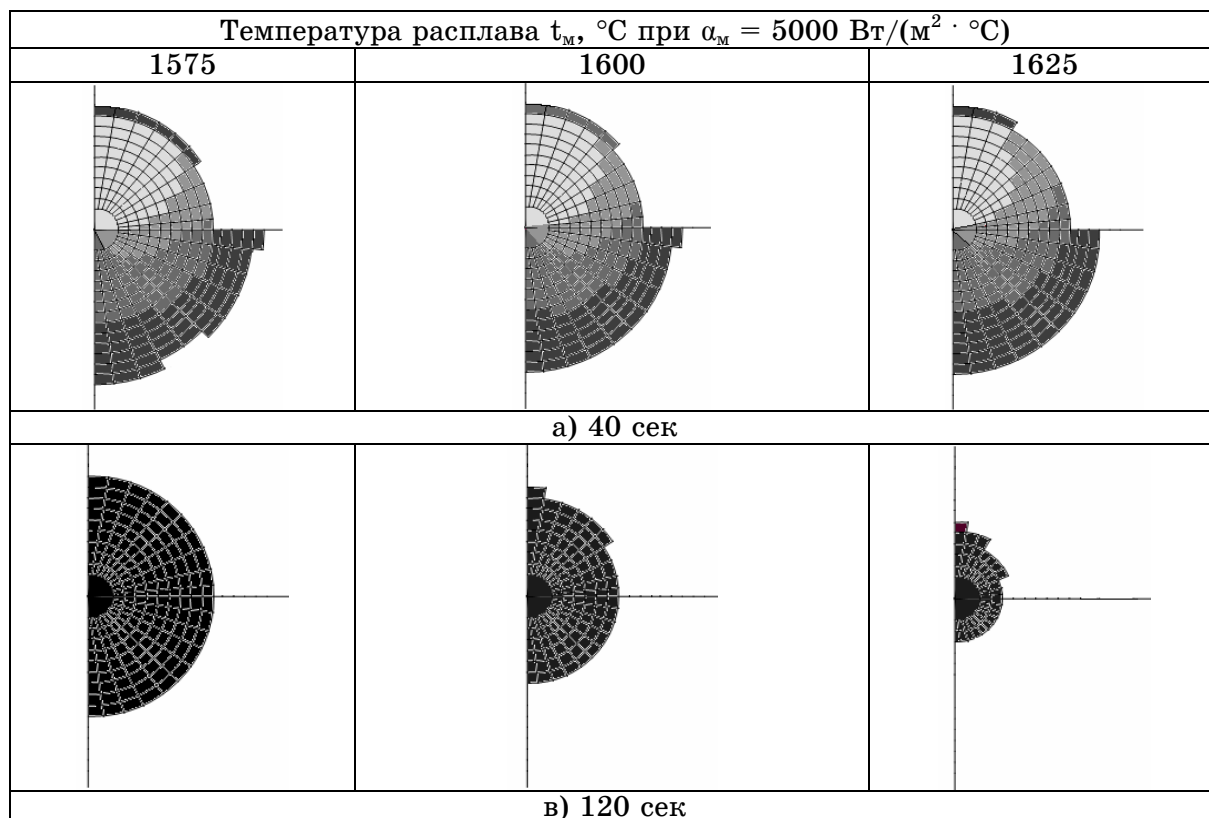


Рисунок 3 - Динамика плавления тела при различных температурах расплава

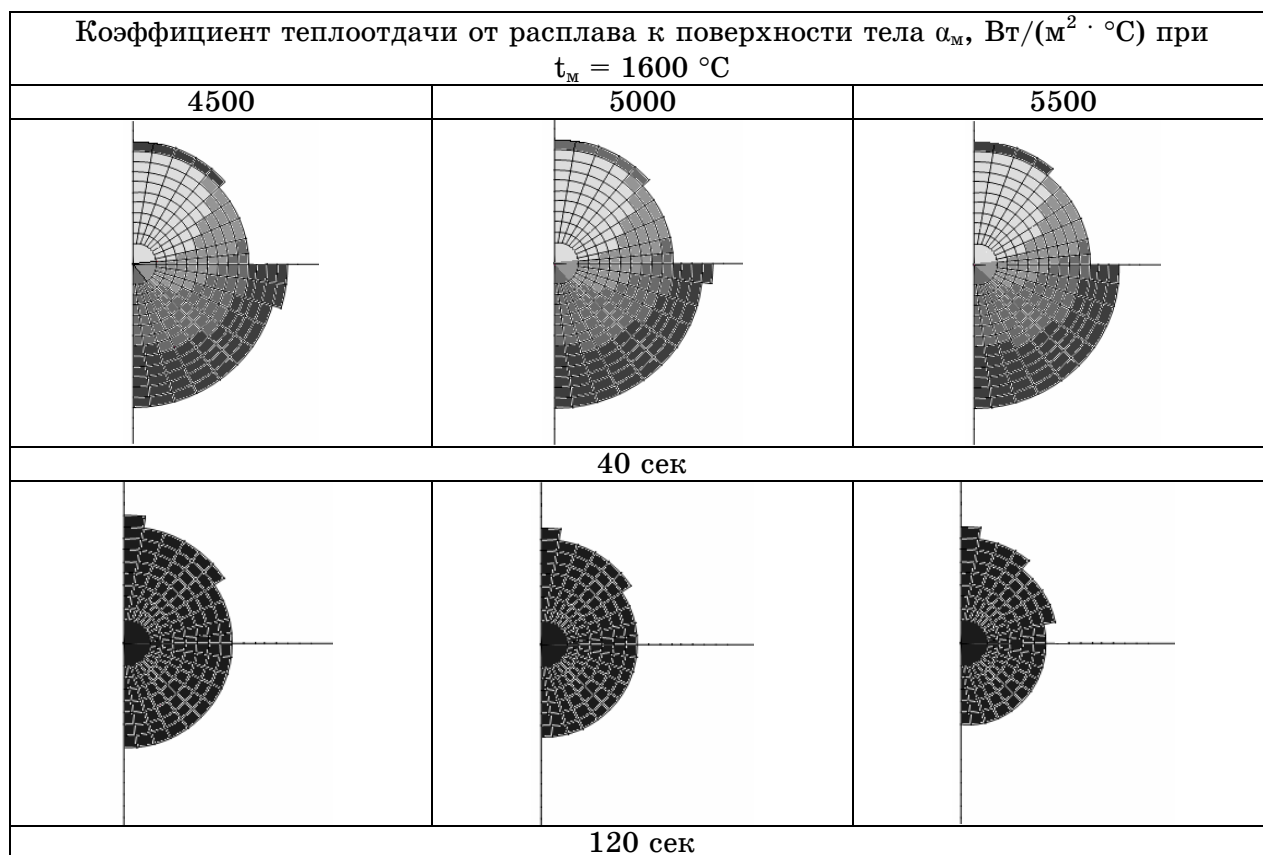


Рисунок 4 - Динамика плавления тела при различных коэффициентах теплоотдачи

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Вихлевщук, В.С. Харахулах, С.С. Бродский. Ковшевая доводка стали. - Днепропетровск: Системные технологии, 2000. - 190 с.
2. Математическое моделирование процессов внеагрегатной обработки стали / Вихлевщук В.А., Огурцов А.П., Павлюченков И.А. и др. // Киев: ИСМО МО Украины, 1997. – 151 с.
3. Бабенко М.В., Павлюченков И.А. Алгоритм расчета (на основе метода Дюзимбера) двухмерной задачи плавления цилиндра в расплаве // Металургійна теплотехніка: Збірник наукових праць Національної металургійної академії України. - Дніпропетровськ: «ПП Грек О.С.», 2006. - С. 3-7.

Получено 20.03.2008 г.

ФРОНТАЛЬНЫЕ КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ

Постановка проблемы

Прогноз микроструктуры и свойств материала является одной из основных проблем в материаловедении и инженерии материалов. Для определения микроструктуры могут быть использованы разные методы: узловые модели (vertex models [1]), модели фазовых полей (phase field models [2]), метод Монте-Карло-Поттс (Monte Carlo Potts [3]), метод конечных элементов [4] и клеточные автоматы [5]. Интерес к использованию клеточных автоматов для моделирования сложных явлений, происходящих в материале, в последнее время постоянно растет. Клеточные автоматы используются для моделирования кристаллизации [6, 7], динамической и статической рекристаллизации [8-10], фазовых превращений [10], развития трещин, микрополос и полос скольжения [11] и т. п. Основным преимуществом клеточных автоматов есть способность получить высокую корреляцию между микроструктурой и свойствами материала при моделировании на микро и мезо уровне. Модели, основанные на клеточных автоматах, разработаны и, в основном, используются в двумерной версии [12-14]. Главной причиной использования двумерных клеточных автоматов является время вычислений. Двумерные модели проще и быстрее, имеют меньше элементов и связей, используют более простые алгоритмы и проще в разработке, использовании и визуализации. В то же время развитие микроструктуры имеет ярко выраженный трехмерный характер и результаты полученные двумерными моделями не всегда могут быть непосредственно перенесены на трехмерные процессы.

Целью работы является разработки трехмерной модели, основанной на фронтальных клеточных автоматах, позволяющей моделировать развития микроструктуры.

Классические клеточные автоматы

В классических клеточных автоматах их поведение на правилах перехода из одного состояния в другое и может быть сформулирован

следующим образом. Состояние клетки в следующем шаге вычислений зависит от ее текущего состояния и текущего состояния соседних клеток. В простейших автоматах клетка может находиться в двух состояниях. Назовем их начальным q_0 и конечным q_1 . Рассмотрим в качестве примера один из простейших алгоритмов создания микроструктуры. В начале моделирования все клетки находятся в начальном состоянии q_0 и во время моделирования посредством зародышеобразования и росту зерна переходят в конечное состояние q_1 . Опишем правила перехода в следующей формулой:

$$I_1 = p \vee c_n, \quad (1)$$

где, I_1 – условие перехода из состояния q_0 в состояние q_1 ; p – случайная составляющая, связанная с появлением новых зерен; c_n – наличие в окружении клетки, клеток в состоянии q_1 .

Таким образом, классические клеточные автоматы позволяют определить состояние клетки на основе исследования ее окружения. Что приводит к необходимости сканирования всего пространства клеток и исследования окружения каждой клетки.

Фронтальные клеточные автоматы

Рассмотрим поведение клеточных автоматов в стационарных условиях, когда около выбранной клетки не происходят никакие изменения. Точнее говоря, интересуют нас клетки окружения c_n , поскольку именно они могут воздействовать на состояние клетки. Во фронтальных клеточных автоматах основной принцип формулируется иначе. Если в состоянии клеток окружения не происходят изменения и сама клетка не находится в переходном состоянии, а также на нее не действует случайная составляющая, в соответствии с правилами перехода, нет оснований ожидать изменения текущего состояния клетки. То есть, если имеются средства позволяющие выявить стационарные условия в той или иной части пространства, можно было бы исключить эту область из вычислений в текущей итерации. Определение области находящейся в стационарных условиях – достаточно трудная задача, намного проще определить области в которых происходят изменения. Тогда предполагаем, что область и клетка находятся в стационарных условиях, если не выполняется обратное условие. Индикатором происходящих изменений будет

изменение состояния клетки. Соответственно, изменяется и основной принцип клеточных автоматов.

Напоминаем, что поведение клеточного автомата можно описать следующим образом: состояние клетки зависит от состояния клеток ее окружения. Подчеркиваем, что тут нет речи о происходящих изменениях в состоянии ни самой клетки, ни ее окружения. Но главным остается зависимость состояния клетки от состояния окружения. А что будет, если мы заменим местами клетку и ее окружение? Такая замена может звучать, например, так: состояние клеток окружения зависит от состояния нашей клетки! Все также остается влияние одной клетки на другую, только в классических автоматах сразу же считается эффект воздействия всего окружения на клетку, во фронтальных же автоматах только действие отдельной клетки, но на все ее окружение. Воздействие отдельной ячейки при необходимости может суммироваться или передаваться непосредственно, как простых алгоритмах роста.

Замена ролей клетки и окружения в соединении с определением областей нестационарности позволяет получить настолько поразительный результат в ускорении вычислений, что кажется использование классического подхода есть совершенно необоснованным. Однако всегда необходимо помнить, не будут ли потеряны важные свойства автоматов при использовании предложенного подхода.

Рассмотрим подробнее действие фронтальных автоматов в алгоритме роста зерна. Если в клетке не происходят изменения, то ее влияние на соседние клетки не изменяется и нет смысла исследовать соседние клетки. Клетки, которые находятся на определенном отдалении от границы растущего зерна, остаются в стационарных условиях, независимо, находятся ли они в начальном q_0 или конечном состоянии q_1 . Не происходит в них никаких изменений и могут они полностью быть исключены из вычислений на определенных стадиях вычислений. Значит, фактически, нас интересует не состояние клетки, а переход из одного состояния в другое. В классическом автомате только состояние q_1 определяет изменение состояния клетки. То есть $sn = q_1$ вызывает появление условия I_1 , которое затем переведет клетку в новое состояние. В то же время, известно конечное состояние q_1 , является следствием

исполнения условия I1. Другими словами, условие I1 для одной клетки является причиной исполнения условия I1 для окружающих клеток. Тогда условие приводит не только к изменению состояния клетки на состояние q_1 , но и исполнения условия для остальных клеток. При этом часто нет необходимости исследовать все соседние клетки, не говоря уже о том, что большая часть пространства, остающаяся в стационарных условиях, не изменяет своего состояния и не рассматривается. В результате количество исследуемых клеток на предмет изменения их состояния многократно уменьшается, что с учетом исследования не всех соседей значительно сокращает время вычислений.

В результате такой модификации автоматов отпадает необходимость исследования всех клеток и их окружения. Изменения доходят к клетке как внешний сигнал, который автоматически втягивает ее в процесс изменения состояния. Похоже это на принцип домино. Одна падающая косточка вызывает падение следующей, которая тянет за собой очередную. Причем падение вызывает не состояние упавшей косточки (как в классических клеточных автоматах), а сам процесс перехода из одного состояния (стоящего) в другое (лежащее). И для исследования всего процесса нет смысла исследовать все время косточки, которые находятся далеко от подвижного фронта, в котором собственно и происходят все изменения. И не зависит, пропускаем ли мы еще стоящие косточки домино, или уже упавшие. В этом смысле, переходим от исследования всего пространства к очень ограниченной области, а точнее к исследованию подвижного фронта происходящих изменений. Отсюда и происходит название таких автоматов как фронтальные. В применении к моделированию процесса роста зерен подвижному фронту соответствует граница растущего зерна и тонкий слой клеток, прилегающий по обе стороны этой границы.

Результаты использования фронтальных клеточных автоматов

Попробуем оценить затраты на вычисления для нескольких вариантов.

Первый вариант: двумерное пространство 100×100 клеток с одним зародышем, соседством фон Неймана (четыре соседа) без задержки на переход из начального состояния в конечное.

Второй вариант: двумерное пространство 100×100 клеток с одним зародышем, соседством Мура (8 соседей), зерно растет в форме круга со средней задержкой перехода из начального состояния в конечное равным трем итерациям.

Третий вариант: трехмерное пространство $100 \times 100 \times 100$ клеток с одним зародышем, соседством Мура (26 соседей), зерно растет в форме шара со средней задержкой перехода из начального состояния в конечное равным трем итерациям.

Количество итераций до заполнения всего пространства по вариантам: 100, 180, 210.

Количество исследуемых клеток для классических автоматов: 106; $1,8 \cdot 106$; $2,1 \cdot 108$, для фронтальных автоматов: 104; 104; 106.

Количество исследуемых соседей во всех итерациях для классических автоматов: $4 \cdot 106$; $1,14 \cdot 107$; $5,5 \cdot 109$, для фронтальных автоматов: $4 \cdot 104$; $8 \cdot 104$; $2,6 \cdot 107$.

По последнему показателю трехмерные фронтальные клеточные автоматы с окружением Мура сравнимы по быстродействию с двумерными классическими клеточными автоматами.

Выводы

Использование предложенного метода фронтальных клеточных автоматов позволяет значительно сократить затраты на моделирование явлений происходящих в материале, которые отличаются ярко выраженной границей происходящих изменений. Фронтальные автоматы могут быть применены для моделирования затвердевания металла, кристаллизации, рекристаллизации, фазовых превращений.

Работа проводится в рамках проектов №№ N508 002 32/0158 и N508 3812 33, финансируемых Министерством Науки и Высшего Образования Польши в 2006-2010 годах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weygand, D., Brechet, Y., Lepinoux, J., Adv. Engng. Mater. 3, 67-71 (2001).
2. Fan, D., Chen, L.Q. Acta Mat. 44, 611-622 (1997).
3. Holm, E.A., Hassold G.N., Miodownik, M.A., Acta Mat. 49, 2981-2991 (2001).
4. Bernacki, M., Chastel, Y., Digonnet, H., Resk, H., Coupeuz, T., Loge, R.E., Comp. Meth. .Mat. Sci.. 7 (2007) 142-149.

5. Davies, C. H. J., *Scr. Mater.* 36 35-40 (1997).
6. Rappaz, M., Gandin, C.-A., *Acta Metal. Mater.* 41 345-360 (1993).
7. Raabe, D., *Acta Mater.* 52 2653-2664 (2004).
8. Hurley, P. J., Humphreys, F. J., *Acta mater.* 51 3779-3793 (2003).
9. Qian, M., Guo, Z. X., *Mater. Sci. Eng. A*, A365, 180-185 (2004).
10. Kumar, M., Sasikumar, R., Kesavan, Nair, P., *Acta Mater.* 46 6291-6303 (1998).
11. Das, S., Palmiere, E. J., Howard, I. C., “CAFE: a Tool for Modeling Thermomechanical Processes”, in *Thermomech. Processing: Mechanics, Microstructure & Control* eds., Palmiere, E.J., Mahfouf, M., Pinna, C., Conference Proceedings, Sheffield, 2002, pp. 296-301.
12. Kugler, G.; Turk, R., *Comp. Mater. Sci.* 37 284-291 (2006).
13. He, Y., Ding, H., Liu, L., Shin, K., *Mater. Sci. Eng. A* A429 236-246 (2006).
14. Raabe, D., Hantcherli, L., *Comp. Mater. Sci.* 34 299-313 (2005).

Получено 04.03.2008 г.

УДК 667.64:678.026

П.Д.Стухляк, І.Г.Добротвор

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМІКИ ПОШИРЕННЯ ЗОВНІШНІХ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ З ДИСПЕРСНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ

Процес формування композитних матеріалів (КМ) після введення у матрицю дисперсного наповнювача приводить до зміни степеня її зшивання, при цьому навколо частинок наповнювача утворюються зовнішні шари значної протяжності, які за своїми фізико-механічними властивостями відрізняються від властивостей матеріалу матриці в об'ємі КМ [1, 2]. Контроль за динамікою формування контурів зовнішніх поверхневих шарів (ЗПШ) окремих частинок (зерен) є одним із способів оцінки властивостей структури епоксикомпозитів [3].

Мета роботи – встановити аналітичні та графічні залежності між метричними характеристиками ЗПШ в процесі структуроутворення КМ а також створити моделі вимірювання і аналізу протяжності та швидкості поширення мікроструктур у процесі тверднення композитів з дисперсними наповнювачами різної фізичної природи.

Процес формування мікроструктур ЗПШ розглянемо на прикладі зразків плівок епоксикомпозитів на основі зв'язувача - епоксидного діанового олігомера марки ЕД-20. Тверднення здійснювали поліетеленполіаміном (ПЕПА). Як наповнювачі в КМ використано порошки електрокорунду, фериту марки 1500 НМЗ, карбїду кремнію та карбїду бору з дисперсністю 63мкм, які вводили у зв'язувач при вмісті 20мас.ч. на 100мас.ч. епоксидної смоли. На різних етапах зшивання зв'язувача у присутності часток наповнювачів фотографували зразки плівок КМ товщиною порядку 100-200мкм за допомогою мікроскопа і фотоапарата марки OLYMPUS C-8080, в результаті чого отримували фотографії у форматі BMP при збільшенні порядку 10^4 разів. Обробляли зображення у інтерактивному режимі з використанням програмного забезпечення у системі MathCAD. Досліджували області КМ, суміжні з вибраним ізолюваним зерном наповнювача, застосовуючи оператор

максимального градієнту до матриці яскравостей зображення [2]. При цьому забезпечувався масштаб 5,36мкм/піксел для зразків із феритом і карбідом бору та 9,28мкм/піксел для електрокорунду та карбіду кремнію. Протяжність проявів ЗПШ вимірювали по напрямку перпендикулярному до поверхні дисперсного зерна наповнювача.

Дослідження над мікроструктурами композитних матеріалів (КМ) дають можливість стверджувати, що зовнішні поверхневі шари (ЗПШ), які утворюються навколо дисперсних часток наповнювача у процесі тверднення композиту, ростуть у часі не рівномірно і навіть не рівносповільнено (рис.1). Динаміку метричних змін останніх можна охарактеризувати як комбінацію асимптотично зростаючого інерційного та затухаючого коливного процесів.

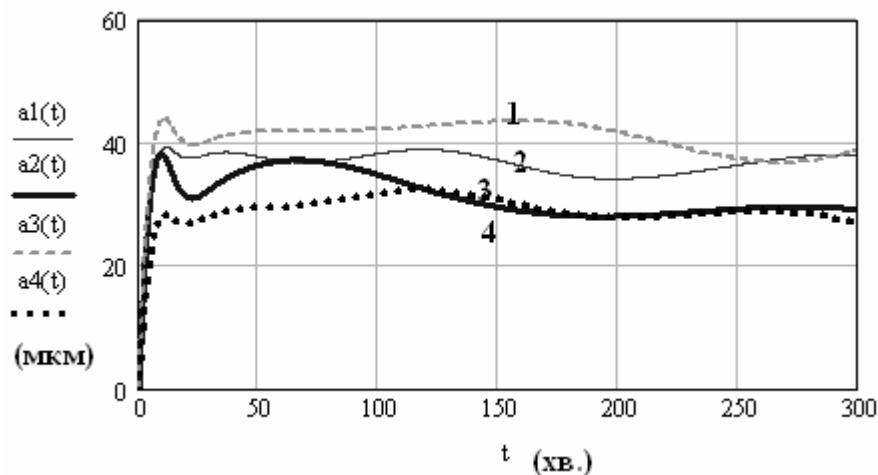


Рисунок 1. Залежності протяжності ЗПШ від процесу тверднення КМ із дисперсними (63мкм) наповнювачами: 1 – караді кремнію, 2 – ферит, 3 – електрокорунд, 4 – караді бору.

Аналіз експериментальних даних по росту протяжності ЗПШ з дисперсними (63мкм) наповнювачами дав можливість отримати аналітичні вирази апроксимацій потенціальних складових миттєвих швидкостей поширення ЗПШ КМ раціонального типу $del l(t)$ для наповнювачів: електрокорунд (1), ферит (2), караді кремнію (3) та караді бору (4), відповідно. Для збереження точності розмірності швидкостей подані в умовних одиницях – мкм/хв.:

$$del l_{ecor}(t) = \frac{8.86}{1 + 0.08 \cdot t^2}; \quad (1)$$

$$del1_{feryt}(t) = \frac{9.89}{1 + 0.11 \cdot t^2}; \quad (2)$$

$$del1_{sic}(t) = \frac{10.47}{1 + 0.25 \cdot t^2}; \quad (3)$$

$$del1_{b4c}(t) = \frac{6.4}{1 + 0.09 \cdot t^2}. \quad (4)$$

У випадку вибору експоненціальної функції в якості потенціальної складової $del2(t)$ миттєвої швидкості поширення ЗППШ для цих же наповнювачів КМ отримано аналітичні представлення (5-8):

$$del2_{ecor}(t) = 9.82 \cdot e^{-0.038t^2}; \quad (5)$$

$$del2_{feryt}(t) = 9.36 \cdot e^{-0.045t^2}; \quad (6)$$

$$del2_{sic}(t) = 8.26 \cdot e^{-0.034t^2}; \quad (7)$$

$$del2_{b4c}(t) = 5.96 \cdot e^{-0.034t^2}. \quad (8)$$

Знаючи вирази для потенціальних складових швидкості поширення ЗППШ, знаходимо величини ефективних протяжностей a_{ef} , які, взагалі кажучи, повинні відрізнятись від локального максимуму протяжності a_m (рис.2) протягом процесу тверднення. Використовуємо формулу (9):

$$a_{ef} = \int_0^{t_{ef}} del(t) dt, \quad (9)$$

де час релаксації $t_{ef} \leq 120$ хв. і визначається першим мінімумом поза проміжком коливності і характером функції $del(t)$. Отримані величини приведені в табл.1.

Таблиця 1

Значення перших локальних максимумів протяжностей ЗППШ (a_m), ефективних протяжностей (a_{ef1} та a_{ef2} , що отримуються по формулі (9) відповідно для функцій $del1(t)$ та $del2(t)$) ЗППШ для різних дисперсних наповнювачів.

Дисперсний наповнювач	електрокорунд	ферит	карбід кремнію	карбід бору
a_m (мкм)	44,04	38,22	39,34	28,45
a_{ef1} (мкм)	42,48	45,33	47,54	32,24
a_{ef2} (мкм)	44,73	38,93	39,87	28,48
t_{ef} (хв.)	120	60	80	60

Графіки потенціальних (експоненціальних та дробово-раціональних) складових носять асимптотично спадний до нуля характер (рис.3). Коливну складову $osc(t)$ швидкості поширення ЗППШ отримуємо як різницю між похідною по часу процесу поширення $y'(t)$ і експоненційної складової $del(t)$. Графік затухаючої коливної складової швидкості поширення ЗППШ для КМ із феритом в якості наповнювача приведений в якості прикладу на рис.4.

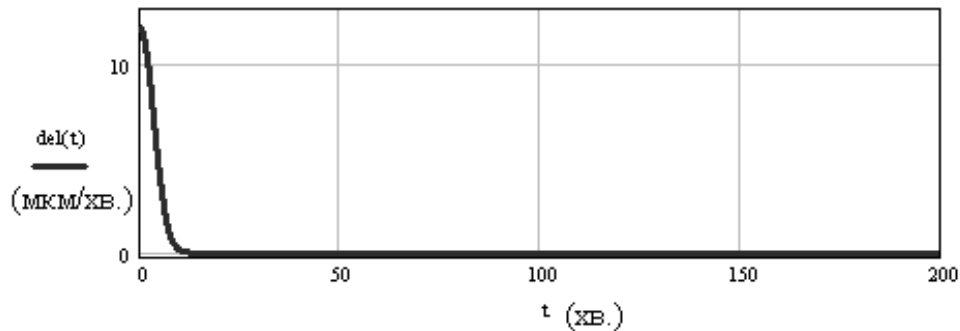
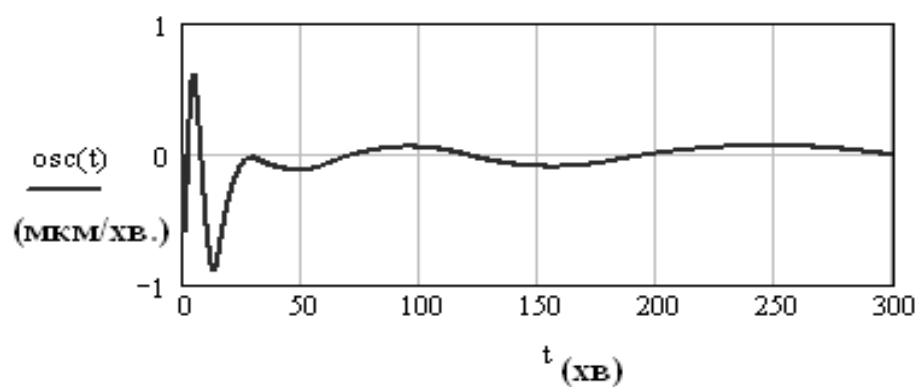


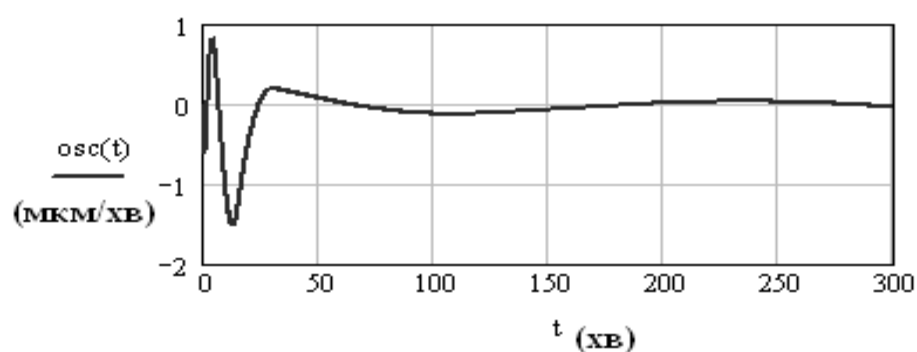
Рисунок 3. Експоненційна складова $del_{ferit}^{2}(t)$ радіальної швидкості $v(t) = \frac{d}{dt} a(t)$ розповсюдження структур ЗППШ епоксикомпозиту з феритом в якості дисперсного наповнювача (6)

Експоненційні (5), (6), (7), (8) та раціональні (1), (2), (3), (4) складові швидкостей розповсюдження ЗППШ для інших видів наповнювачів мають аналогічні графіки.

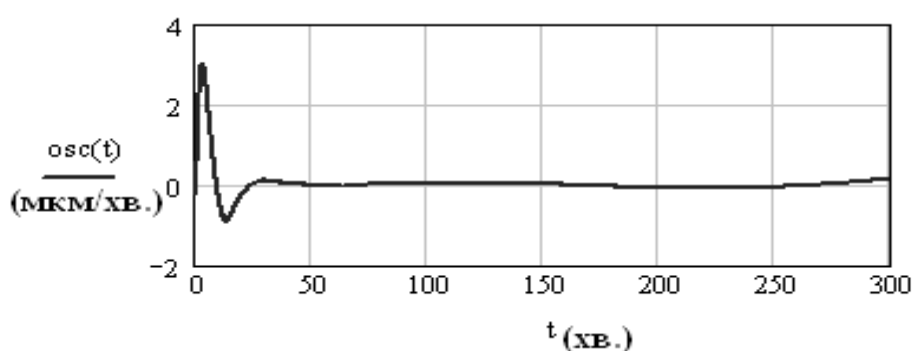
Експоненційна чи дробово-раціональна складові $del(t)$ носять швидко затухаючий характер поза околom початку формування структуроутворення ЗППШ, а коливна складова $osc(t) = v(t) - del(t)$ є відгуком на релаксаційні повільно затухаючі процеси в об'ємі КМ навколо дискретного зерна наповнювача (рис.4). Отримані результати дають можливість розрізнити два основні часові етапи формування мікроструктур КМ. Перший характеризується переважаючим впливом потенціальної складової миттєвої швидкості поширення ЗППШ. На другому етапі при співрозмірності або ж вищого порядку малості потенціальної складової в порівнянні із осциляційною завершається однорідність фізико-хімічних процесів в безпосередній близькості поверхні зерна наповнювача, співрозмірній із ефективною протяжністю ЗППШ



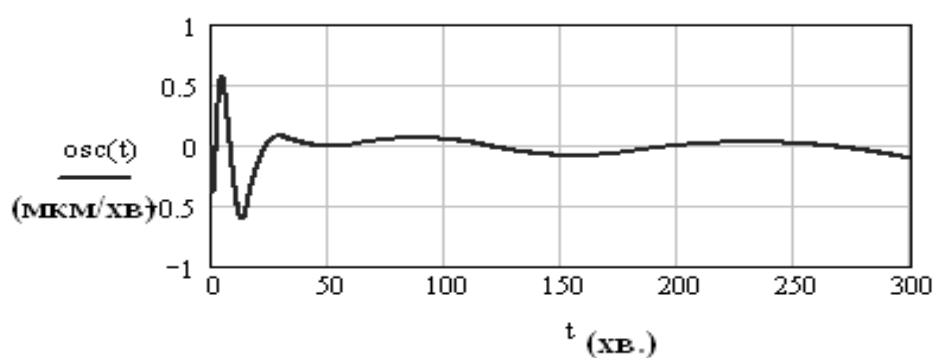
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4. Коливна складова радіальної швидкості розповсюдження структур ЗПП епоксикомпозиту відповідно з карбідом кремнію (а), феритом (б), електрокорундом (в) та карбідом бору (г) в якості дисперсного наповнювача.

Фронтальне поширення процесів потенціальних взаємодій продовжується по мірі міграції макромолекул епоксидного олігомера до межі поділу фаз із одночасним зменшенням потенціальної енергії

внаслідок збільшення їх рухливості під час взаємопроникнення ЗПП різних зерен наповнювача і перерозподілом окремих ділянок матриці між різними центрами структуроутворення. Другий етап характеризується затухаючим коливним характером інтенсивності поширення структур КМ.

Подальші дослідження проблем формування мікроструктур КМ будуть проводитись поряд із дослідженням умов осциляції перехідних процесів у матриці та їх асимптотиці.

ЛІТЕРАТУРА.

1. Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров.-М.: Химия.-1977.-304с.
2. П.Д.Стухляк, І.Г.Добротвор, Р.З.Золотий, А.В.Букетов. Дослідження впливу природи наповнювачів і товщини покриттів на зміну градієнта кольорів та внутрішні напруження в епоксикомпозитах. // Вісник КНУДТ №5, 2006, с.82-87.
3. І.Г.Добротвор, П.Д.Стухляк. Використання методів кластерного аналізу моделей процесів формування епоксикомпозитів. // Материалы международной научно-технической конференции «Автоматизация: проблемы, идеи, решения», 11-15 сентября 2007 года, Севастополь, с.14-16.

Получено 12.03.2008 г.

УДК 669.187.046.7.001.573

Е.Н. Яловая, И.А. Павлюченков, В.Ю. Болотов

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ
ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ С ЦЕЛЬЮ
РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПЛАВЛЕНИЯ
МЕТАЛЛОШИХТЫ**

Постановка проблемы

В мировом производстве стали наблюдается неуклонный рост доли электросталеплавильного производства, это обусловлено тем, что оно отличается более низкими показателями энергоемкости, количествами сырьевых материалов и выбросов в окружающую среду, а так же гибкостью использования различных видов шихтовых материалов. Дефицит электрической энергии и ее относительно высокая стоимость, вызывает необходимость поиска новых технических решений при создании новых и модернизации действующих ДСП, применение альтернативных источников теплоты, совершенствование существующих технологических процессов для снижения удельного расхода топлива. Поэтому оптимизация теплотехнических процессов в дуговых печах с учетом снижения энергопотребления и сокращение продолжительности плавки является важной и актуальной задачей при проведении экспериментальных и теоретических исследований.

Анализ публикаций по теме исследования

Математическому моделированию теплофизических процессов в дуговых сталеплавильных печах посвящен весьма ограниченный перечень работ. Основной целью математического моделирования у таких авторов, как: Егоров А.В., Игнатов И.И., Тимошпольский В.И. является определение продолжительности расплавления металлошихты в зависимости от энергетического режима печи. Моделирование тепловой работы ДСП с учетом особенностей протекания стадии проплавления колодцев произведено авторами Попов Н.Н, Моржин А.Ф. Однако не создано комплексной математической модели, учитывающей все факторы, влияющие на ход плавления шихты: насыпные характеристики шихты,

конвективный подогрев отходящими печными газами, выделение теплоты экзотермических реакций, теплоты при продувке кислородом в окислительный период. Не установлено влияние технологических режимов работы газокислородных горелок, их количества и мощности; интенсивность перемешивания жидкой металлической ванны при донном перемешивании диспергированным аргоном; влияние массы оставшегося жидкого металла от предыдущей плавки на динамику расплавления шихты в печи.

Формулирование целей статьи

На основе анализа предметной области было установлено, что разработка оптимальных режимов и усовершенствование технологий невозможны без наличия математической модели тепловой работы ДСП. Целью работы авторов является разработка универсальной математической модели процесса плавления металлошихты, с учетом особенностей современных технологий выплавки стали в ДСП: переменной тепловой мощности электрической дуги, интенсификации подогрева металлошихты за счет теплоты газокислородных горелок (в зависимости от их количества и расположения), теплоты экзотермических реакций при окислении элементов, конвективного нагрева шихты печными газами. Так же актуальным вопросом является разработка эффективного метода, алгоритма и программы для расчета на ЭВМ теплового состояния в рабочем пространстве ДСП. В соответствии с полученными результатами требуется промышленная апробация в промышленных условиях при разработке оптимальных энергосберегающих режимов плавления шихты.

Основная часть

При моделировании тепловой работы ДСП условно выделяют четыре стадии: зажигание электрических дуг, проплавление колодцев, плавление закрытыми дугами, доплавление шихты открытыми дугами. При создании математической модели кинетики плавления шихты учитываются особенности протекания теплофизических процессов на каждой стадии работы печи. Каждая из стадий работы ДСП характеризуется температурой футеровки стен, пода, свода, шихты и болота, количеством печных газов в атмосфере печи, интенсивностью протекания экзотермических реакций и

скоростью конвективного нагрева шихты. Для примера рассмотрим второй этап тепловой работы ДСП – проплавление колодцев.

Схема расчетной области данного периода представлена на рис.1.

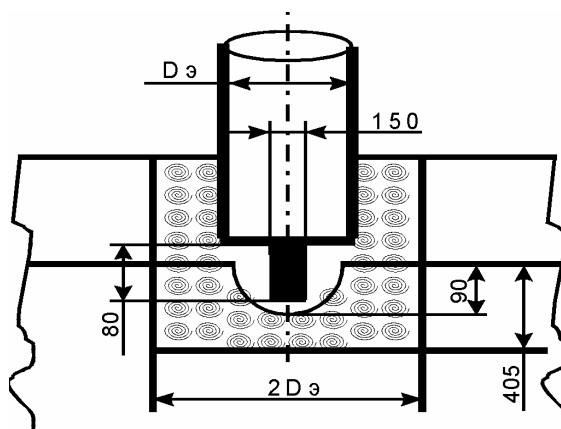


Рисунок 1 - Схема горячего пятна

Распределение температуры в объеме «болота» на данном этапе описывается уравнением теплопроводности в цилиндрических координатах:

$$c_{\bar{\theta}} \rho_{\bar{\theta}} \frac{\partial T_{\bar{\theta}}}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_{\bar{\theta}} r \frac{\partial T_{\bar{\theta}}}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\lambda_{\bar{\theta}} \frac{\partial T_{\bar{\theta}}}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_{\bar{\theta}} \frac{\partial T_{\bar{\theta}}}{\partial z} \right), 0 < z < Z_{\bar{\theta}} \quad (1)$$

где здесь и в дальнейшем r, φ, z – координаты в цилиндрической системе координат $0 < r < Rn$; $0 < \varphi < 2\pi$; Rn – радиус печи; $T_{\bar{\theta}} = f(r, \varphi, z, \tau)$ – температура «болота» (0С); $c_{\bar{\theta}} = f(T_{\bar{\theta}})$, $\lambda_{\bar{\theta}} = f(T_{\bar{\theta}})$, $\rho_{\bar{\theta}} = f(T_{\bar{\theta}})$ – массовая теплоемкость, коэффициент теплопроводности и плотность «болота».

Распределение температур в объеме шихты описывается уравнением:

$$c_{ш} \rho_{ш} \frac{\partial T_{ш}}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_{ш} r \frac{\partial T_{ш}}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\lambda_{ш} \frac{\partial T_{ш}}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_{ш} \frac{\partial T_{ш}}{\partial z} \right) + Q_{гор}, \quad (2)$$

$$Z_{\bar{\theta}} < z < Z_{ш}, \quad \tau_1 < \tau < \tau_2$$

где $Q_{гор}(r, \varphi, z, \tau)$ – теплота, подводимая к шихте в результате работы топливно-кислородных горелок; τ_2 – время окончания второго периода.

Начальным условием для этих уравнений в рассматриваемом периоде является поле температуры для «болота» $T_{\bar{\theta}}(r, \varphi, z, \tau = \tau_1)$ и шихты $T_{ш}(r, \varphi, z, \tau = \tau_1)$, полученное в результате решения задачи теплопроводности на предыдущем этапе. На оси симметрии печи задано условие симметрии. На поверхности соприкосновения шихты

с футеровкой стен печи или пода заданы граничные условия IV рода. На границах "болото" – шлак, шлак – шихта заданы граничные условия IV рода. В зоне пятна дуги (на подвижной границе дна колодца) на поверхности шихты задано граничное условие радиационного теплообмена:

$$-\lambda_{ш} \frac{\partial T_{ш}}{\partial z} \Big|_{z=Z_{ki}(\tau)} = \varepsilon_{np1} \sigma_0 \left((T_{дуги} + 273)^4 - (T_{ш}(z=Z_{ki}(\tau)) + 273)^4 \right) \quad (3)$$

где $i=1,2,3$ - номер колодца; $Z_{ki}(\tau)$ - координата поверхности i -того колодца; ε_{np1} - приведенная степень черноты системы «шихта – дуга».

На верхней поверхности шихты G_{sh} ($z=Z_{ш}$) задано условие лучистого теплообмена в результате поглощения лучистой энергии, излучаемой сводом:

$$-\lambda_{ш} \frac{\partial T_{ш}}{\partial z} \Big|_{z=Z_{ш}(\tau)} = \varepsilon_{np2} \sigma_0 \left((T_{св} + 273)^4 - (T_{ш}(z=Z_{ш}(\tau)) + 273)^4 \right) \quad (4)$$

где ε_{np2} - приведенная степень черноты системы «шихта – свод»; $T_{св}$ - температура свода.

В выражениях 3 и 4 значение степеней черноты определяется следующим образом:

$$\varepsilon_{np1} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{ш}} + \frac{1}{\varepsilon_{дуги}} - 1} \quad (5)$$

$$\varepsilon_{np2} = \frac{\varepsilon_{ш} \varepsilon_{св} (1 - \varepsilon_0)}{B}, \quad (6)$$

где $B = -\varphi_{12} \varphi_{21} (1 - \varepsilon_0)^2 (1 - \varepsilon_{ш})(1 - \varepsilon_{св})$.

Теплота горелок учитывается в модели введением в уравнение теплопроводности для объема шихты объемного источника $Q_{гор}(r, \varphi, z, \tau)$, ($i=1,2,3$ - число горелок).

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Расчет процесса расплавления металлошихты в рабочем пространстве дуговой сталеплавильной печи производится путем последовательного расчета теплового состояния на каждой отдельной стадии тепловой

работы печи. Трехмерные уравнения теплопроводности с соответствующими начальными и граничными условиями для отдельных стадий расплавления металлошихты заменяются неявными конечно-разностными отношениями на основании метода контрольного объема. Расчет теплообмена излучением на различных стадиях тепловой работы печи между участвующими в теплообмене поверхностями производится зональным методом. В расчетах не учитывалось перемещение жидкого «болота», то есть принято равенство нулю компонент скорости. Исследование влияния интенсивности перемешивания «болота» на кинетику плавления металлошихты планируется в последующих работах.

Параметрическую идентификацию математической модели и расчетного алгоритма проводили путем настройки параметров по опытно-промышленным плавкам ДСП-3 Белорусского металлургического завода. При этом невязка баланса составила 0,7-2,5%.

Проведен вычислительный эксперимент по исследованию кинетики плавления металлошихты в рабочем пространстве ДСП. Исследовалась кинетика плавления шихты от тепла электрических дуг и от тепла дуг с применением газокислородных горелок. Сделан вывод о возможности снижения расхода электрической энергии на 8-10% и продолжительности расплавления на 7-9% путем использования альтернативной энергии газокислородных горелок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет мощности и параметров электроплавильных печей: А.В.Егоров. – М: МИСИС., 2000. – 271с.
2. Расчет нагревательных и термических печей / В.М. Тымчак, В.Я. Гусовский, - М.: Металлургия, 1983.
3. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах / В.И. Тимошпольский, И.А. Трусова, А.Б. Стеблов, И.А. Павлюченков - Минск, Высшая школа, 1992. -217с.
4. Математические модели теплообмена в ДСП / И.И. Игнатов. – Математическое моделирование и расчет дуговых и плазменных сталеплавильных печей. Сборник научных трудов // ВНИИЭТО, 1983, с. 17-19.
5. Попов Н.Н, Моржин А.Ф. Математическое моделирование и расчет проплавления колодцев в ДСП// Математическое моделирование и расчет дуговых и плазменных сталеплавильных печей. – Сб. науч. тр. ВНИИЭТО.- М.: Энергоиздат, 1983. - С17-19.

Получено 20.03.2008 г.

УДК-669-412

А.И. Деревянко, А.А. Кавац

ВЛИЯНИЕ ВИБРОВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРУКТУРУ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Введение. Определение влияния вибровоздействий на изменение скорости стуктурообразования, является важной задачей металлургии. В последнее время в связи с развитием компьютерных технологий появились возможности решения этой задачи.

Постановка и решение задачи. Работа посвящена исследованию влияния виброобработки на макроструктуру слитков. Для оценки эффективности вибровоздействия на макро- и микроструктуру литого металла был выполнен комплекс металлографических исследований. Исследования показали, что для всех слитков характерна общая физическая однородность.

Экспериментальные данные является подтверждением адекватности системы моделирующей процесс затвердевания слитка.

Все опытные слитки отличаются хорошо выраженной зональностью макроструктуры. При этом под головной поверхностью всех без исключения слитков отчетливо наблюдается зона крупных зерен размером от 6 до 30 мм. Ширина этой зоны для разных слитков колеблется от 9 до 13 мм.

С повышением частоты виброобработки в опытных слитках более явно проявляется зона укрупненных различно ориентированных кристаллов, которая располагается в верхней части над зоной транскристаллизации.

Образование зоны укрупненных различно ориентированных кристаллов обычно происходит в условиях объемной кристаллизации. Слитки, виброобработанные низкой частотой (13 Гц), практически не отличаются своей макроструктурой от образца. Однако с повышением частоты виброобработки до 58 Гц у слитков обнаруживается обширная зона укрупненных различно ориентированных кристаллов, имеющая явно выраженную горизонтальную границу. При дальнейшем увеличении частоты вибровоздействия до 108 и 123 Гц зона укрупненных различно ориентированных кристаллов постепенно приобретает чашеобразную форму. В слитках, обработанных

колебаниями частотой 108 Гц, размеры этой зоны несколько различаются в зависимости от направления колебаний. Однако в слитках обработанных колебаниями с частотой 123 Гц данная зона имеет приблизительно одинаковые размеры и форму независимо от направления колебаний.

Поэтому, достаточно эффективно воздействовать на формирование макроструктуры горизонтального слитка и разрушать развитую зону транскристаллизации в центральной области слитка, что в свою очередь позволяет наблюдать за изменением скорости структурообразования. При этом наибольший эффект виброобработки, с точки зрения влияния на макроструктуру металла, наблюдался в диапазоне частот 78-123 Гц и колебаниях, приложенных в горизонтальной плоскости. Связано это, с тем, что данный уровень частот виброколебаний в горизонтальной плоскости обеспечивает величину силы, воздействующей на единицу массы кристаллизующегося металла, достаточную для разрушения дендритов.

Также установлено влияние виброобработки на дендритную структуру металла. Усредненная максимальная длина дендритов во всех слитках, подвергнутых виброобработке с частотами до 108 Гц, уменьшается примерно в 2 раза в сравнении с аналогичным показателем для сравнительного слитка. Однако в слитке, обработанном горизонтальными колебаниями с частотой 123 Гц, достигнуто более чем 6-ти кратное измельчение средних размеров дендритов. В то же время, виброобработка вертикальными колебаниями с этой частотой измельчает средний размер дендритов лишь в 2,6 раза, что практически соответствует результатам, полученным для других слитков.

Таким образом, наилучший результат с точки зрения измельчения дендритов (примерно в 6 раз) получен при обработке металла горизонтальными колебаниями с частотой 123 Гц. В остальных случаях достигало двукратное уменьшение средних размеров дендритов вне зависимости от частоты и направления колебаний.

Исследования влияние виброобработки на плотность литого металла показали, что плотность металла сравнительного слитка меньше плотности металла каждого из опытных виброобработанных

слитков и составляет 7865 кг/м^3 . Наибольшей плотности достигает металл слитков ($\rho = 7936 \text{ кг/м}^3$, горизонтальные колебания с частотой 58 Гц) и ($\rho = 7949 \text{ кг/м}^3$, горизонтальные колебания с частотой 78 Гц).

Для оценки влияния виброобработки рассмотрен прирост плотности металла ($\Delta\rho_i$), равный разности плотностей металла виброобработанного (ρ_i) и эталонного ($\rho_{\text{контр}}$) слитков:

$$\Delta\rho_i = \rho_i - \rho_{\text{контр}}.$$

Изменение величины прироста плотности литого металла $\Delta\rho_i$, в зависимости от частоты виброобработки графически представлено на рис.1.

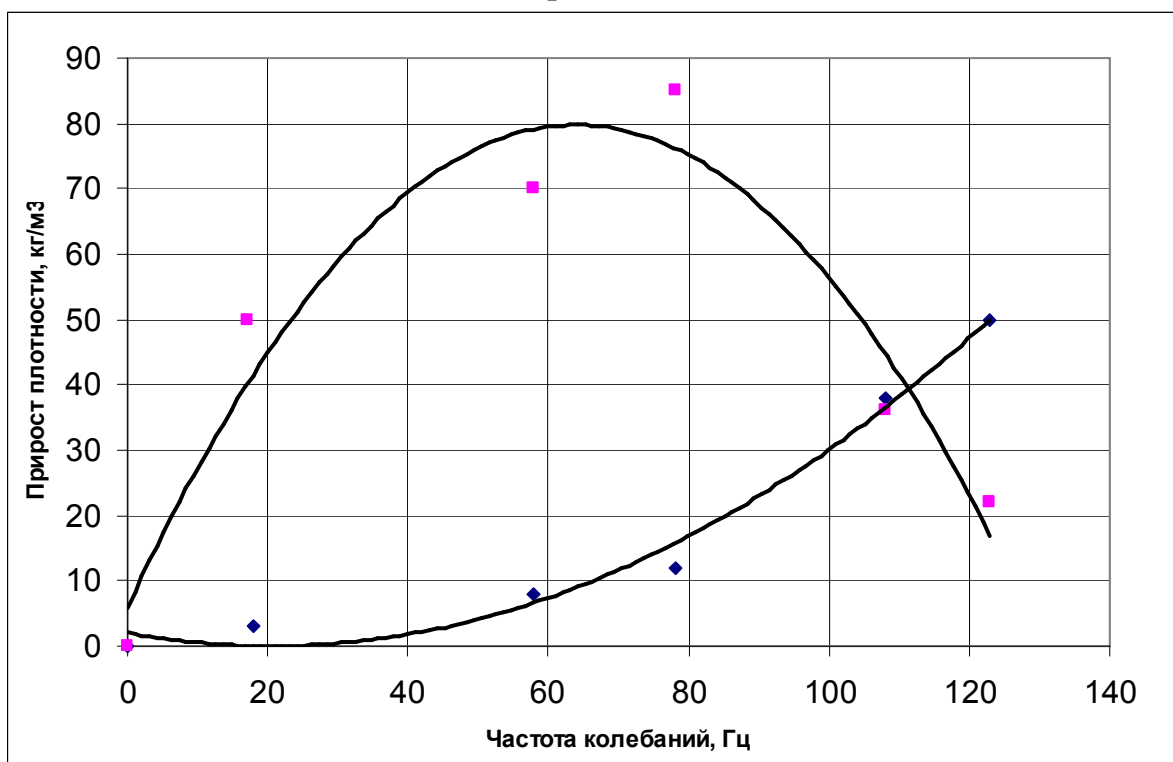


Рисунок 1 - Зависимость прироста плотности литого металла, подвергнутого виброобработке, от частоты колебаний

На рисунке 1 видно, что величина прироста плотности существенно зависит от характера колебаний: горизонтальных или вертикальных.

При обработке металла виброколебаниями в горизонтальной плоскости плотность литого металла увеличивается с увеличением частоты колебаний до максимального значения, а затем снижается. Максимальный прирост плотности (84 кг/м^3) получен при

виброобработке горизонтальными колебаниями частотой 78 Гц. При этом по абсолютной величине плотность металла возросла на 1,14% в сравнении с металлом контрольного слитка. Колебания частотой 58 Гц дают близкий результат. При использовании горизонтальных колебаний большей или меньшей частоты прирост плотности значительно меньший. Следовательно, при виброобработке горизонтальными колебаниями существуют диапазон «оптимальных частот», при обработке которыми достигается наибольшая плотность литого металла. Для исследуемой системы он близок 80 Гц. В тоже время следует отметить, что зависимость изменения твердости литого металла опытных слитков (косвенная характеристика степени измельчения грубой дендритной структуры) от частоты приложенных колебаний (рис. 1) имеет монотонно убывающий характер без максимума.

При виброобработке колебаниями в вертикальной плоскости частотная зависимость прироста плотности литого металла имеет вид кривой с возрастающей крутизной. Сам же прирост незначителен. И лишь при частотах 108 и 123 Гц прирост плотности соизмерим с результатами, полученными при обработке металла горизонтальными колебаниями. При частоте 108 Гц эти показатели практически одинаковы для колебаний вертикальной и горизонтальной плоскостях. При частоте 123 Гц плотность литого металла, обработанного колебаниями в вертикальной плоскости, больше плотности металла опытного слитка, обработанного виброколебаниями в горизонтальной плоскости, на 27 кг/м³.

Таким образом, виброобработка затвердевающего расплава обеспечивает увеличение плотности литого металла. Характер этой зависимости различен для вертикальных и горизонтальных колебаний. Наибольший прирост плотности получен при виброобработке колебаниями в горизонтальной плоскости частотами 58 Гц и 78 Гц.

Выводы

В работе рассмотрен эксперимент по оценке влияния вибровоздействий на структуру металлических сплавов. Показано, что виброобработка затвердевающего металлического расплава изменяет его макроструктуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самойлович Ю.А. – Формирование слитка. – М.: «Металлургия», 1977
2. Самойлович Ю.А. – Системный анализ кристаллизации слитка. – Киев: «Наукова думка», 1983
3. Гельцберг Г Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул. – М.: Издательство иностранной литературы, 1949
4. Волькенштейн М.В. – Колебание молекул. – М. : Государственное издательство технико – теоретической литературы, 1949
5. Мун Ф. – Хаотические колебания. – М.: «Мир», 1990
6. Чалмерс Б. – Теория затвердевания. – М.: «Мир», 1958

Получено 24.03.2008 г.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 669.169

С.В. Бобровицкий, А.К. Тараканов, В.П. Иващенко, Ю.С. Паниотов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА

Введение

Процессы жидкофазного восстановления железа (ПЖВ), хотя и не вышли пока на стадию промышленного использования, имеют реальную перспективу заменить в будущем частично или полностью традиционную коксо–агло–доменную технологию, поскольку имеют перед ней неоспоримые преимущества. Эти процессы не требуют дефицитного коксующегося угля, природного газа и окискованного железорудного сырья и могут перерабатывать безо всяких ограничений любые техногенные отходы, хотя наиболее перспективным сырьём является железорудный концентрат. Кроме качественного чугуна, процессы жидкофазного восстановления дают возможность вырабатывать в значительном количестве электроэнергию, что главным образом и обеспечивает более низкую себестоимость выплавляемого чугуна по сравнению с чугуном доменным [1–3].

Многочисленные публикации по проблеме разработки и использования ПЖВ – это в основном статьи авторов различных вариантов данной технологии с описанием особенностей конкретных процессов и, главным образом, - их достоинств. Можно констатировать, что наиболее близки в настоящее время к промышленной реализации процессы Romelt, Ausiron, HIs melt [4-7].

Цель

Целью настоящей статьи является обоснование нового подхода к выбору оптимальной для конкретных условий технологии жидкофазного восстановления с использованием универсальной модели ПЖВ.

К настоящему времени практически все разумные варианты реализации процессов жидкофазного восстановления не только

предложены, но и испытаны в виде крупномасштабных полупромышленных установок. Анализ результатов испытаний различных процессов, опубликованных в литературе, наши собственные аналитические расчеты на основе балансов и математических моделей, а также выявленные количественные ограничения для каждого из процессов позволяют обосновать для любых конкретных условий оптимальную конструкцию агрегата ПЖВ и оптимальную технологическую схему процесса.

В качестве критерия оптимизации можно использовать удельное энергопотребление на выплавку чугуна, но поскольку ПЖВ обеспечивает выработку значительного количества электроэнергии, наиболее логичным и естественным показателем для решения оптимизационной задачи является себестоимость чугуна с ограничениями по объёму капиталовложений.

Содержание разработки

Выбор оптимального режима базируется на математической модели процесса жидкофазного восстановления. Разработанная в НМетАУ модель построена на материальном и тепловом балансах процесса. Поскольку главным в модели является расчёт требуемого расхода угля на выплавку единицы чугуна, ключевой элемент модели – это анализ тепловой работы агрегата ПЖВ. Для универсализации модели предусматривается возможность использования нагретого дутья и подачи угля как на поверхность шлака, так и в глубину шлаковой ванны в виде пылеугольного топлива совместно с окислителем. Кроме того, для обеспечения возможности практически полного дожигания в рабочем пространстве агрегата ПЖВ угля, подаваемого на поверхность шлака, в случае, если заданная степень дожигания превышает 70% (это предельно возможная степень дожигания топлива в однованных агрегатах типа Romelt и Ausiron) предусматривается переход на моделирование ПЖВ в двухванном агрегате. При этом первая по ходу шихты ванна предназначена для плавления и частичного восстановления железорудных материалов при полном дожигании отходящих газов, а вторая ванна, куда подаётся уголь, – для окончательного восстановления до железа за счёт углерода угля с частичным дожиганием выделяющихся газов. Возможность предварительного нагрева и сушки шихты не предусматривается, поскольку такой вариант, как показали наши

проработки и расчёты, является технически слишком сложным и экономически нецелесообразным.

Моделирование начинается с расчёта удельного расхода шихты по балансу железа, а также количества и состава первичного расплава. Затем рассчитывается зональный тепловой дефицит процесса, включая затраты теплоты на испарение и нагрев влаги шихты и топлива, на восстановление углеродом оксидов железа, на нагрев до заданных температур шлака и чугуна.

Удельный расход угля на выплавку чугуна вычисляется по балансу теплоты с учётом дополнительного расхода углерода угля на восстановление оксидов железа и науглероживание чугуна, а также возможного уноса угольной пыли с дымовыми газами. Баланс теплоты учитывает теплосодержание нагретого дутья, унос теплоты отходящими газами и, естественно, потери теплоты на охлаждение агрегата. На каждом этапе горения рассчитываются состав образующихся газов и химическая теплота продуктов неполного горения. Суммарное теплосодержание отходящего дыма (физическое + химическое) используется в дальнейшем для расчёта количества вырабатываемой электроэнергии. КПД электрогенерирующего комплекса принимается, исходя из расчёта возможности использования парогазового цикла в связи с составом отходящего газа.

Результаты решения задачи выбора оптимальных параметров процесса жидкофазного восстановления железа зависят главным образом от накладываемых ограничений и соотношения цен на различные энергоносители, что видно из приведенных рисунков.

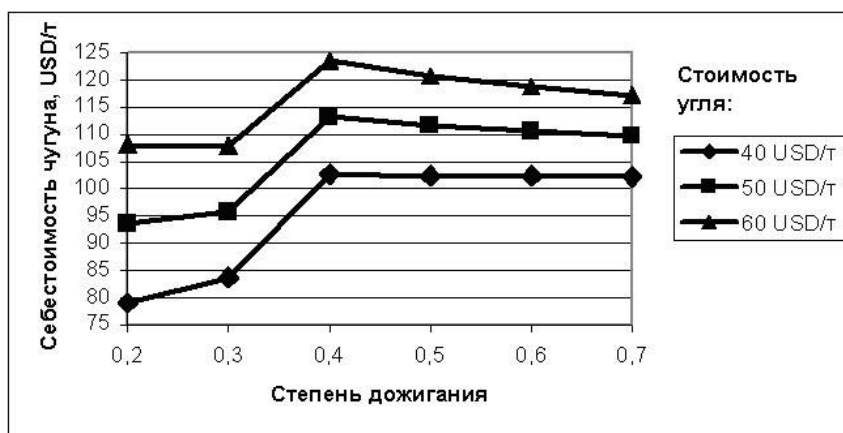


Рисунок 1 - Зависимость себестоимости чугуна от степени дожига газа в рабочем пространстве агрегата ПЖВ при разных ценах на уголь



Рисунок 2 - Зависимость себестоимости чугуна от степени дожига газа в рабочем пространстве агрегата ПЖВ при разных ценах на электроэнергию

На рисунках 1–6 показаны для примера результаты расчёта себестоимости чугуна, выплавляемого по технологии, близкой к технологиям Romelt и Ausiron, при использовании железорудного концентрата, концентрата тощих углей, разделяемого на фракции и частично вдуваемого в шлак, а также нагретого дутья. Варьирование значений отдельных параметров осуществлялось здесь при поддержании на постоянном базовом уровне значений других параметров, в частности: степени дожига газа в рабочем пространстве печи 0.5; температуры дутья 1000 °C; содержания кислорода в дутье 21%. Диапазон изменения расхода угля для всех просчитанных вариантов составил от 740 кг/т чугуна до 1100 кг/т чугуна.

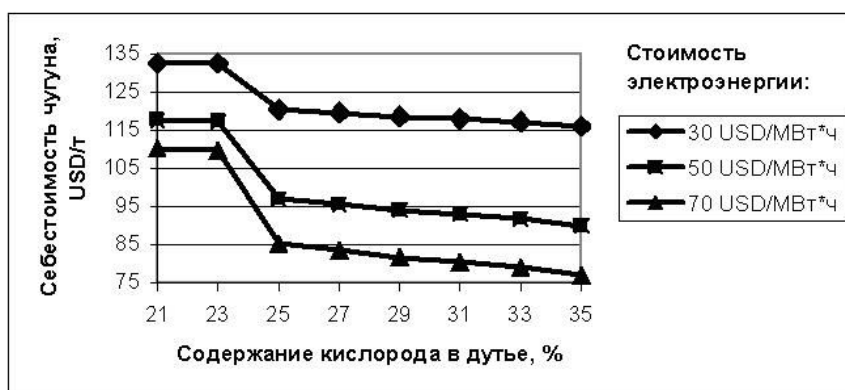


Рисунок 3 - Зависимость себестоимости чугуна от содержания кислорода в дутье при разных ценах на электроэнергию

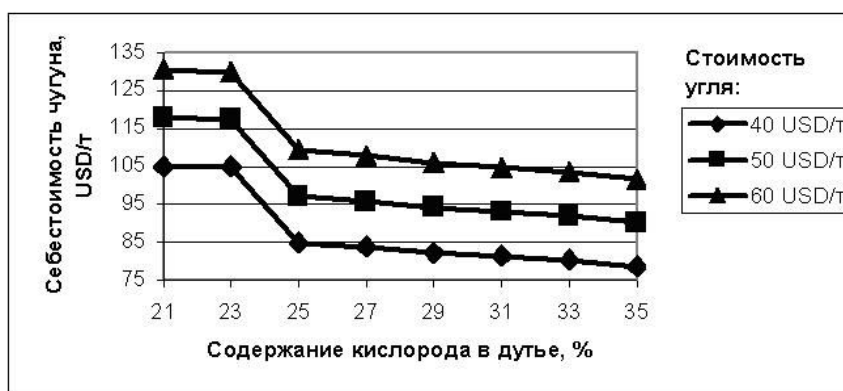


Рисунок 4 - Зависимость себестоимости чугуна от содержания кислорода в дутье при разных ценах на уголь

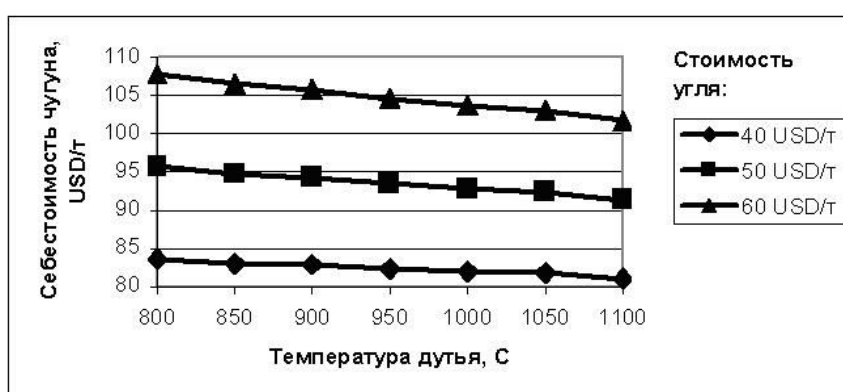


Рисунок 5 - Зависимость себестоимости чугуна от температуры дутья при разных ценах на уголь

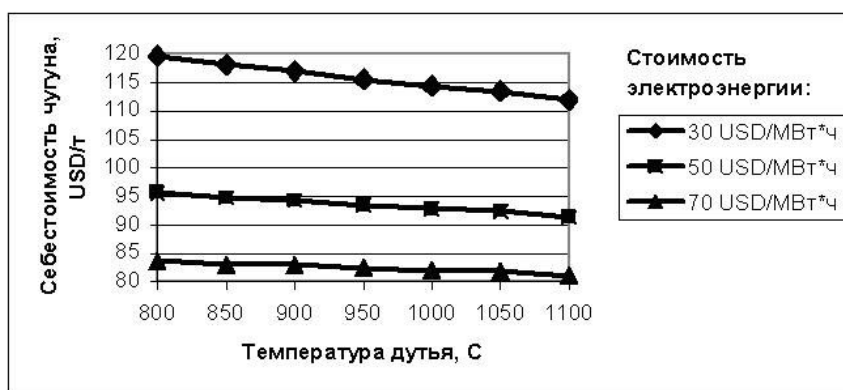


Рисунок 6 - Зависимость себестоимости чугуна от температуры дутья при разных ценах на электроэнергию

Влияние на себестоимость чугуна вида железорудного сырья – не очень существенное в условиях Украины. Себестоимость выплавляемого чугуна при использовании почти бесплатных шламов оказывается даже несколько выше, чем при использовании железорудных концентратов, так как экономия на сырье значительно перекрывается стоимостью угля, расходуемого в большем количестве

из-за более высокого удельного выхода шлака и большей влажности шламов.

При существующем в настоящее время соотношении цен на уголь и электроэнергию снижение степени дожигания газа в рабочем пространстве агрегата от 0.4 до минимально допустимого и повышение концентрации кислорода в горячем дутье от 23 % до 25 % значительно понижают потенциальную себестоимость чугуна в связи с возможным при этом переходе с парового на парогазовый цикл производства электроэнергии.

При существенном снижении цены на вырабатываемую электроэнергию, что неизбежно, если её продавать электрораспределяющим компаниям, а не потреблять на собственные нужды, сокращая тем самым расход покупной электроэнергии, повышение концентрации кислорода в дутье и изменение степени дожигания газа слабо влияют на себестоимость чугуна.

Увеличение температуры дутья экономически выгодно при любых ситуациях. При этом снижение себестоимости чугуна больше при высокой цене на уголь (рис.5) и при низкой цене на вырабатываемую электроэнергию (рис.6).

Работа агрегатов жидкофазного восстановления может быть максимально эффективной рядом с доменными печами, так как в этом случае можно легко осуществить нагрев дутья за счёт доменного газа, что позволяет существенно уменьшить удельный расход угля и в значительной мере сократить расход технического кислорода.

Минимизировать капитальные затраты на создание промышленных агрегатов жидкофазного восстановления железа можно, если строить их на базе выводимых из эксплуатации неэффективных доменных печей с максимальным использованием их инфраструктуры: воздуходувок, воздухопроводов, газопроводов, воздухонагревателей, литейных дворов, газоочисток, шихтоподач, железнодорожных путей, а также электрогенерирующих мощностей ТЭЦ. Вполне возможно в конструкциях агрегата ПЖВ ограничиться использованием в основном существующего хорошо освоенного оборудования доменных печей и кислородных конвертеров.

Выводы

1. Модельные расчёты доказывают, что в условиях Украины выплавка чугуна в агрегатах жидкофазного восстановления – значительно выгоднее, чем в доменных печах.

2. Наиболее рациональным является освоение технологии жидкофазного восстановления железа в действующих доменных цехах при использовании доменного газа для нагрева дутья и практически всей инфраструктуры выводимых из эксплуатации доменных печей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роменец В.А. Новые перспективы производства металла: состояние и перспективы. // Металлург.–2001.–№11.–С.30–38.
2. Курунов И.Ф., Савчук Н.А. Состояние и перспективы безкоксовой металлургии железа. - М.: Черметинформация, 2002.–198с.
3. Тараканов А.К., Иващенко В.П. Тенденции и перспективы развития производства чугуна в Украине. // Сталь.–2002.–№8.–С.13–16.
4. Поведение угля в шлаковой ванне печи Ромелт / А.В.Баласанов, А.Б.Усачёв, В.Е.Лехерзак и др. // Известия ВУЗов. Чёрная металлургия.– 1999.– №7.–С.12–17.
5. Роменец В.А. Процесс жидкофазного восстановления железа: разработка и реализация. // Сталь.–1990.–№8.–С.20–27.
6. Процесс Ромелт / Под ред. В.А. Роменца. – М.: МИСИС, Издательский дом “Руда и металлы”, 2005. – 400с.
7. Bates P., Coard A. HIs melt, the future in ironmaking technology. // Proceedings of the 4-th European Coke and Ironmaking Congress. June 19–22, 2000. Paris, France. Vol.2. – P. 597–602.

Получено 12.03.2008 г.

УДК 629.162.5

В.Г.Зайцев, А.Л.Чайка, А.И.Швачка, И.А.Лукьяненко, Д.В.Пинчук

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЕКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ К ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ДУТЬЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Постановка задачи

Энергетические проблемы на Украине требуют не только совершенствования и развития новой энергосберегающей техники, технологии и оборудования, но и существенного развития системы управления этими жизненно важными процессам в экономике державы. Это изменяет саму постановку задач прогнозирования, планирования и управления, которые целесообразно рассматривать, как векторные задачи (многокритериальные), для которых поиск лучшего (компромиссного) решения осуществлялся на множестве отдельных показателей (критериев), зачастую противоречивых.

Еще Л. Эйлер [1] указывал на то, что какую бы реальную задачу ни рассматривали рано или поздно приходим к задаче на максимум или минимум.

Математическая формулировка задач классической оптимизации представляет собой

$$f(x) \rightarrow \min$$

при условии $x \in X \subset E_n$, где E_n – n -мерное евклидово пространство.

Постановка задачи в таком виде очень общая. Различные предположения о функции $f(x)$ и области допустимых значений X , позволяют рассматривать вопросы существования решения и методов его определения [2].

Однако, реальные задачи инженерной (технологической) практики и экономики выдвигают задачи, которые в классическую схему не укладываются. Основной чертой таких задач является разумное (рациональное) использование ресурсов.

Насколько рационально используются ресурсы, как правило, оценивается по нескольким показателям $f_i(x), i = \overline{1, k}$, каждый из которых желательно сделать как можно меньшим при заданных ресурсах X .

Формальная запись таких задач представляет собой

$$\begin{pmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ \dots \\ f_n(x) \end{pmatrix} \rightarrow \min$$

при условии $x \in X$.

Польза от общей постановки в том, что она позволяет делать задачи оптимизации обозримыми и сформулировать принятие решения. Отметим, что решение задач такого типа неоднозначно.

В математической литературе подобные задачи формулируются с использованием бинарных отношений [3, 4]. Как критерий отбора вариантов для сформулированной задачи используется бинарное отношение Парето. Изучению свойств такого рода задач посвящено множество литературы. Обратим внимание на работы [5 - 8], в которых представлен подробный обзор литературы о задачах векторной оптимизации, методах решения и изучению их свойств. В расчетах использовался метод квазиоптимизации локальных показателей (критериев), который часто называют методом последовательных уступок.

Анализ метода исследования

Метод позволяет осуществлять поиск не единственного точного оптимума, а некоторой области решений, близких к оптимальному, – квазиоптимального множества. При этом уровень допустимого отклонения от точного оптимума определяется с учетом точности модели, используемой при постановке задачи оптимизации, а также некоторых практических соображений (например, технологических требований рассматриваемого процесса). Вначале производится качественный анализ относительной важности критериев. На основании этого анализа показатели располагаются и нумеруются в порядке убывания важности, так что главным считается критерий (или показатель) F_1 , менее важный F_2 , а затем следуют остальные локальные показатели $F_3, F_4, \dots, F_m$. На первом шаге максимизируется первый по важности показатель F_1 и определяется его наибольшее значение M_1 . Затем назначается допустимое снижение (уступка) $\Delta_1 \geq 0$ показателя F_1 . Далее определяем новую допустимую область $X(1)$, как подобласть X вида

$$X(1) = (x \in X \mid F_1(x) \geq M_1 - \Delta_1)$$

Такой подход позволяет значительно сузить первоначальную допустимую область X , когда переходим к следующему по важности критерию.

После этого находим наибольшее значение M_2 второго показателя F_2 на множестве $X(1)$, т. е. при условии, что значение первого показателя должно быть не меньше, чем $M_1 - \Delta_1$. Снова назначается значение уступки $\Delta_2 \geq 0$, но уже по второму показателю, которое вместе с первым используется при нахождении условного максимума третьего показателя, и т.д. На последнем шаге максимизируется последний по важности показатель F_m , при условии, что значение каждого показателя F_i из $m-1$ предыдущих должно быть не меньше соответствующей величины $M_i - \Delta_i$. Полученные таким образом стратегии считаются оптимальными:

$$X(i) = (x \in X(i-1) | F_i(x) \geq M_i - \Delta_i)$$

Таким образом, оптимальной считается всякая стратегия, являющаяся решением последней из следующей последовательности задач:

- 1) найти $M_1 = \sup F_1(x), x \in X$;
- 2) найти $M_2 = \sup F_2(x), x \in X(1)$;
- ...
- m) найти $M_m = \sup F_m(x), x \in X(m-1)$.

Следовательно, если показатель F_m на множестве стратегий, удовлетворяющих ограничениям задачи m) из (*) не достигает своего наибольшего значения M_m , то решением задачи векторной оптимизации считают максимизирующую последовательность $\{x_k\}$ из последовательности множеств

$$X(m-1) \subset X(m-2) \subset \dots \subset X(1) \subset X.$$

Практически подобные максимизирующие последовательности имеет смысл рассматривать и для того случая, когда верхняя грань в задаче m достигается, так как для решения экстремальных задач широко применяются итеративные методы. Алгоритм решения задачи векторной оптимизации имеет следующие шаги.

1. Пусть x_{0_1} — решение задачи (*) $\max F_1(x), x \in X$
2. Пусть x_{0_k} - решение задачи $\max F_k(x), x \in X(k-1)$,
где $X(k)$ определяется из (*).
3. Если $k < m$, то изменяем $k = k + 1$ и повторяем шаг 2. Если $k = m$, то x_{0_m} считаем оптимальным решением. Алгоритм закончен.

Значения уступок Δ_i ($i=1, \dots, m$) последовательно назначаются при изучении взаимосвязи частных показателей. Вначале решается вопрос о назначении допустимого снижения Δ_1 первого показателя от наибольшего значения M_1 . Практически для этого задают несколько величин уступок $\Delta_{11}, \Delta_{21}, \Delta_{31} \dots$ и путем решения задачи (*) определяют соответствующие максимальные значения $M_2(\Delta_{11}), M_2(\Delta_{21}), M_2(\Delta_{31}), \dots$ второго показателя. Далее рассматривают пару показателей F_2 и F_3 . Вновь назначают пробные значения уступок $\Delta_{12}, \Delta_{22} \dots$ и, решая задачу (*), отыскивают наибольшие значения $M_3(\Delta_{12}), M_3(\Delta_{22})$. Полученные данные анализируют, назначают Δ_2 , переходят к следующей паре показателей F_2 и F_3 и т. д. Наконец, в результате анализа взаимного влияния показателей F_{m-1} и F_m выбирают значение последней уступки Δ_{m-1} и отыскивают оптимальные стратегии, решая задачу m (*). (обычно ограничиваются нахождением одной такой стратегии).

Таким образом, хотя формально при использовании метода последовательных уступок достаточно решить лишь задачи (*), однако для определения значения уступок с целью выяснения взаимосвязи частных показателей фактически приходится решать существенно большее число таких задач. Для решения задачи векторной оптимизации нужно так ранжировать критерии, чтобы потом удобнее было выбирать значения уступок.

Метод последовательных уступок целесообразно применять для решения тех задач векторной оптимизации, в которых все частные критерии естественным образом упорядочены по степени важности. Каждый показатель настолько существенно более важен, чем последующий, что можно ограничиться учетом только попарной связи показателей и выбирать допустимое снижение очередного критерия с учетом поведения лишь одного следующего показателя. Особенно удобным является случай, когда уже в результате предварительного анализа задачи векторной оптимизации выясняется, что можно допустить уступки лишь в пределах «инженерной, технологической» точности (5 - 40% от наибольшей величины показателя).

Основная часть

Экономико-математическое моделирование доменного процесса [9] позволяет определить оптимальный набор параметров комбинированного дутья, при котором достигается экстремальное

значение одного из технико-экономических показателей работы доменных печей. Для различных технико-экономических показателей оптимальные решения не совпадают между собой: например, максимальная производительность достигается при иных значениях параметров комбинированного дутья, чем минимальный расход кокса или условного топлива [10].

Покажем на примере один из путей выбора оптимальных дутьевых режимов плавки по основным исходным данным для доменной печи объемом 5000 м³ ОАО “Арселор Миттал Кривой Рог”.

ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛАВКИ:	
Производительность печи, т/час	392
Внешние потери теплоты от печи, МВт	30
Расход кокса, кг/т чугуна	490
Расход природного газа, м ³ /т чугуна	80
ПАРАМЕТРЫ КОМБИНИРОВАННОГО ДУТЬЯ:	
расход, м ³ /час	0.380Е6
температура дутья, С	1100
содержание кислорода, %	31.0
влажность, г/нм ³	10.0
ПАРАМЕТРЫ ЧУГУНА:	
температура чугуна, С	1500.0
содержание кремния, %	0.82
содержание марганца, %	0.24
содержание углерода, %	4.75
содержание серы, %	0.021
содержание фосфора, %	0.069
ШИХТОВЫЕ УСЛОВИЯ:	
расход рудной части шихты, кг/т чугуна	1740
расход металлодобавки, кг/т чугуна	0
выход шлака, кг/т чугуна	418
Степень окисленности железа в шихте, %	10.0
содержание углерода в коксе, %	87.50

По результатам расчетов показателей плавки, выполненных тепло-энергетическим методом и планированием эксперимента получены полиномы для основных технико-экономических показателей доменной плавки, коэффициенты которых приведены в таблице 1.

Далее в работе рассмотрено, проанализировано и выполнены расчеты для линейной и нелинейной задач векторной оптимизации.

В качестве показателей векторного критерия принято: $F_1(x)$ - максимальная производительность печи, т/ч; $F_2(x)$ – минимальный расход кокса, кг/т чугуна, $F_3(x)$ – минимальный расход условного топлива, кг/т чугуна. Кроме того в расчетах использовались следующие данные: TFZ – температура фурменной зоны, С⁰; TKG –

температура колошникового газа, C^0 ; RD – степень прямого восстановления Fe.

Коэффициенты полиномов имели следующий физический смысл в натуральных или нормированных (условных) единицах:

X1 - температура дутья; $X1=(XX1-1200.)/200.$ - связь между условной X1 и натуральной переменной XX1.

$X2=(XX2-31.)/7.$ - содержание кислорода в дутье;

$X3=(XX3-0.18)/0.128$ - доля углерода природного газа от суммарного количества углерода, сгораемого на фурмах;

$X4=(XX4-0.2)/0.142$ - доля углерода мазута или угольной пыли от суммарного количества углерода, сгораемого на фурмах.

Ограничения технологического типа имеют вид

$2000 \leq TFZ \leq 2300$, здесь TFZ - полином, коэффициенты которого приведены ниже в таблице, а сама функция TFZ – характеризует температуру фурменной зоны печи, которая должна находиться в указанных выше пределах;

$TKG \geq 0$, здесь TKG - полином, коэффициенты которого приведены ниже в таблице, а сама функция TKG – характеризует температуру колошникового газа в печи, которая должна быть выше указанного предела;

$RD \geq 0$, здесь RD - полином, коэффициенты которого приведены ниже в таблице, а сама функция RD – характеризует степень прямого восстановления железа в печи, которая должна быть выше указанного предела;

Ограничения на переменные процесса, после их нормирования, будут находиться в пределах:

$$\begin{aligned} & -1 \leq x1 \leq 0 \\ & -1,41 \leq x2 \leq 0 \\ & -1,41 \leq x3 \leq 1,41 \\ & -1,41 \leq x4 \leq 1,41 \end{aligned}$$

Таблица 1

Значения коэффициентов расчета полиномов параметров доменной плавки

	св.ч.	x1	x2	x3	x4	x1x1	x2x2	x3x3	x4x4	x1x2
TFZ	2040,0	120,00	122,00	-316,0	-151,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TKG	174,0	-37,10	-86,60	104,00	63,10	0,22	9,36	-4,65	-2,18	5,21
RD	33,0	5,33	-0,423	-17,70	-1,03	-0,32	-0,07	-0,67	-0,05	-1,10
P(F ₁)	386,0	25,70	77,70	-13,60	-4,93	0,178	-0,80	-0,12	-0,05	-0,17
T(F ₃)	611,0	-19,90	8,22	24,20	11,00	1,24	-1,11	1,06	0,303	3,63
K(F ₂)	392,0	-4,11	3,08	-80,00	-51,80	0,269	-0,501	-2,78	-0,67	0,646
C _Σ	328,0	-22,7	7,87	11,8	4,37	1,40	-0,95	0,64	0,226	4,25

x1x3	x1x4	x2x3	x2x4	x3x4
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,384	-0,186	16,60	10,10	-6,13
1,48	0,202	-0,253	0,142	-0,311
0,237	0,259	-2,25	-0,311	-0,187
0,23	0,25	-2,25	-0,32	-0,18
-2,59	-1,24	0,19	-0,277	0,858
5,39	3,52	-1,92	-1,31	-2,89
-1,85	-0,846	-0,211	-0,528	0,476

Показатели (функции) $F_i(x)$, $i=1, 2, 3$, а также ограничения TFZ, TKG и RD имели вид квадратичных полиномов вида –

$y=b_0+b_1*x_1+b_2*x_2+b_3*x_3+b_4*x_4+b_{11}*x_1^2+b_{22}*x_2^2+b_{33}*x_3^2+b_{44}*x_4^2+b_{12}*x_1*x_2+b_{13}*x_1*x_3+b_{14}*x_1*x_4+b_{23}*x_2*x_3+b_{24}*x_2*x_4+b_{34}*x_3*x_4$, их значения коэффициентов приведено в табл.1.

Решение линейной и нелинейной задач векторной оптимизации осуществлялось по тем же алгоритмам, но с учетом коэффициентов при степенях $x_1*x_1, \dots, x_3*x_4$. Полученные результаты представлены в таблице № 2.

Таблица 2

Значения показателей плавки при решении задач векторной оптимизации методом последовательный уступок (числитель – линейная, знаменатель – нелинейная)

	Показатели доменной плавки					
	P, т/час	K, кг/т чугу.	T, кг/т чугу.	Δ , %	T_{prov}	ΔT
1 шаг	$P_{max}=398/398$	429/ 427	593/ 594	0	540/539	-53/-55
2 шаг	386/387	$K_{min}=363/363$	613/614	5	627/628	14/14
3 шаг	295/289	496/497	$T_{min}=566/566$	40	550/579	-16/13

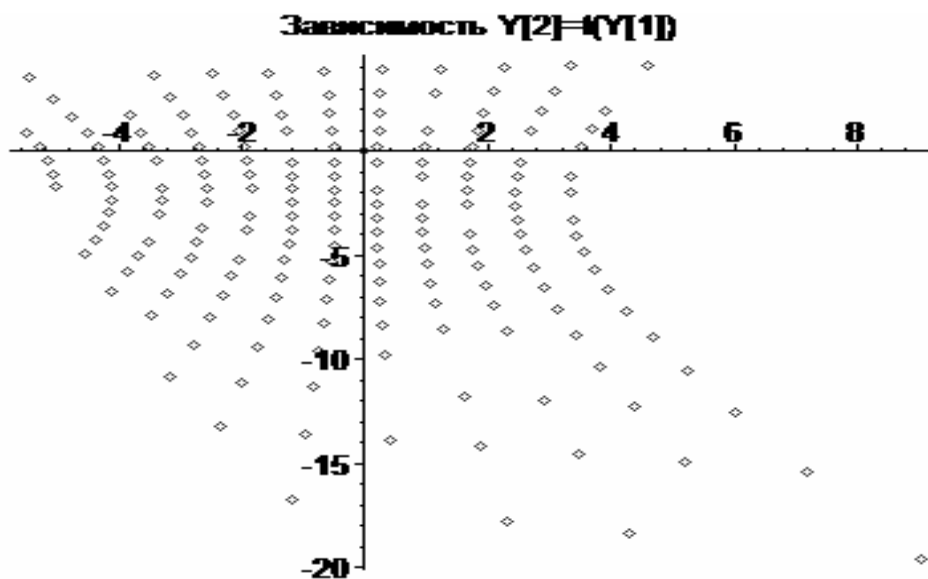


Рисунок 1

Для построения паретовских областей использовалось аналитическое представление конуса Парето и алгоритм предложенный Босовым А.А.[11]. Получена функциональная взаимосвязь между показателями - производительностью печи и расходом кокса, а также расходом кокса и условным топливом, которые представлены на рис. 1 и рис. 2. Отметим, что на рис.1 точка с координатами (0,0) соответствует значениям: производительность печи (ось x) – 386,0 и расходу кокса (ось y) – 392,0. Соответственно, на рис.2 имеем - точка с координатами (0,0) соответствует значениям: расходу кокса (ось x) – 392,0 и расход условного топлива, кг/т чугуна (ось y) – 611,0.

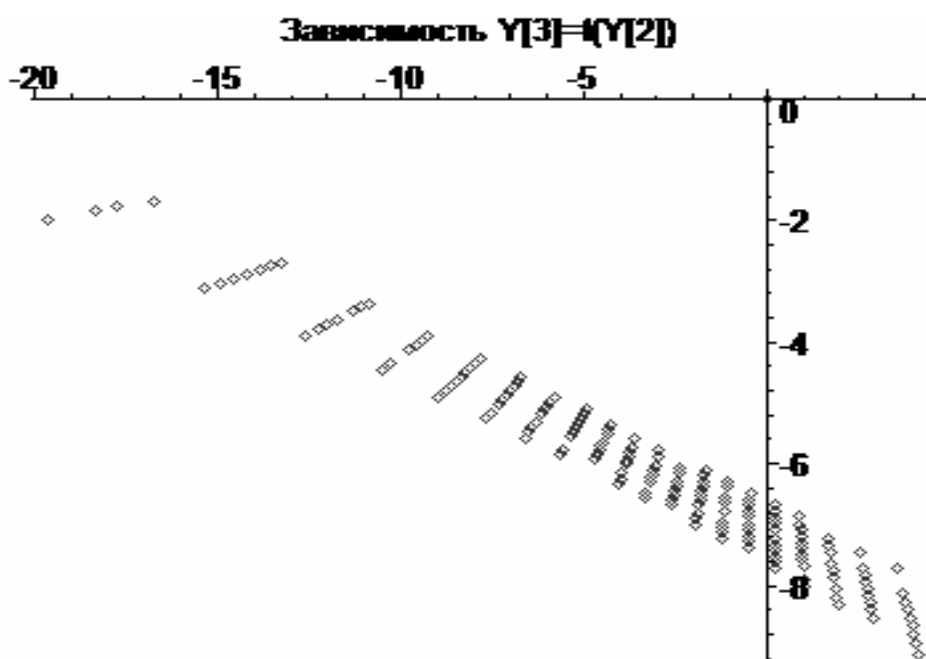


Рисунок 2

Выводы и перспектива дальнейших исследований

Расчитанные наборы параметров комбинированного дутья и соответствующие им технико-экономические показатели существенно отличаются друг от друга. Максимальная производительность печи и минимум расхода кокса достигаются при максимальном нагреве (в нашем примере 1200 °С) и обогащении дутья кислородом до максимальной величины, принятой в ограничениях – 31%. Минимальный расход условного топлива достигается при максимальном в ограничениях нагреве воздушном дутье и минимальном расходе природного газа.

В режиме работы с критерием максимальной производительности печи или минимум расхода условного топлива температура фурменной зоны будет максимальной, а при режиме минимального расхода кокса теоретическая температура фурменной зоны будет минимальной, не нарушающая температурно - тепловой режим плавки. Величина теоретической температуры, как правило, регулируется расходами природного газа, а расход ПУТ приближается к максимальному расходу, данному в ограничениях.

Данный подход будет использоваться при прогнозировании и выборе рациональных температурно – тепловых режимов доменной плавки на печи №9 ОАО «Арселор Миттал Кривой Рог» и оценки экономичности плавки при применении пылеугольного топлива в условиях ограничения ресурсов природного газа.

Авторы признательны д.т.н. А.В. Бородулину за внимание к работе и ряд ценных замечаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эйлер Л. Об определении движения брошенных тел в несопротивляющейся среде методом максимумов и минимумов: Вариационные принципы механики, под ред. Л. С. Полока. – М.: Изво физико-математической литературы, 1959. – С. 31 - 40.
2. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1980. – 518 с.
3. Макаров И.М., Виноградская Т.М., Рубчинский А.А., Соколов В.Б. Теория выбора и принятия решений. – М.: Наука, 1982. – 327 с.
4. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. – М.: Физмат, 2002. – 144 с.
5. Messac, A., Sundararaj, G. J., Tappeta, R. V., and Renaud, J. E., "Ability of Objective Functions to Generate Points on Non-Convex Pareto Frontiers," AIAA Journal, Vol. 38, No. 6, June 2000, pp. 1084 - 1091. <http://www.rpi.edu/~messac/Publications/pareto.pdf>.
6. Messac, A., Melachrinoudis, E., Sukam, C. Aggregate Objective Functions and Pareto Frontiers: Required Relationships and Practical Implications. – Optimization and Engineering Journal, Kluwer Publishers, Vol. 1, Issue 2, June 2000, pp. 171 - 188.
7. Mattson C., Messac A. Pareto Frontier Based Concept Selection Under Uncertainty, with Visualization. Springer – Special Issue on Multidisciplinary Design Optimization, Invited (refereed) Paper, OPTE: Optimization and Engineering, Vol. 6, No. 1, March 2005, pp. 85 - 115.
8. Utyuzhnikov S. V., Fantini P., Guenov M. D. A Method for Generating Well-Distributed Pareto Set in Nonlinear Multiobjective Optimization. – 2005. – 28 p. <http://arxiv.org/abs/math/0512055>.

9. Опыт и проблемы системного анализа использования топлива в доменном производстве/ А.В. Бородулин, В.П. Бородулина, Э.М. Гольдфарб и др. Сталь, 1987, №10, с. 105 – 110
10. О путях оптимизации параметров комбинированного дутья при выплавке чугуна./ Бородулин А.В. Дубина О.В., Лукьяненко И.А., Романенко В.И., Швачка А.И./ - «Пылевидное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна» Труды межд. научно – техн. конференции. Донецк: УНИТЕХ. 2006. с. 193 – 207.
11. Босов А.А. Функции множества и их применение: Дніпродзержинск: ВД “Андрій“, 2007.- 182 с.

Получено 11.03.2008 г.

УДК 519.65

Р.Н. Кветний, М.О. Машницький

МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОВИМІРНИХ ОБ’ЄКТІВ В ПРОСТОРИ**Актуальність. Постановка задачі**

Моделювання одновимірних об’єктів в просторі є досить актуальною задачею. В останні роки важко не помітити стрімкий розвиток електроніки та техніки, тому саме в наш час виникає проблема моделювання та дослідження об’єктів за допомогою обчислювальної техніки. При дослідженні об’єкта, який залежить від координат простору, постає задача ідентифікації їх математичних моделей. Для вирішення цієї проблеми потрібно застосовувати саме математичне моделювання, яке об’єднує експеримент та теорію і використовується в таких галузях як медицина, космічні дослідження, геофізика тощо. Це значно розширює області впровадження результатів досліджень, крім традиційної комп’ютерної графіки.

Одним з найпоширеніших методів моделювання об’єктів є інтерполяційний метод. На сучасному етапі розвитку науки існують інтерполяційні методи лише для моделювання трьохвимірних об’єктів простору[1]. В статті пропонується модифікація інтерполяційних методів моделювання одновимірних об’єктів в просторі.

Під одновимірним об’єктом, ми розуміємо об’єкт, що описується функцією, яка залежить від одного параметру. Прикладом одновимірного об’єкту простору є крива одиничної товщини. Одним із способів представлення є векторно-параметричний спосіб, який має наступний вигляд:

$$r = r(t) = \begin{pmatrix} x1(t) \\ x2(t) \\ x3(t) \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Вибір точки об’єкту має одну ступінь свободи – він визначається вибором значення одного параметра t , який проходить деякий інтервал, наприклад, одиничний інтервал на раціональній числовій

вісі. Точки об'єкту задаються їх радіус-векторами $r = r(t)$, компоненти яких $x_1(t)$, $x_2(t)$ і $x_3(t)$ є функціями параметра t .

Задача моделювання одновимірних об'єктів в просторі є схожою до задачі інтерполяції функції однієї змінної, де функцією є залежність компонента радіус-вектора від параметру t . Дана задача полягає в тому, щоб по заданим значенням компонентів вектора в скінченій їх кількості відновити аналітичний вигляд функції для цих компонентів або знайти їх значення, які не задані. В загальному випадку інтерполяція функції зводиться до знаходження її не табличних значень [2-5].

Задачі моделювання одновимірних об'єктів необхідно розв'язувати, коли отримують зображення, в задачах різного типу діагностувань, топографії та багатьох інших галузях. На даний момент в цій галузі проводиться активна дослідницька робота провідних компаній з виробництва графічних прискорювачів та компаній з виготовлення програмного забезпечення для тривимірного моделювання та спеціальних ефектів.

Метою статті є розширення функціональних можливостей інтерполяційних методів моделювання одновимірних об'єктів простору, які задані в параметричному вигляді.

Опис методу

Нехай для одновимірного об'єкту, який описує модель

$$\varphi(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{pmatrix} \quad \text{задані значення} \quad \varphi_i = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} \quad \text{для рівновіддалених значень}$$

параметру $t_i = t_0 + ih$, де $(i = \overline{1..n})$, де h - крок інтерполювання.

При використанні поліноміальних методів згідно з постановкою інтерполяції формули Ньютона необхідно підібрати поліноми

$P(t_i) = \begin{pmatrix} P_x(t_i) \\ P_y(t_i) \\ P_z(t_i) \end{pmatrix}$ ступеня не вище $(n-1)^2$, який для кожного значення

параметру t_i приймає конкретні значення (x_i, y_i, z_i) .

Якщо використати першу інтерполяційну формулу Ньютона для інтерполяції першого компонента вектора, то вона буде мати вигляд:

$$P_x(t) = x_0 + q\Delta x_0 + \frac{q(q-1)}{2!}\Delta^2 x_0 + \dots + \frac{q(q-1)\dots(q-n+1)}{n!}\Delta^n x_0 \quad (2)$$

$$\text{де } q = \frac{t-t_0}{h}.$$

Введемо означення узагальненого степеня. Узагальненим степенем числа q будемо називати добуток n множників, перший з яких дорівнює q , а кожний з наступних на 1 менше попереднього:

$$q^{[n]} = q(q-1)(q-2)\dots(q-n+1). \quad (3)$$

Якщо використати формули (3), (2) і зробити деякі математичні перетворення, формула (2) буде мати вигляд:

$$P_x(t) = \sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i x_0. \quad (4)$$

Аналогічно отримуємо інтерполяційні формули Ньютона для інтерполяції другого та третього компоненту:

$$P_y(t) = \sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i y_0, \quad (5)$$

$$P_z(t) = \sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i z_0. \quad (6)$$

Отже, перша інтерполяційна формула Ньютона для одновимірного об'єкту простору має вигляд:

$$P_r(t) = \left\| \begin{array}{l} \sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i x_0 \\ \sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i y_0 \\ \sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i z_0 \end{array} \right\|. \quad (7)$$

Аналогічно отримуються інтерполяційні формули для різних типів різниць.

Таблиця 1

Інтерполяційні формули для моделювання одновимірних об’єктів в просторі

Назва методу	Формула	Узагальнений степінь
Перша інтерполяційна формула Ньютона	$P_r(t) = \left\ \begin{aligned} &\sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i x_0 \\ &\sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i y_0 \\ &\sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i z_0 \end{aligned} \right\ $	$q^{[n]} = q(q-1)(q-2) \dots (q-n+1)$ де, $q = \frac{t-t_0}{h}$
Друга інтерполяційна формула Ньютона	$P_r(t) = \left\ \begin{aligned} &\sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i x_{n-i} \\ &\sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i y_{n-i} \\ &\sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i z_{n-i} \end{aligned} \right\ $	$q^{[n]} = q(q+1)(q+2) \dots (q+n-1)$ де, $q = \frac{y-y_n}{h_y}$.
Перша інтерполяційна формула Гауса	$P_r(t) = \left\ \begin{aligned} &\sum_{i=0}^n \frac{(q+s)^{[i]}}{i!} \Delta^i x_m \\ &\sum_{i=0}^n \frac{(q+s)^{[i]}}{i!} \Delta^i y_m \\ &\sum_{i=0}^n \frac{(q+s)^{[i]}}{i!} \Delta^i z_m \end{aligned} \right\ $ де, $s = \lceil i/2 \rceil - 1$, $m = -\lfloor i/2 \rfloor$.	$(q+m)^{[n]} = (q+m) \times (q+m-1) \dots (q+m-n+1)$
Друга інтерполяційна формула Гауса	$P_r(t) = \left\ \begin{aligned} &\sum_{i=0}^n \frac{(q+s)^{[i]}}{i!} \Delta^i x_m \\ &\sum_{i=0}^n \frac{(q+s)^{[i]}}{i!} \Delta^i y_m \\ &\sum_{i=0}^n \frac{(q+s)^{[i]}}{i!} \Delta^i z_m \end{aligned} \right\ $ де, $s = \lfloor i/2 \rfloor$, $m = -\lceil i/2 \rceil$.	$(q+m)^{[n]} = (q+m) \times (q+m-1) \dots (q+m-n+1)$
Інтерполяційна формула Стірлінга	$P_r(t) = \left\ \begin{aligned} &\sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \frac{\Delta^i x_m + \Delta^i x_s}{2} \\ &\sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \frac{\Delta^i y_m + \Delta^i y_s}{2} \\ &\sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \frac{\Delta^i z_m + \Delta^i z_s}{2} \end{aligned} \right\ $	$q^{[n]} = q^c (q^2 - 1^2) \dots (q^2 - (w-1)^2)$ де, $c = \begin{cases} 1 & \text{якщо } n = 1, 3, 5, \dots \\ 2 & \text{якщо } n = 2, 4, 6, \dots \end{cases}$, $w = \lceil n/2 \rceil$.

	де, $m = -\lceil i/2 \rceil$, $s = -\lfloor i/2 \rfloor$.	
Інтерполяційна формула Беселя	$P_r(t) = \left\ \begin{array}{l} \sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \frac{\Delta^i x_m + \Delta^i x_{m+1}}{2} \\ \sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \frac{\Delta^i y_m + \Delta^i y_{m+1}}{2} \\ \sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \frac{\Delta^i z_m + \Delta^i z_{m+1}}{2} \end{array} \right\ $	$q^{[n]} = \left(q - \frac{1}{2} \right)^c q(q-1)(q+1) \times$ $\times (q-2)(q+2) \dots (q+(w-1))$ де, $c = \begin{cases} 1 & \text{якщо } n = 1, 3, 5, \dots \\ 2 & \text{якщо } n = 2, 4, 6, \dots \end{cases}$ $w = \lceil n/2 \rceil.$
	де, $m = -\lceil i/2 \rceil$.	

Модифікація інтерполяційної формули для інтерполяції кривої простору

Якщо в якості параметра використати одну із компонент для прикладу x , то інтерполяційна формула для інтерполяції кривої простору для загального випадку буде мати вигляд:

$$P_r(t) = \left\| \begin{array}{l} x \\ P_y(x) \\ P_z(x) \end{array} \right\|. \quad (8)$$

Аналогічно попередньому випадку отримаємо першу інтерполяційну формулу Ньютона для інтерполяції кривої простору:

$$P_r(t) = \left\| \begin{array}{l} x \\ \sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i y_0 \\ \sum_{i=0}^n \frac{q^{[i]}}{i!} \Delta^i z_0 \end{array} \right\|, \quad (9)$$

$$\text{де } q = \frac{x - x_0}{h}.$$

Висновки

В даній статті запропоновано підхід до моделювання одновимірних об'єктів в просторі, який, на відміну від класичних, дозволяє моделювати одновимірні об'єкти, котрі задані параметрично. Описаний підхід дав можливість зменшити кількість обчислень, що потрібні для моделювання таких об'єктів.

Розглянута математична модель є досить проста та ефективна і може бути використана на практиці при тривимірному моделюванні, в фізиці, астрономії, космонавтиці, медицині, металургії, та ін.

ЛІТЕРАТУРА

1. Машницький М.О., Кветний Р. Н. Моделювання трьохвимірних поверхонь на основі модифікації різницевого методу Ньютона // Радіоелектронні і комп'ютерні системи 2007. - 2007. - №6(25). – С. 225-229.
2. Половко А.М., Бутусов П.Н. – Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 320 с.
3. Кветний Р.Н. Методи комп'ютерних обчислень. – Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 148 с.
4. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – М.: Наука, 1970. – 664 с.1
5. Бахвалов Н.С. Численные методы, 2 изд. - М.:Наука, 1987. - 598 с.

Получено 11.03.2008 г.

УДК 658.567.1

Б.Б. Потапов, В.А. Пинчук

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ РАСПЛАВА В ВАЛКОВЫХ ОХЛАДИТЕЛЯХ

Введение

Современное положение энергетики и металлургии Украины характеризуется значительным возрастанием доли низкосортного сырья и топлива. Это приводит к увеличению потребления топлива и электроэнергии в теплотехнических установках и металлургических агрегатах, а также к увеличению выхода отходов производства, в частности различных шлаков и расплавов.

В настоящее время применяются установки для грануляции жидкого шлака, в которых шлак входит в непосредственный контакт с водой (мокрый и полусухой способы охлаждения) и его физическое тепло не используется. В то же время тепловые характеристики шлаков позволяют рассматривать их как значительный по объему и концентрированный источник тепла высокого потенциала [1,2]. Общим условием эффективного использования шлаков является комплексная переработка с получением новых материалов – сухого измельченного шлака и утилизацией заключенной в нем теплоты. Поэтому шлак можно рассматривать не как отходы производства, а как ценный продукт, получение которого является эффективным и рентабельным.

Постановка задачи

Перспективными с точки зрения эффективного использования физического тепла жидкого шлака, качества получаемой продукции, защиты окружающей среды и энергетических затрат являются способы сухого охлаждения жидкого шлака в валковых охладителях. Физическая картина процесса затвердевания расплава шлака представляется следующим образом. Перегретый жидкий шлак, подается сверху на валки-охладители радиусом R_0 которые вращаются с угловой скоростью ω , об/мин (рис.1). При течении жидкого шлака по поверхности валкового охладителя происходит весьма сложный комплекс разнообразных по своей природе

процессов, наиболее важным из которых является: движение шлака по поверхности валка в условиях интенсивного теплообмена с охлаждаемой поверхностью, изменение температуры, вязкости, поверхностного натяжения и упругости шлака. В пристенном слое жидкий шлак переходит из состояния вязкопластичной несжимаемой жидкости в пластичное, а затем в твердое хрупкое состояние. В зависимости от производительности установки и скорости вращения прокатных валков, шлаковая лента на выходе из прокатных валков может выходить частично и полностью затвердевшей.

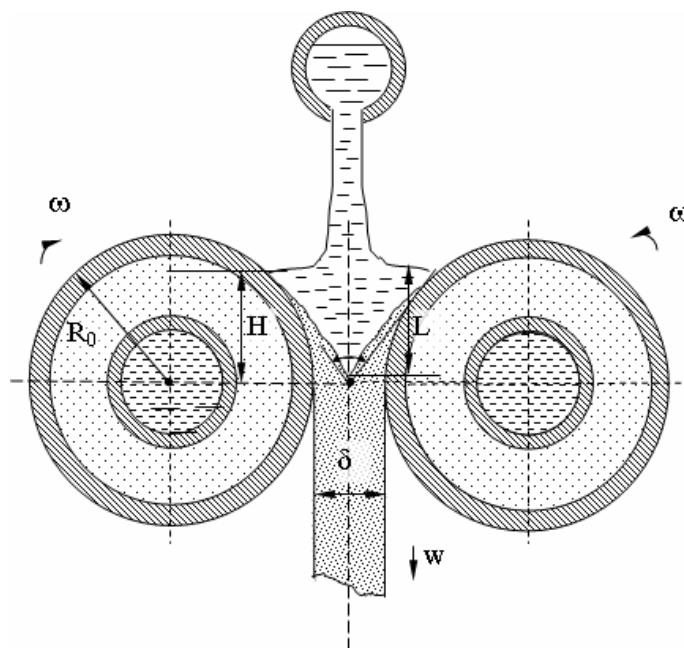


Рисунок 1 - Схема затвердевания шлака в валковом охладителе

На процесс формирования ленты твердого шлака оказывают влияния условия теплообмена между шлаком и валковым охладителем [3]. Тепловые процессы при установившемся режиме работы установки являются квазистационарными. С учетом этой особенности теплообмена объем затвердевающего шлака в межвалковом пространстве условно можно разбить на две зоны. Первая зона – верхняя часть межвалкового пространства, в которой происходит отвод теплоты перегрева от жидкого шлака. Вторая зона – нижняя часть межвалкового пространства, в которой происходит затвердевание шлака. На валках намораживаются слои шлака, толщина которых постепенно увеличивается по мере продвижения к сечению выхода от 0 до $\delta/2$. Зазор между валками определяет толщину образующейся ленты шлака δ . Важным параметром является продолжительность контакта жидкого шлака с валком,

которая зависит от угловой скорости валковых охладителей ω и высоты ванны расплава H в межвалковом пространстве. В свою очередь высота ванны расплава увеличивается с ростом диаметра и длины бочки валкового охладителя.

Методика и результаты исследования

Теплоперенос в твердой и расплавленной фазе описан уравнением теплопроводности в цилиндрической системе координат с подвижной границей разделе фаз. На границе системы «твердая корка– жидкий шлак» задавали граничные условия III рода, зависящие от места расположения расчетного сечения по технической оси и ее конфигурации. Скорость движения расплава в межвалковом зазоре принимали согласно результатам физического и математического моделирования. На поверхности контакта с валком в зависимости от задач исследования задавали граничные условия I -III рода. Расчеты производили с применением неявной разностной схемы.

При моделировании динамики затвердевания жидкого шлака приняты следующие допущения:

- переносом тепла теплопроводностью в направлении движения ленты пренебрегаем по сравнению с переносом тепла вместе с массой движущегося шлака. Отвод тепла от шлака происходит только по нормали к поверхности валка-охладителя;

- перепадом температур в поперечных сечениях зон пренебрегаем по сравнению с температурным напором на их поверхности, так как критерий Био для ленты в рассматриваемых процессах мал, а именно $Bi \leq 0,2$;

- зазор между твердыми корочками и валковыми охладителями отсутствует вследствие уменьшения поперечного сечения межвалкового объема при продвижении к осевой плоскости валков;

- каждая точка на поверхности валка перемещается с неизменной скоростью $v = \omega \cdot R$. Скорость движения шлака между валковыми охладителями усреднена;

- гидродинамику и теплоотдачу от поверхности расплава шлака в окружающую атмосферу не учитываем. Считаем, что все тепло, выделяемое шлаком, аккумулируется стенкой валка.

Положение границы твердой фазы определяется сравнением расчетной температур в узловой точке с температурой затвердевания шлака

$$S = t_{zam} - t_{i,k+j} . \quad (1)$$

Если $S \leq 0$ и выполняется условие

$$\sum_{j=1}^{K_1} (t_{zam} - t_{i,k+j}) \geq Q/c , \quad (2)$$

то рассматриваемый слой Δx считается затвердевшим. При этом количество слоев n_0 увеличивается на единицу и анализ состояния следующего слоя осуществляется по такой же схеме.

Если $S > 0$ и выполняется условие

$$\sum_{j=1}^{K_1} (t_{i,k+j} - t_{zam}) \geq Q/c , \quad (3)$$

то затвердевание слоя Δx не происходит. При этом количество слоев уменьшается на единицу. Расчет считается законченным, когда количество затвердевших слоев n_0 будет равно принятому количеству узлов по толщине расплава n .

В формулах (1-3) t_{zam} – температура затвердевания шлака, °С; $t_{i,k+j}$ – значение температур во внутренних точках расчетной области ($0 \leq i \leq n-1$); Q – теплота фазового перехода, Дж/кг; c – теплоемкость шлака, Дж/(кг·К).

Приведенная модель реализована в виде компьютерной программы и позволяет выполнять исследования влияния конструктивных и режимных параметров на распределение температур и долю твердой фазы в пределах зоны двухфазного состояния.

Разработанная модель использована при проектировании валковых утилизаторов теплоты расплава шлака. Выполнены расчетные исследования теплового состояния затвердевающего расплава золы, образующегося при работе котельных установок с жидким шлакоудалением.

В результате исследований определено влияния радиуса валков, величины межвалкового зазора, высоты ванны расплава, скорости вращения валков на динамику затвердевания расплава шлака. Установлено, что при скоростях вращения валков более 1,5 об/мин лунка на большую или меньшую величину свисает за осевую плоскость валков. При этом возможен разрыв ленты и нарушение ее стабильного формирования [4].

Выбор рациональной толщины шлаковой ленты, получаемой на валковых охладителях, определяется, прежде всего, диаметром валков и скоростью их вращения. Увеличение диаметра вала позволяет увеличить толщину образующейся шлаковой ленты при неизменной скорости вращения валков или повысить скорость вращения валков для получения ленты той же толщины, а, следовательно, повысить производительность установки. На рис.2 показано влияние частоты вращения и толщины шлаковой ленты на теплосъем и производительность валкового охладителя (при радиусе вала 0,2 м, высоте ванны расплава 0,17 м и длине вала 0,6 м).

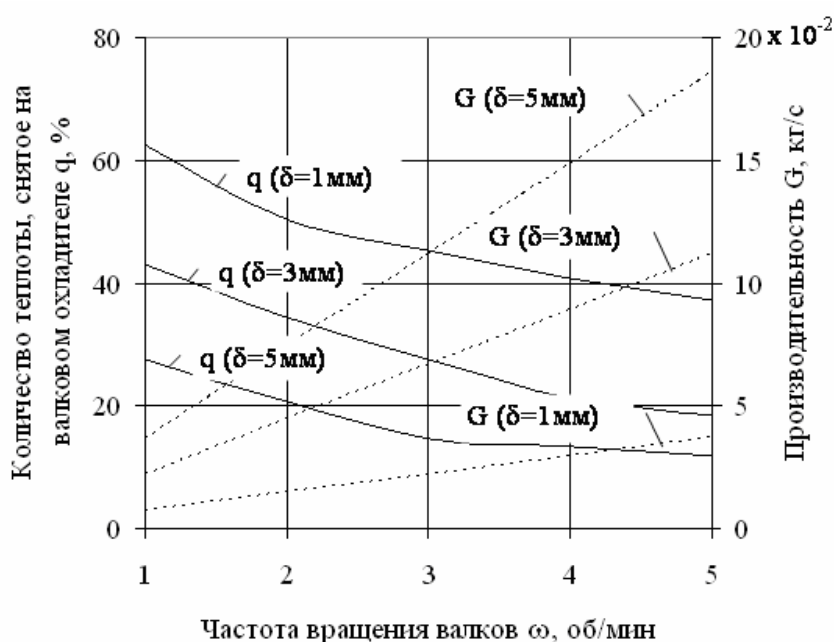


Рисунок 2 - Влияние частоты вращения и толщины ленты на теплосъем и производительность валковых охладителей

Как видно из рис. 2, с увеличением частоты вращения валков количество теплоты, отбираемое на валковых охладителях, уменьшается. При медленном вращении (1-2 об/мин) на валковых охладителях в среднем отбирается 25-55 % в зависимости от толщины ленты. При вращении более 3 об/мин количество тепла, отобранное от шлака на валках не превышает 15-30 %. С увеличением частоты вращения валков и толщины шлаковой ленты производительность валковой пары увеличивается.

Таким образом, полученные данные показали, что рациональная толщина шлаковой ленты составляет 1-1,5 мм и при частоте вращения до 1,5 об/мин. При этом на валковых охладителях отбирается 45-50 % теплоты шлака. Для увеличения

производительности утилизационной установки необходимо применение группы валковых охладителей.

Выводы

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Разработана компьютерная модель, позволяющая прогнозировать тепловые состояния затвердевающего расплава и определять распределение температур и доли твердой фазы в пределах зоны двухфазного состояния.

2. Для проектирования эффективных валковых утилизаторов с помощью разработанной модели выполнены исследования влияния радиуса валков, величины межвалкового зазора, высоты ванны расплава, скорости вращения валков на динамику затвердевания расплава золы.

2. Исследования показали, что при радиусе вала 0,2 м и высоте ванны расплава 0,17 м целесообразными являются частота вращения 1-1,5 об/мин и толщина шлаковой ленты 1,5-2 мм. При таких конструктивных и технологических параметрах температура шлаковой ленты после валковых охладителей составляет 950-1000°C.

3. при рекомендуемом режиме функционирования валкового охладителя отбирается до 45 % теплоты шлака. С увеличением частоты вращения валков средняя температура шлаковой ленты возрастает, а количество тепла, отбираемого на валках, снижается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Целыковский Ю. К. Основа экологически чистой тепловой электростанции – утилизация золошлаков//Инженерная экология.- 2002.-№6.-С. 2- 10.
2. Сутурин А. Н., Мальшаков В. И., Парадина Л. Ф., Крылатова И. В., Бойко С. М. Эколого-технологическая оценка использования зол углей в строительной индустрии//Экотехнологии и ресурсосбережение.-1998.-№3.-С.52-57.
3. Степанов А. Н., Зильберг Ю. В., Неуструев А. А. Производства листа из расплава. - М.: Металлургия, 1978.-160 с.
4. Потапов Б.Б., Пинчук В. А. Исследование режимных и конструктивных параметров валкового охладителя золосодержащего расплава// Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины.– Днепропетровск: НМетАУ.- 2005. – Книга вторая. – С. 225-233.

Получено 12.03.2008 г.

УДК 533.6.01.3.42

Ю.С. Пройдак, В.П. Козлов

МАЛЫЕ СЛУЧАЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ДЛИННОМЕРНОГО ГИДРОТРАНСПОРТНОГО ТРУБОПРОВОДА

Длинномерные гибкие гидротранспортные трубопроводы (шланги) широко используются в различных областях техники. В частности, они применяются в металлургии и при разработке подводных месторождений твердых полезных ископаемых. Как правило, условия их эксплуатации таковы, что плотность перекачиваемой пульпы изменяется случайным образом. Это приводит к случайным колебаниям трубопроводов и, следовательно, к появлению дополнительных динамических усилий, которые могут оказаться весьма значительными. В частности, указанное обстоятельство приводит к накоплению усталостных повреждений [1].

Разработана математическая модель закрепленного за оба конца пространственного гибкого гидротранспортного трубопровода, совершающего вынужденные параметрические колебания относительно положения равновесия, вызванные случайными изменениями плотности перекачиваемой пульпы. Модель учитывает действие внешнего потока (воды или воздуха), а также сосредоточенные силы и массы (обусловленные, например, наличием поплавков). Задача линейной статистической динамики решалась методом статистических испытаний, что предполагает предварительное решение задачи вынужденных параметрических колебаний исследуемого трубопровода в детерминированной постановке.

Уравнение движения трубопровода, транспортирующего пульпу переменной плотности, получено в неподвижной системе координат (рис. 2 в статье [2]). В безразмерной форме записи оно имеет вид:

$$\begin{aligned} (n_0 + n_{11} + n_{np}) \frac{\partial^2 \bar{r}}{\partial \phi^2} - n_{np} \left(\frac{\partial^2 \bar{r}}{\partial \phi^2} \cdot \bar{e}_1 \right) \bar{e}_1 + \sum_{k=1}^n (M^{(k)} + M_{np}^{(k)}) \partial(e - e_k) \frac{\partial^2 \bar{r}}{\partial \phi^2} + \\ + 2w(n_1 + n_{11}) \frac{\partial^2 \bar{r}}{\partial \phi \partial e} + (n_1 + n_{11}) w^2 \frac{\partial^2 \bar{r}}{\partial e^2} = \frac{\partial[(Q_1^{(1)} - P)\bar{e}_1]}{\partial e} + \bar{q}_a + \end{aligned}$$

$$+ \sum_{k=1}^n (\bar{p}^{(k)} + \bar{F}^{(k)}) \partial(e - e_k) - (1 + n_{11}) \bar{i}_2, \quad (1)$$

где $n_{11}(e, \phi)$ — нестационарная составляющая погонной массы пульпы (остальные обозначения приведены в статье [2]).

Уравнение движения пульпы в проекции на направление касательной представлено следующим образом:

$$(n_1 + n_{11}) \left(\frac{\partial^2 \bar{r}}{\partial \phi^2} \cdot \bar{e}_1 \right) = - \frac{\partial P}{\partial e} - (n_1 + n_{11} - n_{B2}) x'_2 - f_{10}, \quad (2)$$

где f_{10} — распределенная сила трения пульпы о внутреннюю поверхность трубопровода.

Замыкает систему уравнений (1), (2) геометрическое соотношение:

$$\sum_{i=1}^3 (x'_i)^2 = 1. \quad (3)$$

Уравнения малых колебаний трубопровода относительно состояния равновесия получены в предположении, что ряд величин, входящих в нелинейные уравнения движения (1) – (3) может быть представлен в виде:

$$\begin{aligned} \bar{r} &= \bar{r}_0(e) + \bar{u}_x(e, \phi); & \bar{r}' &= \bar{r}'_0(e) + \bar{u}'_x(e, \phi); \\ Q_1^{(1)} &= Q_{10}^{(1)}(e) + DQ_1(e, \phi); & P &= P_0(e) + P_1(e, \phi); \\ \bar{q}_a &= \bar{q}_{a0}(e) + D\bar{q}_a(e, \phi); & \bar{F}^{(k)} &= \bar{F}_0^{(k)}(e_k) + D\bar{F}^{(k)}(e_k, \phi), \end{aligned} \quad (4)$$

где $\bar{u}_x, \bar{u}'_x, DQ_1, P_1, D\bar{q}_a, D\bar{F}^{(k)}$ — динамические составляющие, а слагаемые с индексом нуль — предварительно определенные статические составляющие. Вектор динамической составляющей гидродинамической силы, действующей на трубопровод, определяется следующим образом [1]:

$$D\bar{q}_a = (A^{(1)} + A^{(3)}) \bar{u}'_x + (A^{(21)} + A^{(4)}) \dot{\bar{u}}_x.$$

Уравнения малых колебаний исследуемого гидротранспортного трубопровода относительно положения равновесия имеют вид:

$$\begin{aligned} \bar{L}_1(\bar{u}_x, D\bar{Q}_x^{(1)}) &= (n_0 + n_{11} + n_{np}) \frac{\partial^2 \bar{u}_x}{\partial \phi^2} - n_{np} \left(\frac{\partial^2 \bar{u}_x}{\partial \phi^2} \cdot \bar{e}_{10} \right) \bar{e}_{10} + \\ &+ \sum_{k=1}^n (M^{(k)} + M_{np}^{(k)}) \partial(e - e_k) \frac{\partial^2 \bar{u}_x}{\partial \phi^2} + 2w(n_1 + n_{11}) \frac{\partial^2 \bar{u}_x}{\partial \phi \partial e} - \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
& -(A^{(21)} + A^{(4)}) \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial \phi} - (n_{11} x'_{20} E + A^{(1)} + A^{(3)}) \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial e} - \\
& - \sum_{k=1}^n B^{(k)} \partial(e - e_k) \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial \phi} + (n_{11} w^2 + P_1) \frac{\partial^2 \bar{u}_x}{\partial e^2} - \frac{\partial D\bar{Q}_x^{(1)}}{\partial e} - n_{11} x'_{20} \frac{\partial \bar{r}_0}{\partial e} + \\
& + (n_{11} w^2 + P_1) \frac{\partial^2 \bar{r}_0}{\partial e^2} + n_{11} \bar{l}_2 = 0; \\
& \bar{L}_2(\bar{u}_x, D\bar{Q}_x^{(1)}) = \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial e} + C_0^{(1)} D\bar{Q}_x^{(1)} = 0,
\end{aligned} \tag{6}$$

$$\text{где } D\bar{Q}_x^{(1)} = Q_1 \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial e} + DQ_1 \frac{\partial \bar{r}_0}{\partial e}; \quad Q_1 = Q_1^{(1)} - P_0 - n_{11} w^2;$$

$$C_0^{(1)} = \begin{bmatrix} -\frac{1 - x_{10}'^2}{Q_1} & \frac{x_{10}' x_{20}'}{Q_1} & \frac{x_{10}' x_{30}'}{Q_1} \\ \frac{x_{10}' x_{20}'}{Q_1} & -\frac{1 - x_{20}'^2}{Q_1} & \frac{x_{20}' x_{30}'}{Q_1} \\ \frac{x_{10}' x_{30}'}{Q_1} & \frac{x_{20}' x_{30}'}{Q_1} & -\frac{1 - x_{30}'^2}{Q_1} \end{bmatrix}; \quad P_1(e, \phi) = - \int_0^e n_{11} x'_2 dz.$$

Приближенное численное решение системы уравнений малых колебаний (5), (6) получено в результате применения принципа возможных перемещений [1]. Данный подход предполагает использование собственных функций гидротранспортного трубопровода, методика определения которых приведена в [2].

Адекватность разработанной математической модели устанавливалась по результатам вычислительных экспериментов. Один из них связан с определением динамических составляющих гибкой связи при ступенчатом изменении плотности перекачиваемой пульпы. Пусть по трубопроводу транспортируется стационарный поток пульпы с плотностью $\rho_{n0} = 1160 \text{ кг/м}^3$. В момент времени $\tau = 0$ на его вход начинает подаваться пульпа с плотностью ρ_{n1} , которая отличается от первоначальной плотности. Скачок плотности пульпы распространяется по пульпопроводу со скоростью w .

Компоненты вектора перемещения точек осевой линии трубопровода $u_{xi}^*(e)$ и дополнительное натяжение $DQ_1^*(e)$, соответствующие новому состоянию равновесия после окончания рассматриваемого переходного процесса, могут быть определены следующим образом:

$$u_{xi}^*(e) = \lim_{\phi \rightarrow \infty} u_{xi}(e, \phi), \quad i = 1, 2, 3, \quad \Delta Q_1^*(e) = \lim_{\phi \rightarrow \infty} \Delta Q_1(e, \phi).$$

Указанные перемещение и дополнительное осевое усилие можно получить также по методике расчета статического напряженно-деформированного состояния исследуемого трубопровода следующим образом:

$$u_{xi}^0(e) = x_{i0}(e) \Big|_{c_n=c_{n1}} - x_{i0}(e) \Big|_{c_n=c_{n0}}, \quad i = 1, 2, 3,$$

$$\Delta Q_1^0(e) = Q_{10}^{(1)}(e) \Big|_{c_n=c_{n1}} - Q_{10}^{(1)}(e) \Big|_{c_n=c_{n0}}.$$

На рис. 1 приведены результаты расчетов u_{xi}^* , ΔQ_1^* (обозначены звездочками) и u_{xi}^0 , ΔQ_1^0 (сплошные линии) для трех поплавков.

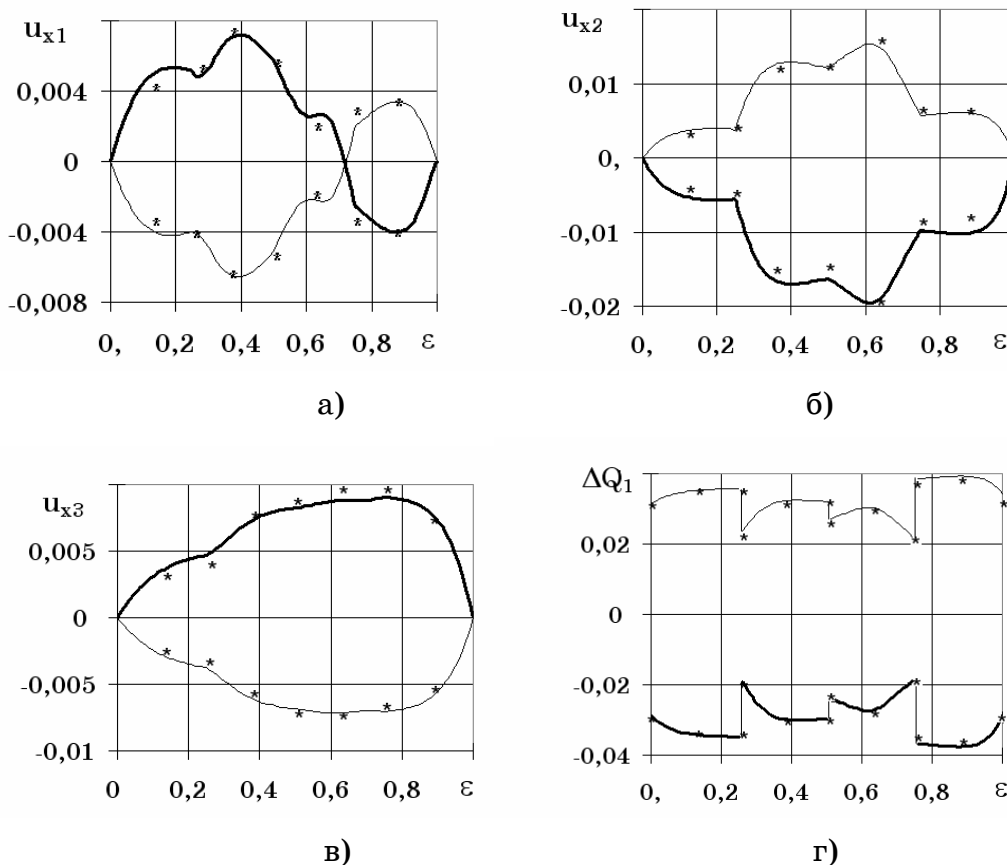


Рисунок 1 – Компоненты вектора перемещения точек осевой линии трубопровода и дополнительное натяжение, связанные со ступенчатым изменением плотности перекачиваемой пульпы (более тонкие линии соответствуют $\rho_{n1} = 1050 \text{ кг/м}^3$, а менее тонкие – $\rho_{n1} = 1270 \text{ кг/м}^3$).

Расчеты u_{xi}^0 , ΔQ_1^0 проводились с высокой точностью. Поэтому результаты указанных статических расчетов могут служить основой для оценки точности метода приближенного численного решения

уравнений малых колебаний трубопровода. Анализ показал, что относительная погрешность вычисления $u_{xi}^*(e)$ и $DQ_1^*(e)$ не превышает 5%.

Результаты решения задачи вынужденных случайных колебаний исследуемого трубопровода получены в виде гистограмм для его различных сечений. Внешний вид гистограмм позволяет выдвинуть гипотезу о нормальности законов распределения случайных динамических составляющих. Проверка по критерию χ^2 показала, что данная гипотеза может быть принята с вероятностью не ниже 0,95. Максимальные значения случайных динамических составляющих для выбранных сечений шланга могут быть определены по правилу «трех сигм».

Анализ результатов моделирования показал, что величина случайной динамической составляющей осевого усилия может достигать почти 30% по отношению к максимальному (по длине трубопровода) статическому значению осевого усилия, а модуль вектора случайной динамической составляющей перемещения относительно состояния равновесия — порядка 5% от длины шланга. Следовательно, величины случайных динамических составляющих могут быть весьма значительными по сравнению с величинами соответствующих статических составляющих. Поэтому расчеты таких трубопроводов необходимо проводить с учетом указанных динамических составляющих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Светлицкий В.А. Механика абсолютно гибких стержней.— М.: Изд-во МАИ, 2001.— 432 с.
2. Козлов В.П., Зворыкин В.Б. Определение частот и форм колебаний подводного гидротранспортного трубопровода с сосредоточенными массами // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.— Випуск 3 (38).— Дніпропетровськ, 2005.

Получено 22.03.2008 г.

УДК 51-74:669.162-669.181.4

С.Н. Форись, С.С. Федоров, М.В. Губинский

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШАХТНЫХ ИЗВЕСТКОВО-ОБЖИГОВЫХ ПЕЧЕЙ

Постановка проблемы

В условиях роста рыночной стоимости энергоносителей большое научное и практическое значение имеет математическое моделирование энергоемких металлургических процессов с целью их последующей оптимизации.

В металлургии значительное количество природного газа затрачивается на производство извести. Около 30 % извести получают в шахтных противоточных печах, удельный расход топлива в которых составляет 140-150 кг у.т./т. Доля топливной составляющей в себестоимости готового продукта, при этом, достигает 70 %.

Анализ эксплуатационных показателей обжиговых печей показывает наличие значительного потенциала, как в экономии топлива, так и в повышении качества готового продукта [1]. В связи с чем, вопросы всестороннего исследования данных агрегатов являются актуальными.

Анализ публикаций по теме исследования

Работа шахтных известково-обжиговых печей характеризуется сложностью и многообразием теплофизических процессов [2]. По этой причине, развитие теорий внешнего и внутреннего теплообмена, газодинамики и массопереноса, горения топлива происходило параллельно, но, большей частью, независимо друг от друга [1,3-5]. В виду чего, особый интерес представляет расчетно-теоретическое изучение известково-обжиговой печи как единого агрегата на базе уже достигнутых ранее научных результатов.

Формулирование целей статьи

Целью данной работы явилось: математическое описание и численное решение задачи тепло-массообмена в шахтной противоточной известково-обжиговой печи на газообразном топливе с учетом особенностей геометрии рабочего пространства, подачи

топлива и окислителя, смесеобразования и выгорания газа, диссоциации известняка; проведение адаптации математической модели к известным численно-аналитическим решениям и экспериментальным данным.

Основная часть

При моделировании система уравнений, описывающих работу агрегата, была разделена на ряд отдельных задач. В общую постановку включены: задача безвихревого движения газа плотном слое кускового материала, задача конвективного и диффузионного переноса вещества в потоке, задача горения топлива, задача внешнего переноса теплоты от газов к поверхности материала, задача внутреннего тепло-массообмена в куске материала.

В качестве допущений для газа принято: движение установившееся, потенциальное, симметричное относительно оси печи; плотность теплоносителя не зависит от давления и температуры; теплопроводность в газе и молекулярная диффузия не влияют на процесс; структура слоя постоянная по высоте и радиусу. Для материала – кусок имеет сферическую форму; его размеры не изменяются в процессе термообработки; диссоциация протекает при постоянной температуре; влияние скорости химической реакции и диффузии диоксида углерода CO_2 в куске на интенсивность диссоциации пренебрежимо мало; теплопроводность границы раздела фронта диссоциации определяется термическим сопротивлением прилегающих слоёв; температура выделившегося с поверхности куска диоксида углерода CO_2 равна температуре диссоциации; отсутствует также влияние продольной теплопроводности слоя.

В краткой форме математическая постановка задачи представлена в виде системы дифференциальных уравнений (1)-(5):

уравнение потенциального движения газа в цилиндрической системе координат с учетом источников массы вещества:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \psi(r, h)}{\partial r} + \frac{\partial^2 \psi(r, h)}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \psi(r, h)}{\partial h^2} = \frac{\Delta V_{ucm}^*(r, h)}{dV} \quad (1)$$

где $\psi(r, h)$ – потенциал скорости, $\text{м}^2/\text{с}$; r – текущий радиус печи, м ; h – текущая высота печи, м ; $\Delta V_{ucm}^*(r, h)$ – изменение расхода газа в элементарном объеме в результате химических

реакций горения топлива и диссоциации известняка, $\text{м}^3/\text{с}$; dV – элементарный объем, м^3 .

уравнение распределения концентраций газообразного вещества в движущемся несжимаемом потоке с учетом конвективного и диффузионного механизмов переноса:

$$\begin{aligned} \bar{w}_r(r, h) \cdot \frac{\partial C(r, h)}{\partial r} + \bar{w}_h(r, h) \cdot \frac{\partial C(r, h)}{\partial h} = \\ = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot D_r(r, h) \cdot \frac{\partial C(r, h)}{\partial r} \right) + G_C(r, h) \end{aligned} \quad (2)$$

где $\bar{w}_r(r, h), \bar{w}_h(r, h)$ – радиальная и вертикальная составляющие вектора скорости, $\text{м}/\text{с}$; $C(r, h)$ – концентрация вещества, диффундирующего в слое, $\text{кг}/\text{кг}$; $D_r(r, h)$ – коэффициент радиальной диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$; $G_C(r, h)$ – интенсивность выделения (поглощения) вещества в единице объема слоя, вследствие химических реакций горения топлива и диссоциации известняка, с^{-1} .

уравнение внешнего теплообмена газа с учетом действующих источников теплоты:

$$\begin{aligned} c_z(t_z) \cdot \left[\bar{w}_h(r, h) \cdot \frac{\partial t_z(r, h)}{\partial h} + \bar{w}_r(r, h) \cdot \frac{\partial t_z(r, h)}{\partial r} + \right. \\ \left. + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot D_r(r, h) \cdot \frac{\partial t_z(r, h)}{\partial r} \right) \right] = q_v(r, h) \end{aligned} \quad (3)$$

где $c_z(t_z)$ – изобарная объемная теплоемкость теплоносителя, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$; $t_z(r, h)$ – температура теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$; $q_v(r, h)$ – закон распределения мощности источников (стоков) теплоты на основе решения задач горения топлива и диссоциации известняка, $\text{Вт}/\text{м}^3$.

уравнение внутреннего теплообмена материала:

$$\begin{aligned} c_{m_i} \cdot c_{m_i}(t_m) \cdot \frac{\partial t_m(r_k, \tau, r)}{\partial \tau} = \\ = \frac{\partial}{\partial r_k} \left(\lambda_{m_i}(t_m) \cdot \frac{\partial t_m(r_k, \tau, r)}{\partial r_k} \right) + \lambda_{m_i}(t_m) \cdot \frac{2}{r_k} \cdot \frac{\partial t_m(r_k, \tau, r)}{\partial r_k} \end{aligned} \quad (4)$$

где «i» – индекс соответствующий фазе известняка (i=1) или извести (i=2); $c_m, c_m(t_m), \lambda_m(t_m)$ – соответственно плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$, теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, и теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, материала соответствующей фазы; r_k – текущий радиус куска, м ; τ – текущее время, с ; $t_m(r_k, \tau, r)$ – температура материала, $^{\circ}\text{C}$.

граничное условие для фронта диссоциации (на границах раздела фаз «известь»-«известняк»):

$$- \lambda_{CaO}(t_m) \cdot \frac{\partial t_m(r_k, \phi r)}{\partial r_k} = - \lambda_{CaCO_3}(t_m) \cdot \frac{\partial t_m(r_k, \phi r)}{\partial r_k} + \\ + q_{\partial uc} \cdot \rho_{CaCO_3} \cdot \frac{\partial r_\phi}{\partial \tau} + \frac{\rho_{CaCO_3}}{\rho_{CO_2}} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{CaCO_3}} \cdot c_{CO_2}(t_{\partial uc}) \cdot t_{\partial uc} \cdot \frac{\partial r_\phi}{\partial \tau} \quad (5)$$

где $q_{\partial uc}$ – тепловой эффект эндотермической реакции диссоциации известняка, Дж/кг; μ – мольная масса материала, кг/кмоль; «CaO», «CaCO₃» – индексы соответствующие теплофизическим свойствам извести и известняка; $t_{\partial uc}$ – температура диссоциации известняка, °C; $c_{CO_2}(t_{\partial uc})$ – изобарная объемная теплоемкость диоксида углерода при температуре диссоциации, Дж/(м³·К); r_ϕ – текущий радиус, определяющий положение фронта диссоциации в куске, м.

Постановка задачи горения топлива представлена системой уравнений реакций неполного горения углеводородов при различных значениях коэффициента расхода воздуха, реакций полного горения оксида углерода и водорода, окислительно-восстановительной реакции водяного газа и ее константы равновесия [6].

Система приведенных уравнений (1)-(5) была дополнена рядом граничных условий: на поверхности материала, внутренних стенах печи, нижнем и верхнем торцах слоя, – обеспечивающих их совместное решение. Кроме того, были учтены потери теплоты через боковую изоляцию.

Записанные дифференциальные уравнения и их граничные условия, аппроксимированы интегро-интерполяционным методом [7], который основан на принципах построения элементарных тепловых и материальных балансов. Полученные в результате конечно-разностные уравнения реализованы на ПЭВМ в языке Visual Basic. В программе были использованы многоуровневые итерационные процессы в пределах каждой из задач и для печи в целом, что позволило достичь требуемой сходимости решения. При этом, критерием сходимости выступала невязка теплового и материального баланса для печи, значение которой не превышало в конце расчета 0,5 %.

В ходе проверки адекватности математической модели была определена достоверность описания протекающих в печи теплофизических процессов. В частности были сопоставлены результаты модели с результатами аналитического решения стационарной задачи нагрева и охлаждения термически тонких тел в противотоке [2]; экспериментальных исследований диссоциации куска известняка [3]; аналитического решения диффузионного переноса вещества [8]; численного решения задачи потенциального течения при фурменном подводе дутья [9].

При проверке достоверности численного решения задачи переноса вещества (3), был рассмотрен вариант перемешивания двух изотермических коаксиальных фильтрационных потоков топлива и окислителя в условиях близких к работе шахтных известково-обжиговых печей. Анализ полученных результатов (рис. 1) показал, что математическая модель с достаточной степенью точности описывает процессы диффузионного переноса вещества. Погрешность численного результата не превышает 12 %.

Проверка достоверности численного решения математической модели позволила определить параметры расчетной пространственной сетки. Относительный шаг по высоте печи $\leq 0,028$ и радиусу – $\leq 0,116$. Для куска – относительный шаг по радиусу $\leq 0,167$, по времени $\leq 1,01 \cdot 10^{-3}$. Дальнейшее уменьшение значений расчетного шага практически не влияет на точность модели.

Кроме того, была проверена точность предложенной математической модели при описании работы действующей шахтной известково-обжиговой печи №2 цеха обжига известняка ОАО «Алчевский металлургический комбинат». Определение основных параметров работы печи выполнялось для нескольких режимов. При заданном режиме на печи экспериментально были определены: производительность печи; качество (степень обжига) материала; расход природного газа и рециркулята на горелки; расход воздуха; температура и химический состав уходящих газов; температура и свойства выгружаемой извести. Результаты испытаний показали хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных.

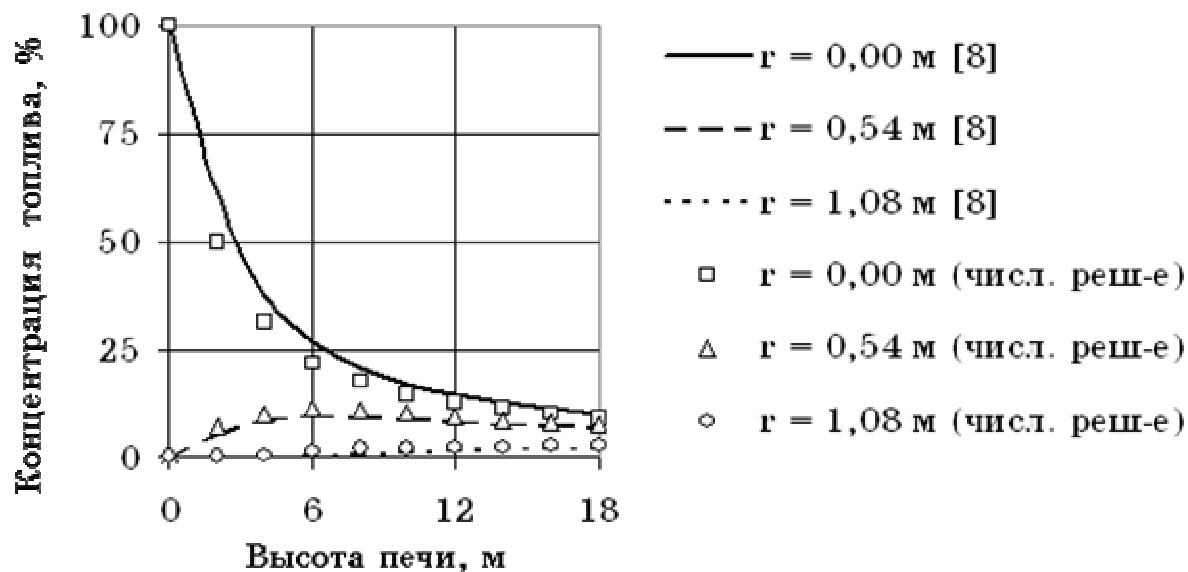


Рис. 1. Результаты аналитического и численного решений задачи диффузионного переноса вещества

Выводы

Решена задача тепло-массообмена в шахтной известково-обжиговой печи на газообразном топливе с учетом особенностей движения газа в плотном слое кускового материала, конвективного и диффузионного переноса вещества в потоке, кинетики выгорания топлива, внешнего переноса теплоты от газов к поверхности материала, теплофизических процессов внутри куска материала.

Система дифференциальных уравнений, описывающих работу печи, решена интегро-интерполяционным методом и реализована на ПЭВМ в языке Visual Basic. Выполнена адаптация математической модели в соответствии с известными численно-аналитическими решениями и экспериментальными данными работы печи. По результатам адаптации определены параметры расчетной пространственной сетки. Предложенная модель будет использована в дальнейшем для исследования влияния способа подачи топлива на показатели работы печи, оптимизации ее работы, разработки энергосберегающих режимов обжига известняка при замене природного газа доменным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Форись С.Н., Федоров С.С., Федоров О.Г. Разработка и реализация рациональных режимов работы шахтных известково-обжиговых печей // Металургійна теплотехніка. Збірник наукових праць

- Національної металургійної академії України. – Дніпропетровськ: «ПП Грек О.С.», 2007. – С.278-287.
2. Телегин А.С., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г. Тепломассоперенос. – М.: Металлургия, 1995. – 400 с.
 3. Пархоменко Т.Ю. Прогнозирование качества металлургической извести на основе математической модели кинетики диссоциации известняка // Дис... канд. техн. наук: 05.16.02. – Днепропетровск, 1989. 155 с.
 4. Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г., Швыдкий Д.В. Анализ закономерностей термического разложения известняка в шахтных печах // Изв. Вузов. Черная металлургия. – 1998. – №10. – С.11-16.
 5. Гичёв Ю.А. Решение задачи газодинамики для слоевых аппаратов перекрёстного тока // Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. – Днепропетровск: Пороги, 2004. С. 114-152.
 6. Продукты сгорания природного газа при высоких температурах (состав и термодинамические свойства). / Карп И.Н., Сорока Б.С., Дашевский Л.Н. и др. – Киев: Киевская книжная типография, 1967. – 382 с.
 7. Дульнев Г.Н. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена. М.: Высшая школа., 1990. – 207 с.
 8. Доброго К.В., Жданюк С.А. Физика фильтрационного горения газов. – Мн.: Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАНБ, 2002. – 203 с.
 9. Гордон Я.М., Максимов Е.В., Швыдкий В.С. Механика движения материала и газов в шахтных печах. – Алма-Ата: Наука, 1989.– 144 с.

Получено 11.03.2008 г.

УДК 629.1

А.И. Швачка, И.А. Лукьяненко, В.Г. Зайцев, А.Л. Чайка, С.В. Нынь

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФОРСИРОВАНИЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ**Актуальность и постановка проблемы**

Выбор температурно - теплового режима работы доменной печи обеспечивающего заданное производство чугуна с минимальными затратами энергоресурсов с использованием балансовых методов расчета доменной плавки осложняется тем, что ряд исходных данных частично или полностью не определены [3-4]. Это связано с невозможностью контроля (ввиду высоких температур, внешнего агрессивного воздействия, вибраций и др.) или отсутствием надежных методик измерений и средств контроля величин [1]. Среди них выделим следующие параметры:

- расход горячего дутья, подаваемого в доменную печь;
- температура горячего дутья и его расход на отдельных фурмах;
- внешние потери теплоты рабочего пространства печи;
- выход колошникового газа; степень использования оксида углерода, водорода и выход колошникового газа;
- удельный выход шлака и иные факторы.

При расчетах разброс результатов исследования зависит и от возможного диапазона изменения исходных данных, которые практически не контролируются в системе. При неопределенности информации любое принятое решение может оказаться не наилучшим для тех условий, которые сложатся фактически. Поэтому некоторый перерасход и риск будет неизбежен. Единственное, что можно сделать, принимая решения, - это постараться свести такой перерасход к минимуму [2, 5].

Наличие математических зависимостей [1,2,6,7], позволяет сформулировать оптимизационные модели для расчета параметров комбинированного дутья: минимум расхода кокса, максимум производительности, минимум расхода условного топлива. Решение задачи в условиях неопределенности требует некоторых предположений. Исходные предпосылки, на которые основывается рекомендуемый подход [2-8], состоят в следующем.

1. Рассматриваются задачи, в которых имеется одна главная цель (показатель или критерий) оптимизации. Эффект того или иного варианта решения характеризуют затратами или издержками, которые должны быть как можно меньше.

2. Задача допускает достаточно четкую постановку. Имеется в виду формулировка цели, конкретизация обосновываемого решения, количественное описание информации, запись ограничений.

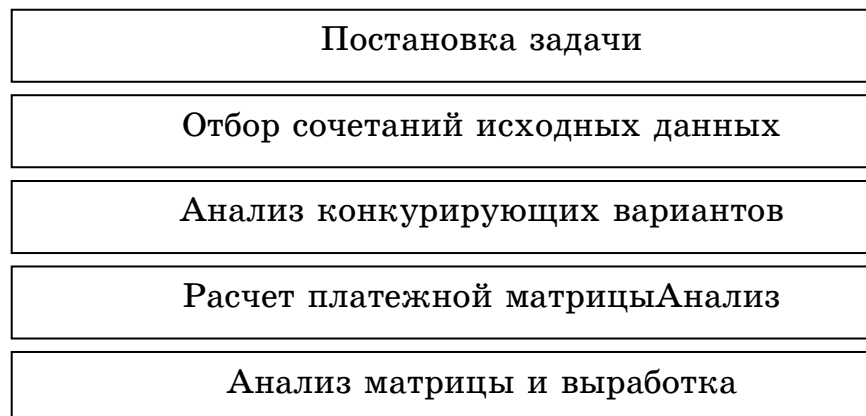
3. Математическое решение задачи в условиях неопределенности в общем случае, не может выявить один оптимальный вариант. Можно найти лишь несколько (множество) рациональных вариантов, которые хороши в том или ином отношении. Окончательный выбор из них делает лицо, принимающее решение.

4. Центральное место в данном подходе занимает расчет платежной матрицы, характеризующей эффект рассматриваемых конкурирующих вариантов решения при различных возможных сочетаниях исходной информации.

5. Для определения рациональных вариантов выполняют анализ платежной матрицы с применением специальных критериев выбора решений в условиях неопределенности.

Решение

Общая схема решения приведена на рис. 1.



Риснок 1 - Схема решения оптимизационной задачи в условиях неопределенности

Сформулируем основные критерии, которые приняты при решении такого рода задач и выполним поиск в соответствии с принятым условием задачи.

Критерий Вальда:

$\max_i Z_i^{\min} = \max_i \min_s Z_{is} \rightarrow x_g$ (в задаче поиска максимума целевой функции).

$\min_i Z_i^{\max} = \min_i \max_s Z_{is} \rightarrow x_g$ (в задаче поиска минимума целевой функции).

По этому критерию предполагается наиболее неблагоприятное стечение обстоятельств. Он гарантирует, что наши затраты не будут больше некоторой величины при любых возможных в будущем условиях.

Критерий Лапласа:

$\max_i Z_i^- = \max_i \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S Z_{is} \rightarrow x_l$ (в задаче поиска максимума целевой функции).

$\min_i Z_i^- = \min_i \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S Z_{is} \rightarrow x_l$ (в задаче поиска минимума целевой функции).

Этот критерий соответствует принципу «недостаточного основания», т.е. предположению, что у нас нет оснований выделять то или иное сочетание информации, поэтому нужно поступать так, как будто они равновероятны.

Критерий Сэвиджа:

$$\min_i R_i^{\max} = \min_i \max_s R_{is} \rightarrow x_c.$$

В соответствии с принятой идеологии выполняем поиск варианта решения с минимальным перерасходом информации из максимальных возможных значений, обусловленных неопределенностью информации.

Критерий Гурвица:

$\max_i [\alpha Z_i^{\min} + (1 - \alpha) Z_i^{\max}] \rightarrow x_e$ (в задаче поиска максимума целевой функции)

$\min_i [\alpha Z_i^{\min} + (1 - \alpha) Z_i^{\max}] \rightarrow x_e$ (в задаче поиска минимума целевой функции).

Это критерий «пессимизма - оптимизма». Он выполняет поиск возможного максимума в линейной комбинации минимальных и максимальных затрат. Необходимо учитывать, что α - показатель пессимизма- оптимизма ($0 < \alpha < 1$). Параметр α должен выбирать сам исследователь, поэтому он не может объективно выяснить наилучший

вариант и снять неопределенность. Можно однозначно говорить, что $\alpha=0$ - вариант крайнего оптимизма, $\alpha=1$ -крайний пессимизм. Принято $\alpha = 0,75$.

Обобщенный критерий:

$\max K_i = \max_i [\alpha_1 Z_i^{\max} + \alpha_2 Z_i^{\min} + \alpha_3 Z_i^- + \alpha_4 R_i^{\max}] \rightarrow x_k$ (поиск максимума целевой функции).

$\min K_i = \min_i [\alpha_1 Z_i^{\max} + \alpha_2 Z_i^{\min} + \alpha_3 Z_i^- + \alpha_4 R_i^{\max}] \rightarrow x_k$ (поиск минимума целевой функции).

В данном варианте используются все характерные оценки. При этом установлено, что где $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1$, $0 \leq \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4 \leq 1$. В зависимости от принятого субъективного значения α возможно получение вариантов решения, благоприятных в свете разных характерных оценок одновременно. Критерий не снимает неопределенности выбора, а, наоборот, увеличивает число рациональных вариантов. В расчета принято: $\alpha_1 = 0,4; \alpha_2 = 0,05; \alpha_3 = 0,5; \alpha_4 = 0,05$.

Состав оптимизируемых параметров (X), которые характеризуют варианты решения и оценочные функции $Z(X,Y)$ полученных по результатам проведенного полнофакторного (построение полиномиальных зависимостей, решение оптимизационной задачи) эксперимента по данным работы ДП №9 ОАО «АМКР» в 2007 году (табл.1). В качества параметра неопределенности (Y) выбран показатель внешних тепловых потерь доменной печи (табл.2).

Таблица 1

Оптимизируемые параметры

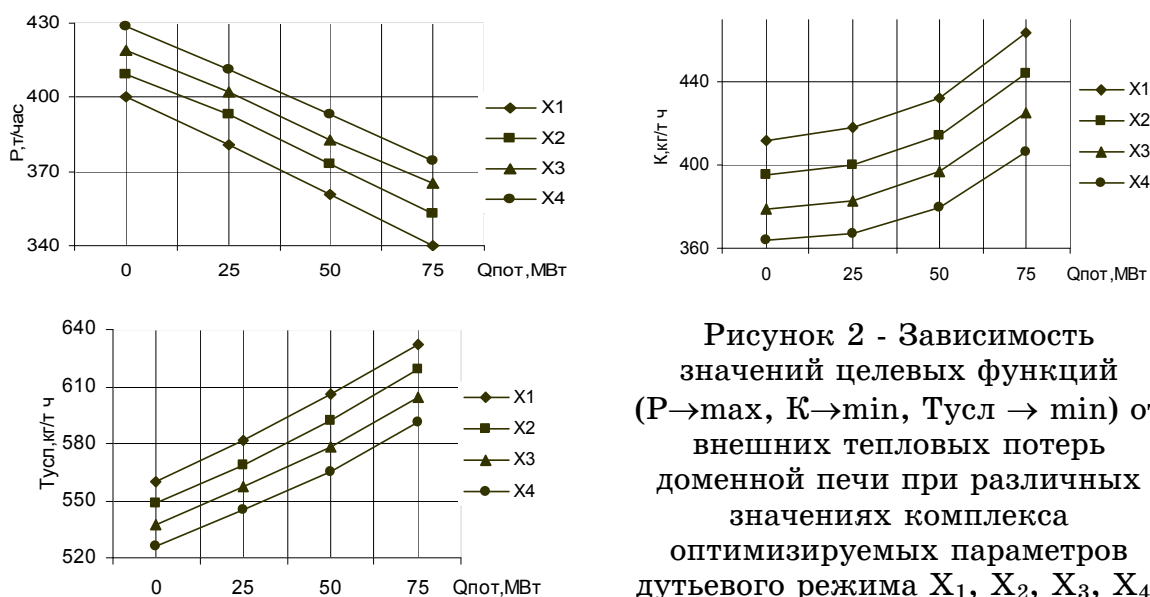
Набор параметров	Варианты решений			
	X1	X2	X3	X4
Тдт, °С	900	1000	1100	1200
O2, %	31	31	31	31
m, д.ед.	0,36	0,36	0,36	0,36

Таблица 2

Исходные данные

Обозначения	Потери, МВт
Y ₁	0
Y ₂	25
Y ₃	50
Y ₄	75

На рис.2 приведены результаты решения оптимизационной задачи в которой параметром неопределенности (Ys) являются внешние тепловых потери рабочего пространства печи (Q_{пот}), а оценочной функцией (Z(X,Y)) - производительность доменной печи (P) и удельные расходы кокса (K) и условного топлива (Т_{усл}).



Результаты оценки по критериям риска возможности использования на практике полученных расчетным путем комплексов оптимальных параметров и состава комбинированного дутья для достижения максимальной производительности, минимального расхода энергоресурсов условиях неопределенности величины тепловых потерь доменной печи приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчет характерных оценок по критериям

Наименование критерия	Числовое значение	Оптимальный вариант
Р→ max, т/час		
Вальда	374	X ₄
Лапласа	402	
Сэвиджа	0	
Гурвица	391	
К→ min, кг/т чугу		
Вальда	406	X ₄
Лапласа	379	
Сэвиджа	0	
Гурвица	396	
Тусл→ min, кг/т чугу		
Вальда	591	X ₄
Лапласа	557	
Сэвиджа	0	
Гурвица	572	

Выполненная оценка результатов расчета с использованием критериев риска показала, что при неопределенных внешних потерях теплоты рабочего пространства печи оптимальным является режим вдувания природного газа с максимальной температурой дутья (комплекс X_4). Эффективность доменной плавки существенно повышается при контроле величины тепловых потерь в АСУ ТП.

Выводы

В условиях неопределенности формализованным путем нельзя определить один вариант, наилучший во всех отношениях. Такое положение является закономерным - неопределенность информации (если она велика) приводит в итоге к неопределенности выбора решений. Формально эта неопределенность проявляется в отсутствии достаточно хорошего (одного) критерия оптимальности.

Возможность потерь (риска и ущерба) в условиях неопределенности неизбежна - она является «платой» за неточное знание предстоящих условий. Необходимо ориентироваться на выявление нескольких рациональных вариантов, окончательный выбор из которых делается человеком. Несмотря на «волевой» окончательный выбор, он не будет «произвольным», если будет делаться среди рациональных (хороших) вариантов, что гарантирует от грубых просчетов.

Авторы благодарны д.т.н. А.В. Бородулину за внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Домна в энергетическом измерении/ А.В. Бородулин, А.Д. Горбунов, В.И. Романенко, Г.И. Орел. - Кривой Рог- 2004, 436 с.
2. Системный подход при управлении развитием электроэнергетики/ Беляев Л.С., Войцеховская Г.В., Савельев В.А. и др.- Новосибирск: Наука, 1980. 238 с.
3. Иваненко В.И., Лабковский В.А. Проблема неопределенности в задачах принятия решений. 1990, 136 с.
4. Решение сложных оптимизационных задач в условиях неопределенности. Беляев Л.С. Новосибирск, «Наука», 1978. 128 с.
5. Теоретические основы системных исследований в энергетике/ А.З. Гамм, А.А. Макаров, Б.Г. Санеев и др.- Новосибирск: Наука, 1986.
6. Макаров И.М., Мелентьев Л.А. Методы исследования и оптимизации энерготехнического хозяйства. Новосибирск, Наука, 1973. 274 с.
7. Оптимизация планирования металлургических процессов. Ред. Гизатуллин. Х.Н. Труды института мат. и мех. Уральск. Науч. Центра. 1976, №16, 120 с.
8. Жуковский В.И., Молостров В.С. Многокритериальная оптимизация модели в условиях неполной информации. 1992, 112 с.

Получено 18.03.2008 г.

УДК 536.24

В.О. Яковенко

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ СИПУЧОСТІ МЕТАЛУРГІЙНОЇ СИРОВИНИ ЕНЕРГІЄЮ МІКРОХВИЛЬОВОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

Аналіз публікацій по темі дослідження

Забезпечення безперебійної подачі різних видів металургійної сировини є однією з найважливіших умов виконання графіка роботи металургійної промисловості. У зимових умовах відбувається змерзання сировини, що транспортується залізничними вагонами. Основною причиною змерзання є підвищена вологість, унаслідок чого утворюється тверда фаза у вигляді льоду [1].

Розморожування сировини у вагонах проводиться в гаражах-тепляках, де передача тепла здійснюється конвекцією при обтіканні стінок газом, а так само радіацією від смолоскипа і розпечених стінок [2].

Актуальним є відновлення сипучості металургійної сировини енергією мікрохвильового електромагнітного поля. Фізичні передумови мікрохвильового відновлення сипучості полягають в тому, що електромагнітна енергія по-різному поглинається різними речовинами [3].

Постановка задачі

Розглянемо нестационарний процес теплообміну при розігріві металургійної сировини в умовах фазового перетворення «тверда фаза – рідка фаза», що виникає під дією мікрохвильового нагріву. Такий процес будемо визначати системою нелінійних диференціальних рівнянь у частинних похідних, яка складається з рівнянь Максвела і рівнянь теплопровідності наступного виду:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial \tau}, \quad \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial \tau}, \quad \operatorname{div} \vec{D} = 0, \quad \operatorname{div} \vec{B} = 0, \quad (1)$$

$$\vec{D} = \varepsilon(t)\vec{E}, \quad \vec{B} = \mu(t)\vec{H}, \quad \vec{j} = \sigma(t)\vec{E}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial(c_i \rho_i t_i)}{\partial \tau} + \vec{V}_i \vec{\nabla} t_i = \operatorname{div}(\lambda_i \vec{\nabla} t_i) + q(t_i, \vec{E}), \quad (3)$$

де $\vec{E}, \vec{H}$ - вектори напруженості електричного та магнітного полів відповідно, $\vec{D}, \vec{B}$ - вектори електричної та магнітної індукції відповідно, $\vec{j}$ - щільність струму провідності, $\varepsilon_i = \varepsilon' - i\varepsilon'' = \varepsilon' - i\sigma/\omega$, μ - абсолютні діелектрична і магнітна проникності матеріалу відповідно, σ - провідність матеріалу, ω - кругова частота, c_i, ρ_i, λ_i - коефіцієнт теплоємності, щільність і коефіцієнт теплопровідності матеріалу, що залежать від температури i -ої фази, $\vec{V}_i$ - вектор швидкості переміщення i -го матеріалу, $\vec{\nabla}$ - оператор Гамільтона, $q = 0,5\omega\varepsilon'tg\delta|\vec{E}|^2$ - питома поглинена потужність, t_i - температура i -го матеріалу, $tg\delta = \varepsilon''/\varepsilon'$ - тангенс кута діелектричних утрат матеріалу.

Наведена система рівнянь доповнюється початковими та граничними умовами, а також умовою на межі розділу «тверда фаза – рідка фаза».

Слід зазначити, що розв'язок наведеної системи рівнянь пов'язаний з труднощами не тільки обчислювального характеру, але й принциповими. Таке твердження ґрунтується на наступному: умови на межі розділу фаз є нелінійними, сформульована модель є багатомірною відносно просторових змінних, електрофізичні параметри матеріалів залежать від температури і є наближеними, алгоритми розв'язку таких задач вимагають обґрунтування та використання необхідних комп'ютерних технологій. Тому слід розглянути спрощену модель процесу, реалізацію якої можна провести методами комп'ютерного моделювання.

Розігрів сипучих вантажів, що містять вологу, мікрохвильовою енергією супроводжується складними процесами тепломасопереносу. Це фазові перетворення рідини, зміна льодистості, вологоперенос, взаємодія парової вологи з кістяком середовища. Крайова задача про нагрівання області кінцевих розмірів з урахуванням кінцевої швидкості поширення тепла, що дозволяє визначити розподіл температур у рідкій і твердій фазах у залежності від частоти електромагнітного поля, а також закон руху фазового перетворення, може бути сформульована в такий спосіб:

- у рідкій фазі:

$$\tau_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial \tau^2} + \frac{\partial T_1}{\partial \tau} = a_1^2 \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} + \frac{\alpha \bar{E}^2}{c \rho_1}, \quad (4)$$

$$T_1(0, z) = T_C, \quad \left. \frac{\partial T_1}{\partial \tau} \right|_{\tau=0} = 0, \quad (5)$$

$$T_1(\tau, 0) = T_C, \quad T_1(\tau, \xi) = T_\Phi; \quad (6)$$

- у твердій фазі:

$$\tau_1 \frac{\partial^2 T_2}{\partial \tau^2} + \frac{\partial T_2}{\partial \tau} = a_2^2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2}, \quad (7)$$

$$T_2(0, z) = T_0, \quad \left. \frac{\partial T_2}{\partial \tau} \right|_{\tau=0} = 0, \quad (8)$$

$$T_2(\tau, 1) = T_0, \quad T_2(\tau, \xi) = T_\Phi. \quad (9)$$

Умова Стефана на ізотермічній границі розподілу фаз має вигляд [4]:

$$q_1[\tau, \xi(\tau)] - q_2[\tau, \xi(\tau)] = L \rho_1 \frac{d\xi}{d\tau}. \quad (10)$$

Зв'язок між температурним і електромагнітним полем при нестационарному процесі взаємодії електромагнітної хвилі з матеріалом, можна визначити, використовуючи рівняння [5]:

$$\frac{d\bar{T}}{d\tau} = \Omega_2 f \bar{E}^2. \quad (11)$$

Вектор теплового потоку можна представити у вигляді [4]:

$$\vec{q} = -\frac{\lambda}{\tau_1} \int_0^\tau \nabla T \exp\left[-\frac{(\tau - \eta)}{\tau_1}\right] d\eta, \quad (12)$$

де τ_1 – час температурної релаксації.

Розв'язок задачі

Рівняння (10) з урахуванням залежності (12) можна представити у вигляді:

$$\lambda_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial z} \right|_{z=\xi(\tau)} - \lambda_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial z} \right|_{z=\xi(\tau)} = L \rho \left(u \frac{d^2 \xi}{d\tau^2} + \frac{d\xi}{d\tau} \right), \quad (13)$$

де $\xi(0) = \xi_0, \quad (d\xi/d\tau)_{\tau=0} = 0$.

Дотримуючись методу, який викладено в [6], уведемо нові функції:

$$\mathcal{G}_1(z, \tau) = T_1(z, \tau) - T_C - (T_\Phi - T_C) \frac{z}{\xi(\tau)}, \quad (14)$$

$$\mathcal{G}_2(z, \tau) = T_2(z, \tau) - T_\Phi - (T_0 - T_\Phi) \frac{z - \xi(\tau)}{l - \xi(\tau)}, \quad (15)$$

для яких граничні умови перетворюються до однорідних.

Для функцій розподілу температур у твердій фазі, утвореного розплавлення льоду і рухливої границі відповідно: $\vartheta_1(z, \tau)$, $\vartheta_2(z, \tau)$, $\xi(\tau)$, отримані наступні співвідношення:

$$T_1(z, \tau) = T_c + (T_\phi - T_c) \frac{z}{\xi(\tau)} + \frac{2}{\xi(\tau)} \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n(\tau) \sin \frac{n\pi}{\xi} z, \quad (16)$$

$$T_2(z, \tau) = T_\phi + (T_0 - T_\phi) \frac{z - \xi(\tau)}{l - \xi(\tau)} + \frac{2}{l - \xi(\tau)} \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n(\tau) \sin \frac{n\pi [z - \xi(\tau)]}{l - \xi(\tau)}, \quad (17)$$

де

$$\vartheta_1(z, \tau) = \frac{2}{\xi(\tau)} \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n(\tau) \sin \frac{n\pi}{\xi} z, \quad (18)$$

$$\vartheta_2(z, \tau) = \frac{2}{l - \xi(\tau)} \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n(\tau) \sin \frac{n\pi [z - \xi(\tau)]}{l - \xi(\tau)}, \quad (19)$$

де $\alpha_n(\tau)$ та $\beta_n(\tau)$ - визначаються із системи звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{aligned} \tau_1 \frac{d^2 \alpha_n}{d\tau^2} + \frac{d\alpha_n}{d\tau} + \left(\frac{n\pi a_1}{\xi} \right)^2 \alpha_n = & \frac{\dot{\xi}}{2\xi} \sum_{m=1}^{\infty} \gamma_{nm} \alpha_m + \frac{\tau_1 \dot{\xi}^2}{\xi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \gamma_{nm} \alpha_m + \\ & + \frac{\tau_1 \dot{\xi}}{\xi} \sum_{m=1}^{\infty} \gamma_{nm} \frac{d\alpha_m}{d\tau} + \frac{\tau_1 \xi}{2} \left(\frac{\ddot{\xi}}{\xi^2} - \frac{2\dot{\xi}^2}{\xi^3} \right) \sum_{m=1}^{\infty} \gamma_{nm} \alpha_m + \frac{2\tau_1 \dot{\xi}^2}{\xi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \Delta_{nm} \alpha_m + \\ & + \frac{(-1)^{n+1} (T_\phi - T_c)}{n\pi} \left[\dot{\xi} + \frac{\tau_1 (\ddot{\xi} - 2\dot{\xi}^2)}{\xi} \right] + \int_0^\xi \frac{\alpha \bar{E}^2}{c\rho_1} \sin \frac{n\pi}{\xi} z dz; \end{aligned} \quad (20)$$

$$\alpha_n(0) = \frac{(-1)^{n+1} (T_c - T_\phi)}{n\pi} \xi_0, \quad \left. \frac{d\alpha_n}{d\tau} \right|_{\tau=0} = 0 \quad (21)$$

$$\gamma_{nm} = 1, \quad \Delta_{nm} = \frac{2m\pi^2 - 3}{12}, \quad m = n \quad (22)$$

$$\gamma_{nm} = \frac{4(-1)^{n+m} mn}{m^2 - n^2}, \quad \Delta_{mn} = \frac{4(-1)^{m+n} mn^3}{(m^2 - n^2)^2}, \quad m \neq n \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \tau_1 \frac{d^2 \beta_n}{d\tau^2} + \frac{d\beta_n}{d\tau} + \left(\frac{n\pi a_2}{l - \xi} \right)^2 \beta_n = & \frac{\dot{\xi}}{2(l - \xi)} \sum_{m=1}^{\infty} \Omega_{nm} \beta_m + \\ & + \frac{\dot{\xi}(l - \dot{\xi})}{(l - \xi)^2} \tau_2 \sum_{m=1}^{\infty} \delta_{nm} \beta_m + \frac{\tau_1 \dot{\xi}}{l - \xi} \sum_{m=1}^{\infty} \delta_{nm} \frac{d\beta_m}{d\tau} + \frac{\tau_2 [2\dot{\xi}^2 + \xi(l - \xi)]}{(l - \xi)^2} \sum_{m=1}^{\infty} \Omega_{nm} \beta_m + \\ & + \frac{\tau_1 \dot{\xi}^2}{(l - \xi)^2} \sum_{m=1}^{\infty} \omega_{nm} \beta_m + \frac{T_0 - T_\phi}{n\pi} \left[\dot{\xi} + \frac{\tau_2 (\dot{\xi}(l - \xi) + 2\dot{\xi}^2)}{l - \xi} \right]; \end{aligned} \quad (24)$$

$$\beta_n(0) = \frac{(T_0 - T_\phi)(l - \xi_0)}{n\pi}, \quad \left. \frac{d\beta_n}{d\tau} \right|_{\tau=0} = 0 \quad (25)$$

$$\Omega_{nm} = -1, \delta_{nm} = \Omega_{nm}, \omega_{nm} = -\frac{1}{6}(8\pi^2 m^2 - 3), n = m \quad (26)$$

$$\Omega_{nm} = -\frac{4nm}{m^2 - n^2}, \delta_{nm} = 2\Omega_{nm}, \omega_{nm} = -\frac{8mn^3}{(m^2 - n^2)^2}, n \neq m. \quad (27)$$

Тоді співвідношення на границі розподілу фаз з урахуванням залежностей для $T_1(z, \tau)$ і $T_2(z, \tau)$, а так само рівняння (11) приймає вид [7]:

$$\begin{aligned} u \frac{d^2 \xi}{d\tau^2} + \frac{d\xi}{d\tau} + \frac{1}{L\rho} \left[\frac{\lambda_2(T_\Phi - T_O)}{l - \xi} + \frac{\lambda_1(T_\Phi - T_C)}{\xi} \right] + \\ + \frac{2\lambda_1\pi}{\xi^2} \sum_{n=1}^{\infty} n(-1)^n \alpha_n - \frac{2\lambda_2\pi}{(l - \xi)^2} \sum_{n=1}^{\infty} n\beta_n = 0; \\ \xi(0) = \xi_0, \dot{\xi}(0) = 0. \end{aligned} \quad (28)$$

Якщо закон руху границі розподілу фаз задається на основі тих або інших фізичних розумінь, то системи диференціальних рівнянь будуть лінійними. Слід зазначити, що при $\tau_1 \rightarrow 0$ отримані результати прагнуть до відповідних результатів задачі Стефана, що ґрунтується на теорії Фур'є.

Нагадаємо, що в дійсності мікрохвильова енергія в матеріалі загасає. Це приводить до виникнення розподілених джерел тепла, щільність яких є експериментально заданою функцією S координат і часу [5]. Для цього випадку мікрохвильового нагрівання рівняння (4) прийме вид:

$$\tau_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial \tau^2} + \frac{\partial T_1}{\partial \tau} = a_1^2 \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} + \frac{S}{c\rho_1}, \quad (29)$$

а умова зв'язку температурного і мікрохвильового електромагнітного поля прийме вигляд:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \Omega_2 f \vec{E}^2, \quad (30)$$

яке дає можливість визначити шукану робочу частоту, що відповідає заданій функції S :

$$\begin{aligned} -\frac{(T_\Phi - T_C)\dot{\xi}}{\xi^2} - \frac{2\dot{\xi}}{\xi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n(\tau) \sin \frac{n\pi}{\xi} z + \\ + \frac{2}{\xi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{d\alpha_n}{d\tau} \sin \frac{n\pi}{\xi} z - \frac{2\pi\dot{\xi}}{\xi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n n z \cos \frac{n\pi}{\xi} z = \Omega_2 \vec{E}^2 f. \end{aligned} \quad (31)$$

Висновок

В роботі запропонована математична модель відновлення сипучості металургійної сировини енергією мікрохвильового електромагнітного поля з урахуванням фазових перетворень. Отримані співвідношення для розподілу температур у твердій і рідкій фазах, закон руху межі фазового перетворення, а також співвідношення для визначення робочої частоти мікрохвильового електромагнітного поля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кожевников Н.Н., Попов В.И. Прогнозирование процессов промерзания в сыпучих материалах при железнодорожных перевозках. – Новосибирск: Наука, 1978. – 104 с.
2. Приходько А.А., Голуб В.Г., Бойко В.Н., Вильтовский А.В. Математическое моделирование и экспериментальное исследование размораживания пористых сред // Тепломассообмен - ММФ-96. Тепломассообмен в капиллярно-пористых телах. – Минск: АНК „ИТМО им. А.В. Лыкова” АНБ, 1996. – Т. VII. – С. 50 – 54.
3. Линник Ю.М. Основы разупрочнения мерзлых пород СВЧ - полями. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. – 212 с.
4. Лыков А.В. Теплообмен. – М.: Энергия, 1971. – 560 с.
5. Пюшнер Г. Нагрев энергией сверхвысоких частот. Пер. с англ.– М.: Энергия, 1968. – 175 с.
6. Яковенко В.О. Моделювання теплообміну при збудженні в матеріалі надвисокочастотного поля. Методи розв’язування прикладних задач механіки деформівного твердого тіла // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 7. – С. 163 – 168.
7. Яковенко В.О. Моделювання надвисокочастотного нагрівання матеріала в умовах перевидбиття плоскої електромагнітної хвилі // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 5/2007 (46), частина 1. – С. 55 – 57.

Получено 04.03.2008 г.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 007.001.362

Н.Г. Аксак, И.В. Новосельцев, А.С. Солдатов

АДАПТАЦИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ НА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ОБЩЕЙ ПАМЯТЬЮ

Введение

В настоящее время в машиностроении все больше функций управления и контроля, которые раньше выполнялись человеком, переключаются на автоматические системы управления. Необходимым этапом создания систем управления нелинейными динамическими объектами является построение адекватных математических моделей. Наиболее широкое распространение получили параметрические модели. Несмотря на огромное количество работ в этой области, многообразие видов нелинейности не позволяет создать единую теорию идентификации нелинейных систем. Поэтому область применения классических подходов к построению систем управления нелинейными динамическими объектами ограничена.

Альтернативой классическим методам являются системы управления, основанные на нейронных сетях [1]. Нейросетевой подход, сочетающий в себе способность компьютера к обработке чисел и способность мозга к обобщению и распознаванию, особенно эффективен в задачах распознавания и диагностики. Сдерживающим фактором широкого применения нейросетевых алгоритмов является то, что реализации нейронных сетей ресурсоемки, особенно когда речь идет о классификации изображений, а время обучения очень велико.

С переходом компьютерной индустрии на многоядерные архитектуры, появилась возможность увеличить производительность нейронных сетей за счет распараллеливания однотипных операций. Для эффективного использования вычислительных возможностей высокопроизводительных систем требуется разработка методик

распараллеливания, на основе которых может осуществляться реализация нейронных сетей.

Постановка задачи

Для всех нейронных сетей (НС) присущ принцип параллельной обработки сигналов. Параллелизм выражается в том, что одновременно обрабатывается большое число цепочек нейронов, но программные модели нейронных сетей на традиционных компьютерах лишены свойства высокого параллелизма мозга.

Вследствие того, что в настоящий момент отсутствуют универсальные методики и рекомендации по адаптации нейросетевых моделей на системы с общей памятью, возникает необходимость разработки и исследования методов и подходов, позволяющих решить поставленные задачи с учетом особенностей конкретной предметной области.

Основной раздел

В данной работе предлагается адаптация моделей пересептронного типа (рис.1) на высокопроизводительные системы с общей памятью.

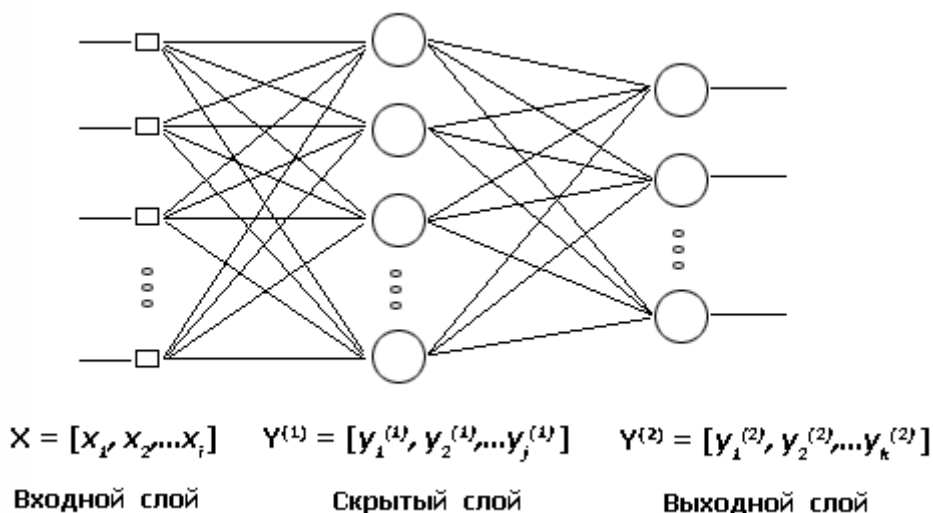


Рисунок 1 - Архитектура многослойного персептрона

Функционирование нейрона определяется следующим соотношением

$$y_m^{(L)}(t) = \varphi \left(\sum_{n=1}^i w_{nm}^{(L)}(t) y_n^{(L-1)}(t) + b_m^{(L)} \right)$$

где $w_{nm}^{(L)}$ - синаптический вес связи n -го нейрона слоя $L-1$ с m -ым нейроном слоя L , $b_m^{(L)}$ - порог m -ого нейрона, $\varphi(\bullet)$ - функция активации нейрона.

При обучении нейронных сетей наиболее ресурсоемкими являются операции умножения матрицы на вектор.

Реализация вычисления нейронов на однопроцессорных системах

На однопроцессорной системе вычисление нейронов каждого слоя осуществляется последовательно. Сначала производятся вычисления вектора скрытого слоя, что представляет собой последовательные вычисления $y_1^{(1)}$, $y_2^{(1)}$, $y_j^{(1)}$, затем аналогично вычисляются значения выходного слоя. Такие операции требуют больших временных затрат.

Таким образом, реализация нейронной сети представляет собой циклы вычисления нейронов. Для прямого прохода по НС достаточно двух циклов, в каждом из которых производятся вычисления нейронов соответствующих слоев.

На рисунке 2-а представлен граф алгоритма последовательного вычисления нейронов на однопроцессорной системе в процессе прямого прохода по НС.

Адаптация вычисления нейронов многослойного персептрона на многопроцессорных системах с общей памятью с помощью технологии OpenMP

Технология OpenMP является средством программирования компьютеров с общей памятью, базирующихся на традиционных языках программирования. За основу берется последовательная программа. В OpenMP любой процесс состоит из нескольких нитей управления, которые имеют общее адресное пространство, но разные потоки команд и отдельные стеки [2].

На рисунке 2-б представлен граф алгоритма реализации нейронной сети на четырехядерной системе с помощью технологии OpenMP.

Модель производительности параллельного алгоритма [3] реализации НС основана на двух параметрах:

1. Ускорение $S_p = T_1 / T_p$, где T_1, T_p - время выполнения параллельного алгоритма на одном и p ядрах соответственно;

2. Эффективность $\varepsilon = S_p / p$, определяющая реальную выгоду от использования многоядерных систем по сравнению с однопроцессорными.

Как видно из графа, на четырехядерной системе, происходит параллельное вычисление четырех нейронов, что уменьшает общее время прямого прохода при обучении. При количестве процессорных элементов равном количеству нейронов в каждом слое достигается максимальная производительность.

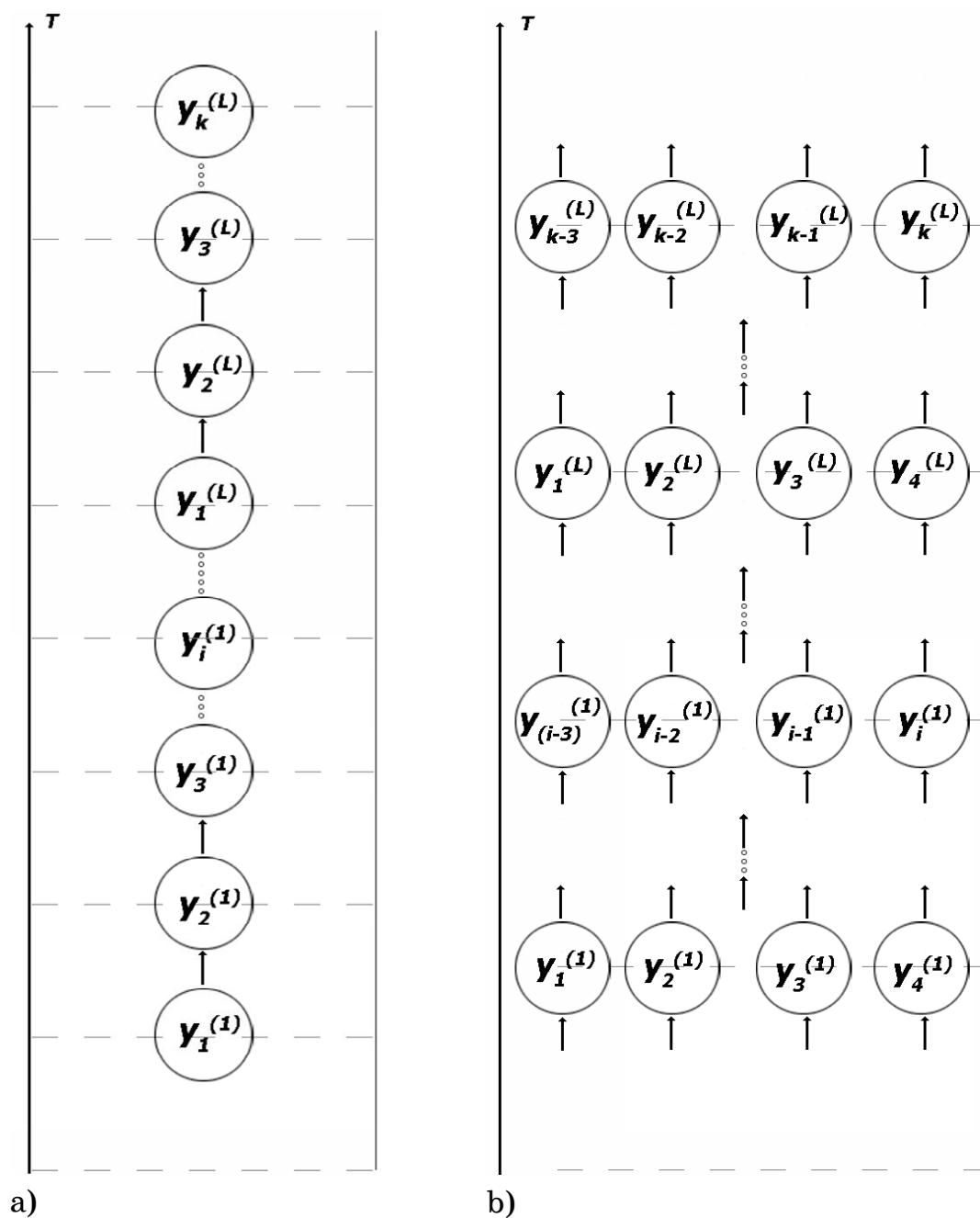


Рисунок 2 – Граф вычисления многослойного персептрона на однопроцессорной а) и на многоядерной системе б)

В общем случае для адаптации на мультиядерной системе предлагается использовать метод «Программирования задачами» - вычисление нейронов путем деления нейромодели на n -частей, где n - количество ядер. На рисунке 3 изображено отображение нейронов скрытого слоя на n -ядерную вычислительную систему

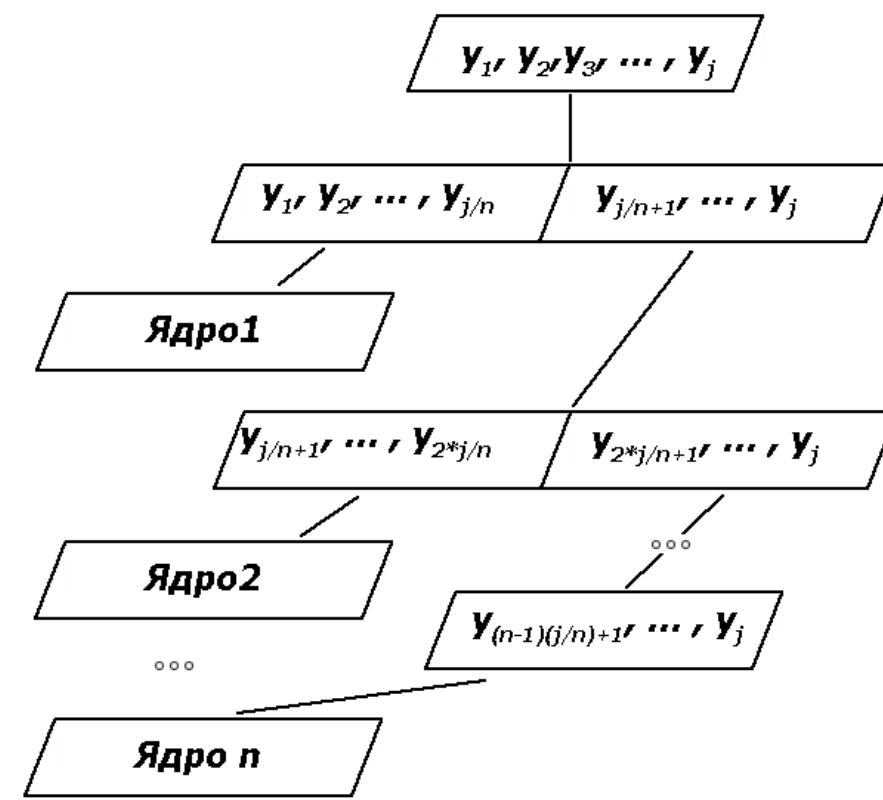


Рисунок 3 - Декомпозиция вычисления нейронов на многоядерной системе

Выводы

В работе предложен метод адаптации моделей персептронного типа на многоядерные вычислительные системы на основе стандарта OpenMP. Адаптация многослойного персептрона на двухядерном процессоре позволяет увеличить производительность в 1,87 раз и в 3,8 раз на четырехядерном процессоре.

Применение данных методик позволит значительно повысить производительность нейросетевых моделей в системах управления нелинейными динамическими объектами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи.- М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 94с.

2. Shameem Akhter, Jason Roberts. Multi-Core Programming. Increasing Performance through Software Multi-threading - ISBN 0-9764832-4-6, 2006.
3. Бухановский А.В., Иванов С.В. Проектирование прикладного математического обеспечения параллельной обработки данных: Учебные материалы Зимней школы- практикума «Технологии параллельного программирования 2006». – Санкт-Петербург – Нижний Новгород, 2006

Получено 11.03.2008 г.

УДК 519.876.5:004.81

О.В. Бісікало

КОНСТРУЮВАННЯ ОБРАЗУ-РІШЕННЯ ДЛЯ МОДЕЛІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ

Постановка проблеми

Вражаючі успіхи в ефективному керуванні надскладними технічними системами не змінюють статус класичної теорії управління як формалізованого розв’язку часткової задачі з природної множини задач асоціативного образного мислення. Парадокс полягає в тому, що принципові відхилення від формальної схеми відразу призводять до недієздатності моделі управління, а образне мислення людини без жодних складних розрахунків знаходить прийнятний вихід з проблемної ситуації.

Аналіз публікацій за темою дослідження

Зазвичай з метою розв’язання нештатних виробничих ситуацій в контур управління вводять людину (людино-машинні системи [1]) або інтелектуальних агентів (багатоагентні системи [2]). В таких моделях інтелектуальна складова суттєво обмежена з функціональної точки зору, а надійність та безвідмовність системи мають ймовірнісний характер.

Моделювання логічного мислення людини та природних баз знань забезпечують на основі використання експертних систем, СППР, САПР [3]. Багатокритеріальний вибір рішення за допомогою експертних оцінок можна вважати підкласом такого напрямку [4]. Практична реалізація даного підходу показала його доцільність у вузьких предметних областях і значну складність при спробах підвищити ступень універсальності моделі.

Предметом формалізації також стають певні мнемонічні процеси, властиві людині. Хоча моделювання асоціативного образного мислення як природного способу отримання рішень для управління має натепер скоріше концептуальний характер [5], пропонуються алгебраїчні моделі образного механізму оперативної пам’яті людини [6]. Проте поки що не показано, яким чином можна отримати та деталізувати образ-рішення проблемної ситуації на основі

застосування асоціативних операцій до ансамблю образів (АО) та моделювання орієнтувального рефлексу людини.

Формулювання цілей статті

До природних задач оперативної пам'яті можна віднести узагальнення певної інформації в єдине ціле. В термінах образного мислення базова операція синтезу забезпечує за Виготським [7] вплив (влиття) сенсу синтагми *Bi-Sy* або АО в один образ, наприклад, «пшеница, которая в темном чулане хранится в доме, который построил Джек».

Покажемо принципову можливість конструювання образу-рішення в межах моделі механізму оперативної пам'яті [6]: якщо попередньо N образів-претендентів вже відібрано в стек пам'яті *Check-Set*, необхідно остаточно визначити складові вектору емоцій *Vector-Set* та вибрати один образ з N . Тоді формальною постановкою задачі конструювання образу-рішення можна вважати:

$$Check - Set, Vector - Set \rightarrow Focus - Bi \mid Focus - Weight = \underset{i \in N}{Max(Weight_i)}, \quad (1)$$

де *Focus-Bi* – бінарний код образу у фокусі уваги;

Focus -Weight – вага асоціативних зв'язків образу у фокусі уваги з образами-складовими вектору емоцій *Vector-Set*;

Weight_i – вага асоціативних зв'язків i -го образу АО з образами *Vector-Set*.

Алгоритм конструювання образу-рішення

Формально синтез або конструювання образу-рішення можна представити у вигляді оператора *InsertZX*, що відповідає одному з типів образного пошуку узагальненої класифікації з [8]. В якості головного джерела інформації для моделі виступають події, які призводять до виникнення проблемної ситуації та характеризують її. Передбачається попереднє внесення в пам'ять системи управління текстів з описом відповідних подій на основі спільного словника образів, що забезпечує накопичення синтагматичних асоціативних зв'язків між образами.

Пропонується такий алгоритм пошуку за типом стек – АО – образ: попередньо відібрані в стек потенційні образи-рішення переносяться в АО, потім образи-складові вектору емоцій міняються місцями з образами АО з метою деталізації кінцевого рішення, а далі

запускається модель механізму оперативної пам'яті [6] з можливим залученням інсайтного пошуку *Find-1* узагальненої класифікації [8].

Введемо згідно з [9] наступні позначення:

$Bi-Vector_i$ – бінарний код i -го образу вектору емоцій *Vector-Set*;

$Bi-OM$ – бінарний код АО оперативної пам'яті.

Додамо до моделі [6] формальні операції і предикати на булеані, які відповідають поставленій задачі:

1. Операція пошуку i -ї одиниці *Seek"1"* в бінарному коді $Bi-OM$ та предикат *End-Bi*, який істинний тоді, коли ще не переглянуто всі розряди бінарного коду

$$Bi-OM \xrightarrow{Seek"1"(i)} k, \quad (2)$$

$$i \leq n \rightarrow End-Bi, \quad (3)$$

де i – номер образу в АО оперативної пам'яті;

k – номер одиничного розряду бінарного коду, що відповідає i -му образу АО;

n – кількість одиниць у бінарному коді (обсяг оперативної пам'яті);

2. Операція *New-OM* перенесення образів-складових вектору емоцій *Vector-Set* в АО оперативної пам'яті:

$$\bigcup_{i=1}^n Bi-Vector_i \xrightarrow{New-OM} Bi-OM; \quad (4)$$

3. Операція *New-Vector* занесення до вектору емоцій *Vector-Set* значень з стеку *Choice-Set*:

$$Choice-Set \xrightarrow{New-Vector} Vector-Set; \quad (5)$$

4. Операція *New-Choice* занесення до стеку *Choice-Set* образів з АО оперативної пам'яті:

$$Bi-OM \xrightarrow{New-Choice} Choice-Set. \quad (6)$$

В граф-схемах для алгебраїчних конструктів задіємо такі позначення операторів структурного програмування [10]:

Do – цикл за параметром або за умовою;

$*$ – композиція.

Пропонується розв'язок задачі (1) на основі наступних складових операторів.

Оператор декомпозиції *Pyramid-Images* бінарного коду $Bi-OM$ на коди образів-складових представлено на рис.1. В результаті дії оператору за відомим кодом $Bi-OM$ визначаються коди образів, що входять до складу АО. З цією метою організується цикл по довжині коду $Bi-OM$, якщо знаходиться одиниця, то до списку образів

додається ще один елемент з одиницею саме на цій позиції та нулями на всіх інших (цикл обмежується кількістю одиниць n в бінарному коді $Bi-OM$):

$$Pyramid - Images ::= 0 \rightarrow i * \{ [End - Bi] \} (i + 1 \rightarrow i * \\ Seek "1" _i \rightarrow k * Conc "0" _{j=1}^{k-1} + "1" + Conc "0" _{j=k+1}^n \rightarrow Bi - I_i) \} \quad , \quad (7)$$

де $Bi-I_i$ –бінарний код i -го образу в АО оперативної пам'яті;
 $Conc "0"$ – конкатенація символів “0” в розряди бінарного коду.

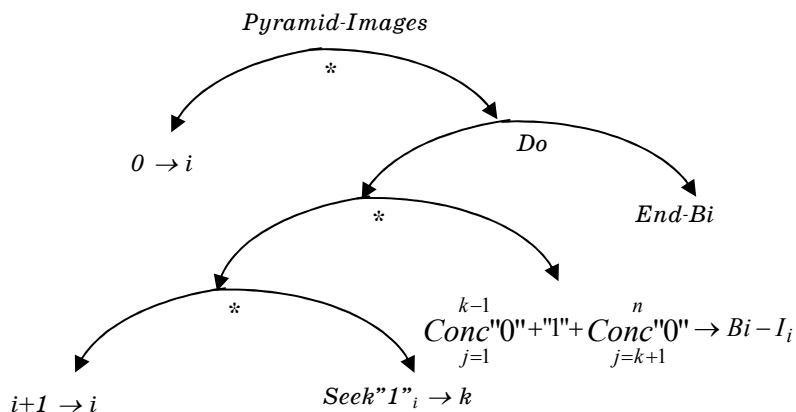


Рисунок 1 - Граф-схема оператора *Pyramid-Images*.

Оператор *OM-Change-Vector* (рис.2) моделює запуск механізму конструювання образу-рішення – послідовно виконуються операції *New-Choice*, *New-OM* та *New-Vector*:

$$New - Change - Vector ::= New - Choice * New - OM * New - Vector . \quad (8)$$

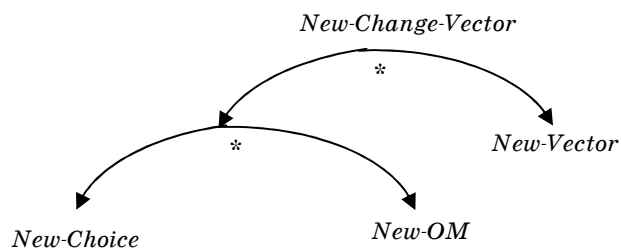


Рисунок 2 - Граф-схема оператора *OM-Change-Vector*

Оператор конструювання образу-рішення *InsertZX* (рис.3) запускає відповідний механізм *OM-Change-Vector* та подає його результати на вхід моделі орієнтувального рефлексу *Orient-Reflect* [6]

$$InsertZX ::= OM - Change - Vector * Orient - Re flect . \quad (9)$$

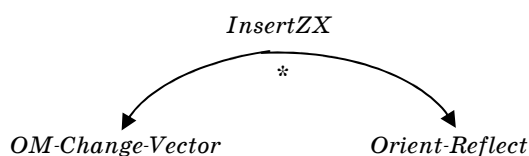


Рисунок 3 - Граф-схема оператора *InsertZX*

Алгоритм конструювання образу-рішення в межах моделі орієнтувального рефлексу [6] за допомогою алгебраїчних операторів (2)-(9) програмно реалізовано на основі технології DrScheme + SQLite, яка поєднує можливості мов Lisp та SQL.

Висновки й перспективи подальших досліджень

На основі формального погляду на такі відомі феномени, як ансамбль образів, вектор емоцій, фокус уваги, орієнтувальний рефлекс показано можливість конструювання образу-рішення проблемної ситуації на виробництві. Запропонований підхід моделює природне асоціативне мислення на рівні оперативної пам'яті людини. Основним джерелом інформації для моделі служить синтагматичний опис подій, що власне складають проблемну ситуацію.

Перспективним для подальшого дослідження можна вважати побудову моделей інсайту та накопичення парадигматичних зв'язків між образами з метою посилення механізму асоціативного обміну образами в оперативної пам'яті людини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии / Поспелов Г.С. – М.: Наука, 1988. – 280 с., ил.
2. Капитонова Ю.В., Скурихин В.И. О некоторых тенденциях развития и проблемах искусственного интеллекта // Кибернетика и системный анализ. – 1999, №1 – с.43-50.
3. Искусственный интеллект: В 3-х кн. Кн.1. Системы общения и экспертные системы: Справочник / Под ред. Э. В. Попова. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
4. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 199 с., ил.
5. Валькман Ю.Р., Исмагилова Л.Р. О языке образного мышления: Доклады международной конференции «Диалог 2004». – с.90-97.
6. Бисикало О.В. Подход к моделированию образного механизма оперативной памяти. В сборнике трудов Второй международной конференции «Новые информационные технологии в образовании для всех: состояние и перспективы развития» 21-23 ноября 2007 г». – Киев, 2007. – с. 336-344.
7. Лурия А.Р. Язык и сознание. Под редакцией Е.Д.Хомской. – М., Издательство Московского университета, 1979. – 320 с.
8. Бісікало О.В. Класифікація образного пошуку. В збірнику «Тези доповідей Першої міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні системи в промисловості і освіті – 2007» 7-9 листопада 2007 року». – Суми, 2007. с.14-15.

9. Бісікало О.В. Структура блоку пам'яті на основі моделі образного мислення людини // Искусственный интеллект – 2007.–№ 3.–с.461-468.
- 10.Цейтлин Г.Е. Введение в алгоритмику. – Киев, издательство “Сфера”, 1998. – 310 с.

Получено 11.03.2008 г.

UDC 519.7:007.52

Ye. Bodyanskiy, O.Vynokurova

**ROBUST LEARNING ALGORITHM FOR WAVELET-NEURAL-
FUZZY NETWORK BASED ON POLYWOG WAVELET****Introduction**

Nowadays artificial neural networks (ANN) have gained the significant prevalence for solving the wide class of the information processing problems, uppermost for the identification, emulation, intelligence control, time series forecasting of arbitrary kind under significant noise level, and also the structural and parametric uncertainty. The multilayer feedforward networks of three-layer perceptron type are the most known and popular. The efficiency of the multilayer networks is explained by their universal approximation properties in combination with relative compact presentation of the simulated nonlinear system. The principal disadvantage of the multilayer networks is the low learning rate which is based on backpropagation algorithm which makes their application in the real time tasks impossible. Alternative to the multilayer ANN are the radial basis function networks (RBFN), having one hidden layer [1-7]. The principal advantage of RBFN is the high learning rate in the output layer, because the turning parameters are linearly included to the network description. At the same time the problem of neurons centers allocation is remaining, and its unsuccessful solving leads to the «curse of dimensionality» problem.

Along with neural networks for the arbitrary type signals processing, in the last years the wavelet theory is used sufficiently often [8], providing the compact local signal presentation both in the frequency and time domains. At the turn of the artificial neural network and wavelets theories the wavelet neural networks [9-12] have evolved their efficiency for the analysis of nonstationary nonlinear signals and processes. Elementary nodes of the wavelet neural networks are so-called radial wavelons. The receptive fields for such wavelons are hyperellipsoids with axes which are collinear to coordinate axes of the space X .

Taking into consideration the equivalence of radial basis ANN and fuzzy inference systems [13], and also possibility of using even wavelet as a membership function [14], within the bounds of the unification paradigm [15] we can talk about such hybrid system as Radial-Basis-Function-Wavelet-Neuro-Fuzzy Network (RBFWNFN) having the radial-basis function network fast learning ability, fuzzy inferences systems interpretability and wavelet's local properties.

Mostly tuning algorithms based on square learning criteria and in the case of the processing data being contaminated by outliers with unknown distribution law, have shown themselves very sensitive to anomalous outliers. Thus the actual task is a synthesis of the robust learning algorithms that allow signal processing in presence of anomalous outliers.

This paper is devoted to synthesis of robust learning algorithm RBFWNN, which has adjustable level of insensitivity to the different kind of outliers, rough errors, non-Gaussian disturbances, has high convergence rate and provides the advanced approximation properties in comparison with conventional computational intelligence systems.

1. Radial-basis-fuzzy-wavelet-neural-network architecture

Let us consider the two-layers architecture that coincides with the traditional radial-basis neural network. The input layer of the architecture is the receptor and in current time instant k the input signal in vector form $x(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k))^T$ is fed on it. Unlike radial basis function network the hidden layer consists of not by R -neurons, but by wavelons with wavelet activation function in form

$$\varphi_j(x(k)) = \varphi_j\left((x(k) - c_j)^T Q_j^{-1}(x(k) - c_j)\right), \quad j = 1, 2, \dots, h, \quad (1)$$

in which the positive-definite dilation matrix Q_j is used, i.e. it is Itakura-Saito metric. This results to the fact that receptive field – wavelons hyperellipsoids can have the arbitrary orientation relatively to the coordinate axes of space X , what extends the functional properties of RBFWNN.

And at last, the output layer is the common adaptive linear associator with tuning synaptic weights w_j :

$$\mathfrak{f}(k) = w_0 + \sum_{j=1}^h w_j \varphi_j\left((x(k) - c_j)^T Q_j^{-1}(x(k) - c_j)\right) = w^T \varphi(x(k)), \quad (2)$$

where $\varphi_0(x(k)) \equiv 1$, $w = (w_0, w_1, w_2, \dots, w_h)^T$, $\varphi(x(k)) = (1, \varphi_1(x(k)), \varphi_2(x(k)), \dots, \varphi_h(x(k)))^T$.

2. The robust learning algorithm for RBFWNFN

The experience shows that the identification methods based on the least square criterion are extremely sensitive to the deviation of real data distribution law from Gaussian distribution. In presence of various outliers, an outrage errors, and non-Gaussian disturbance with “heavy tails” the methods based on the least square criterion loose their efficiency. In this case the methods of robust estimation [16] which can be used too for the learning of the artificial neural networks [17, 18] appear on the first role.

Introducing into the consideration the learning error

$$e(k) = y(k) - \hat{y}(k) = y(k) - w^T(k)\varphi(k) \quad (3)$$

and robust identification criterion by R. Welsh [19, 20]

$$E(k) = f(k) = \beta^2 \ln(\cosh(e(k)/\beta)), \quad (4)$$

where β is a positive parameter, that is chosen from empirical reasons and defining the size of zone of tolerance to outliers. It is necessary to note, that robust criterion (4) satisfies to the metric space axioms.

Further we shall consider synthesis of the learning algorithms. For the synaptic weights and the waveleon parameters (vectors c_j and matrices Q_j^{-1}) tuning we use gradient minimization of criterion (4), thus unlike the component-wise learning considered in [7], we shall make some correction in the vector-matrix form, that, firstly is easier from computing point of view, and secondly it will allow to optimize learning process on the operation rate.

For arbitrary wavelet $\varphi((x(k) - c_j)^T Q_j^{-1}(x(k) - c_j))$ we can write

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla_w E(k) = -\beta \tanh(e(k)/\beta) \varphi_j((x(k) - c_j(k))^T Q_j^{-1}(k)(x(k) - c_j(k))) = \\ = -\tanh(e(k)/\beta) J_w(k), \\ \nabla_{c_j} E(k) = \beta \tanh(e(k)/\beta) w_j(k) \varphi_j'((x(k) - c_j(k))^T Q_j^{-1}(k)(x(k) - c_j(k))) \cdot \\ \cdot Q_j^{-1}(k)(x(k) - c_j(k)) = \tanh(e(k)/\beta) J_{c_j}(k), \\ \left\{ \partial E(k) / \partial Q_j^{-1} \right\} = -\beta \tanh(e(k)/\beta) w_j(k) \varphi_j'((x(k) - c_j(k))^T Q_j^{-1}(k) \cdot \\ \cdot (x(k) - c_j(k))) (x(k) - c_j(k)) (x(k) - c_j(k))^T = -\tanh(e(k)/\beta) J_{Q_j^{-1}}(k), \end{array} \right. \quad (5)$$

where $\nabla_w E$ is vector-gradient of the criterion (4) on w , $\nabla_{c_j} E$ is $(n \times 1)$ -vector-gradient on c_j ; $\left\{ \partial E(k) / \partial Q_j^{-1} \right\}$ is $(n \times n)$ -matrix, formed the partial derivatives E on components Q_j^{-1} ; η_w , η_{c_j} , $\eta_{Q_j^{-1}}$ are the learning rates; $\varphi_j'(\bullet)$ is the derivative j -th wavelet on the argument $(x(k) - c_j(k))^T Q_j^{-1}(k)(x(k) - c_j(k))$.

Then the wavelons learning algorithm of the hidden layer subject to (5) is taking the form

$$\left\{ \begin{array}{l} w(k+1) = w(k) + \eta_w \beta \tanh(e(k)/\beta) \varphi_j((x(k) - c_j(k))^T Q_j^{-1}(k)(x(k) - c_j(k))) = \\ = w(k) + \eta_w \tanh(e(k)/\beta) J_w(k), \\ c_j(k+1) = c_j(k) - \eta_{c_j} \beta \tanh(e(k)/\beta) w_j(k) \varphi_j'((x(k) - c_j(k))^T Q_j^{-1}(k)(x(k) - c_j(k))) \cdot \\ \cdot Q_j^{-1}(k)(x(k) - c_j(k)) = c_j(k) - \eta_{c_j} \tanh(e(k)/\beta) J_{c_j}(k), \\ Q_j^{-1}(k+1) = Q_j^{-1}(k) + \eta_{Q_j^{-1}} \beta \tanh(e(k)/\beta) w_j(k) \varphi_j'((x(k) - c_j(k))^T Q_j^{-1}(k) \cdot \\ \cdot (x(k) - c_j(k))) (x(k) - c_j(k)) (x(k) - c_j(k))^T = Q_j^{-1}(k) + \eta_{Q_j^{-1}} \tanh(e(k)/\beta) J_{Q_j^{-1}}(k). \end{array} \right. \quad (6)$$

For the Polywog wavelet [21] we can rewrite the algorithm (6) in the relatively simple form

$$\left\{ \begin{array}{l} w(k+1) = w(k) + \eta_w \beta \tanh(e(k)/\beta) (1 - \Psi^2) \exp(-\Psi^2/2), \\ c_j(k+1) = c_j(k) - \eta_{c_j} \beta \tanh(e(k)/\beta) w_j(k) \Psi (\Psi^2 - 3) \exp(-\Psi^2/2), \\ \cdot Q_j^{-1}(k)(x(k) - c_j(k)), \\ Q_j^{-1}(k+1) = Q_j^{-1}(k) + \eta_{Q_j^{-1}} \beta \tanh(e(k)/\beta) w_j(k) \Psi (\Psi^2 - 3) \exp(-\Psi^2/2), \\ \cdot (x(k) - c_j(k)) (x(k) - c_j(k))^T, \end{array} \right. \quad (7)$$

where $\Psi = \left((x(k) - c_j(k))^T Q_j^{-1}(k) (x(k) - c_j(k)) \right)$.

Conclusion

In the paper computationally simple and effective robust learning algorithm of all RBFWNN parameters is proposed. This learning algorithm allows on-line processing of non-linear signals under a number of outliers and “heavy tails” disturbances. Addition of wavelons receptive fields, including their transformations (dilation, translation, rotation) permits improve the network approximation properties, that is confirmed by the experiments research results.

BIBLIOGRAPHY

1. Moody J. Darken C. J. Fast learning in networks of locally-tuned processing units // Neural Computation. – 1989. –1. – P. 281-294.
2. Moody J., Darken C. Learning with localized receptive fields // In: Proc. of the 1988 Connectionist Models Summer School / Eds. D. Touretzky, G. Hinton, T. Sejnowski. – 1988. – San Mateo: Morgan-Kaufmann. – P. 133-143.
3. Park J., Sandberg I. W. Universal approximation using radial-basis-function networks // Neural Computation. – 1991. – 3. – P. 246-257.
4. Leonard J. A., Kramer M. A., Ungar L. H. Using radial basis functions to approximate a function and its error bounds // IEEE Trans. on Neural Networks. – 1992. – 3. – P. 614-627.
5. Sunil E. V. T., Yung C. Sh. Radial basis function neural network for approximation and estimation of nonlinear stochastic dynamic systems // IEEE Trans. on Neural Networks. – 1994. – 5. – P. 594-603.
6. Poggio T., Girosi F. A Theory of Networks for Approximation and Learning. – A. I. Memo № 1140, C.B.I.P. Paper № 31, Massachussetts Institute of Technology. – 1994. – 63 p.
7. Bishop C. M. Neural Networks for Pattern Recognition. - Oxford: Clarendon Press, 1995. – 482 p.
8. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets. - Philadelphia, PA: SIAM., 1992. – 228 p.
9. Billings S. A., Wei H.-L. A new class of wavelet networks for nonlinear system identification // IEEE Trans. on Neural Networks. – 2005. – 16. - P. 862-874.
10. Bodyanskiy Ye., Lamonova N., Vynokurova O. Recurrent learning algorithm for double-wavelet neuron // Proc. XII -th Int. Conf. “Knowledge - Dialogue - Solution”. - Varna (Bulgaria). – 2006. - P.77-84.
11. Bodyanskiy Ye., Lamonova N., Vynokurova O. Double-wavelet neuron based on analytical activation functions // Int. J. Information Theory and Applications. – 2007. – 14. – P. 281-288.
12. Bodyanskiy Ye., Pliss I., Vynokurova O. A learning algorithm for forecasting adaptive wavelet-neuro-fuzzy network // Proc. XIII -th Int. Conf. “Information Research & Applications”. – Varna (Bulgaria). – 2007. – P.211-218.

13. Jang J. S. R., Sun C.T. Functional equivalence between radial basis function networks and fuzzy inference systems // IEEE Trans. on Neural Networks. – 1993. – 4. – P. 156-159.
14. Mitaim S., Kosko B. Adaptive joint fuzzy sets for function approximation // Proc. Int. Conf. on Neural Networks “ICNN-97”. – 1997. – P. 537-542.
15. Reyneri L. M. Unification of neural and wavelet networks and fuzzy systems // IEEE Trans. on Neural Networks. – 1999. – 10. – P. 801-814.
16. Rey W.J.J. Robust Statistical Methods // Lecture Notes in Mathematics. – 2. – Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag, 1978. – 128 p.
17. Cichocki A., Unbehauen R. Neural Networks for Optimization and Signal Processing. – Stuttgart: Teubner, 1993. – 526 p.
18. Sheng-Tun Li, Shu-Ching Chen Function approximation using robust wavelet neural networks // Proc. of the 14th IEEE Int. Conf. on Tools with Artificial Intelligence. – 2002. – P. 483- 488.
19. Holland P.W., Welsh R.E. Robust regression using iteratively reweighted least squares // Commun. Statist. - Theory and Methods. - 1977. – 46. – P. 813 – 828.
20. Welsh R.E. Nonlinear statistical data analysis // Proc. Comp. Sci. and Statist., Tenth Ann Symp. Interface. Held at Nat'l Bur. Stds. Gaithersburg, MD. – 1977. – P. 77-86.
21. Lekutai G., van Landingham H. F. Self-tuning control of nonlinear systems using neural network adaptive frame wavelets // *Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics.* - Piscataway, N.J. – 1997. – 2. - P. 1017-1022.

Получено 11.03.2008 г.

УДК 004.20

Е.Н. Вишневецкая, А.А. Каргин

НЕКОТОРЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИТУАЦИОННОГО АГЕНТА

Введение

При разработке автоматизированных систем контроля и управления сложными технологическими объектами и техническими комплексами, которые включают подвижные единицы (городской транспорт, автоматические производственные линии и участки) возникает задача моделирования процесса во времени с учетом ряда возмущающих факторов. Системы моделирования этого класса реализуются на базе аппарата формальной логики, теории вероятностей [1] и массового обслуживания [2]. Однако, использование этих моделей при исследовании особых ситуаций в управлении затруднительно. Второй подход использует методы ситуационного управления [3].

В случае исследования динамических процессов, обладающих Марковскими свойствами, хорошо себя зарекомендовали модели одношагового ситуационного управления и принятия решений [3,4]. При моделировании динамических процессов, для которых необходимо учитывать последовательность принятия решений во времени, кроме методов программного управления, использующихся в детерминированной среде, предлагается использовать модель ситуационного логогена[5].

В работе используется модель ситуационного агента при нечеткой информации.

Модель ситуационного агента

Ситуационный агент (СА) описывается пятеркой [5]:

$$([\Theta_{\sim in}]_t, [\Theta_{\sim sens}]_t, \tilde{\mathcal{E}}, [\Theta_{\sim stat}]_t, [\Theta_{\sim out}]_t), \quad (1)$$

где $[\Theta_{\sim in}]_t$ - нечёткая характеристика активности контекстных входов СА на момент времени t ; $[\Theta_{\sim sens}]_t$ - нечёткая характеристика

активности сенсорных входов СА на момент времени t ; $[\Theta_{\sim stat}]_t$ - нечёткая характеристика активности внутреннего состояния СА на момент времени t ; $[\Theta_{\sim out}]_t$ - нечёткая характеристика активности выхода СА на момент времени t ; $\tilde{\mathcal{S}}$ - нечёткий прототип ситуации.

В качестве характеристики нечёткой активности предложено нечёткое множество, определённое на универсальном множестве – нормированное значение активности - $\theta \in [-1, +1]$

$$\Theta_{\sim} : \{\theta \mid \mu_{\Theta_{\sim}}(\theta), \forall \theta \in [-1, +1]\} \quad (2)$$

Функция принадлежности $\Theta_{\sim}$ является кусочно-линейной и представляет унимодальное нормальное нечёткое множество [6] с ядром $[b, c]$.

Характеристика нечёткой активности выхода агента находится для каждого момента времени $t+kT$ из соотношения:

$$[\Theta_{\sim out}]_{t+kT} = \begin{cases} [\Theta_{\sim cont}^{\Sigma}]_{t+k^*T} \oplus [\Theta_{\sim \rho}]_{t+k^*T}, & \text{если выполнено условие (4)} \\ 0_{\sim}, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (3)$$

где $0_{\sim}$ - нечёткое множество - «идеально нейтральное значение активности»;

$[\Theta_{\sim cont}^{\Sigma}]_{t+kT}$ - активность, обусловленная контекстными входами;

$[\Theta_{\sim \rho}]_{t+k^*T}$ - близость прототипа события фактической ситуации.

Результат операции близости двух нечётких характеристик активности $[\Theta_{\sim \rho}]_t = \rho([\Theta_{\sim 1}]_t, [\Theta_{\sim 2}]_t)$ - есть также нечеткое множество.

В работе [7] для интерпретации текстовой информации использована, так называемая, синхронная модель ситуационного агента, когда поток событий (появление очередного символа текста) синхронизирован во времени $t, t+T, t+2T, \dots, t+kT, \dots$

Для рассматриваемого в работе приложения имеет место асинхронный поток событий (перемещение подвижных единиц подвержено возмущениям и сенсоры изменяют свои показания во времени с различными временными запаздываниями).

Для идентификации моментов времени, когда происходят такие события, предложено использовать условие:

$$\sum_{k=0}^2 \text{sign}([\Theta_{\sim\rho}^*]_{t-(k+1)T} - [\Theta_{\sim\rho}^*]_{t-kT}) \cdot 1 \geq 1 \quad (4)$$

$$\sum_{k=3}^5 \text{sign}([\Theta_{\sim\rho}^*]_{t-kT} - [\Theta_{\sim\rho}^*]_{t-(k+1)T}) \cdot 1 \geq 1$$

где $\Theta_{\sim\rho}^*$ - центр тяжести нечеткого множества $\Theta_{\sim\rho}$, округленный до числа кратного 0.25.

Если условие выполнено, то $k^* = -3$ в (3).

Данное условие определяет ситуацию, когда показания сенсоров во времени приближаются к прототипу, а затем отдаляются от него, например наезд и съезд подвижной единицы с датчика положения. На рис.1 изображен график изменения $[\Theta_{\sim\rho}]$ во времени для иллюстрации такого случая. В момент времени kT , $k=8$ условие будет выполнено, что позволяет сделать вывод, что до момента времени $k=5$ показания сенсоров приближались к прототипу, а после отдалялись от него.

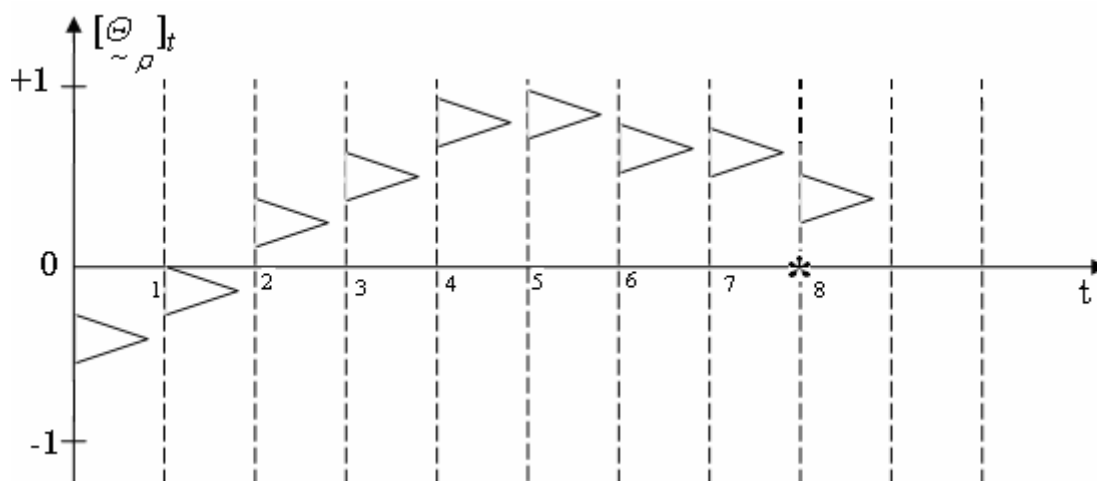


Рисунок 1 – Пример изменения $[\Theta_{\sim\rho}]$ во времени

В статье описаны результаты моделирования ситуационного агента в условиях асинхронного потока событий и исследовано влияние временных характеристик потока асинхронных событий.

Исследование характеристик ситуационного агента

Для исследования таких характеристик агента как близость прототипа ситуации показаниям сенсоров $\Theta_{\sim \rho}$ и выход агента $\Theta_{\sim out}$ был проведен компьютерный эксперимент по расчету этих величин. Объектом исследования являлся отдельный ситуационный агент с количеством сенсорных входов n и одним контекстным входом.

Для упрощения изложения нечеткие характеристики активности иллюстрируются с помощью нечетких множеств, в которых $a=b=c=d$.

Прототип ситуации построен на показаниях n сенсоров, например,

$$(\{\check{\Theta}_{\sim sens_i} = (0.95, 0.95, 0.95, 0.95, \dots)\}_{i=1}^n)$$

Эксперимент проводился для $n=2, 3, 4, 5$.

Показания каждого из сенсорных входов последовательно изменяются от значения $(-1, -1, -1, -1)$ до значения $(+1, +1, +1, +1)$ с шагом 0.25 за один такт времени T , а затем обратно с шагом -0.25 . При этом была введена такая характеристика, как рассогласование во времени в показаниях сенсоров $r = 0, 0.25, 0.5, \dots, 2$. Значение контекстного входа для каждого эксперимента изменялось от $(-1, -1, -1, -1)$ до $(+1, +1, +1, +1)$ с шагом 0.5 .

Компьютерные эксперименты показали, что выходной сигнал СА формируется при $r=0, 0.25, 0.5$ в случае с двумя сенсорными входами, а с более чем двумя, только при $r=0$. Значение параметра r характеризует «степень асинхронности» изменения сенсоров при изменении ситуации и полученные результаты говорят о высокой чувствительности модели СА к помехам, приводящим к рассогласованию показаний датчиков. Поэтому было предложено изменить условие (4): идентификация события разбита на две фазы:

1) Первая фаза описывает, когда ситуация приближается к прототипу и остается близкой к нему. Она идентифицируется условием:

$$\sum_{k=0}^2 \text{sign}([\Theta_{\sim \rho}^*]_{t-(k+1)T} - [\Theta_{\sim \rho}^*]_{t-kT}) \cdot 1 \geq 1 \quad (5)$$

$$\sum_{k=3}^5 \text{sign}([\Theta^*]_{t-kT} - [\Theta^*]_{t-(k+1)T}) \cdot 1 = 0$$

2) Вторая фаза описывает случай, когда ситуация была близкой прототипу, а затем отдаляется от него.

$$\sum_{k=0}^2 \text{sign}([\Theta^*]_{t-(k+1)T} - [\Theta^*]_{t-kT}) \cdot 1 = 0 \quad (6)$$

$$\sum_{k=3}^5 \text{sign}([\Theta^*]_{t-kT} - [\Theta^*]_{t-(k+1)T}) \cdot 1 \geq 1$$

Результаты компьютерных экспериментов показали, что для такой модели выходной сигнал формируется для более широкого диапазона r , а именно для случая (5) - при всех r для любого количества сенсоров, а для случая (6) результаты представлены в таблице 1

Таблица 1

Результаты компьютерного эксперимента для случая (6)

Диапазон рассогласования r	Количество сенсоров n
0.25 .. 2	2
0..1.75	3
0.. 0.75	4
0.. 0.5	5

Выводы

В приложениях искусственного интеллекта часто приходится решать задачу моделирования и интерпретации потока событий, каждое из которых может быть определено на множестве свойств. Изменение этих свойств во времени носит асинхронный характер и идентификация моментов времени наступления событий по этой причине становится затруднительной.

Предложенный математический аппарат ситуационного агента решает задачу идентификации событий, у которых модель события в виде прототипа ситуации строится на множестве асинхронно изменяющихся свойств. Компьютерные эксперименты показали достаточно высокий уровень устойчивости процедуры идентификации событий при значительных рассогласованиях динамических характеристик.

Дальнейшее направление работы связано с исследованием характеристик цепочки взаимодействующих ситуационных агентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. – М.: Вильямс, 2006. -1408 с.
2. Шульга Ю.Н. Элементы теории объёмных стохастических сетей массового обслуживания и её приложения.-Киев: Наукова Думка, 1990. - 156с.
3. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. – М.: Наука, 1986.–288с.
4. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. - М.: Наука, 1990 – 272с.
5. Каргин А.А., Петренко Т.Г. Формализация моделей когнитивной психологии на основе технологии ситуационных интеллектуальных машин (Часть 1) // Вісник Донецького національного університету. Серія А.- 2006. - №2 – с.342-348.
6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH.// СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736с.
7. Ломонос Я.Г. Терминологическая разметка текста в автоматизированной системе интеллектуальной обработки текстовой информации. // Штучний інтелект. 3’2006. ПІІ МОН НАН України «Наука і освіта», 2006.

Получено 07.03.2008 г.

УДК 621.396.969

В.И. Головки, А.А. Верховская, О.Н. Кукушкин,
Н.В. Михайловский, А.В. Потапов

ПРИНЦИПЫ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАДАРНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ МАТЕРИАЛА В РЕАКТОРАХ И ЕМКОСТЯХ

Прорыв в решении проблемы бесконтактного определения уровня материала в реакторах и емкостях различного назначения связан с реализацией непрерывной радиолокации. Определение уровня поверхности материала базируется на обработке амплитудно-частотного спектра радиолокационного сигнала и параметров функционирования радара (типа РДУ-Х2), поступающих в АСУ ТП по цифровому интерфейсу.

Информация от каждого радара передается с объекта наблюдения для программно-алгоритмической обработки средствами вычислительной техники (СВТ) в виде трех сигналов:

- цифровой по последовательному интерфейсу RS-485;
- аналоговый по токовому выходу в диапазоне 0..20 мА;
- аналоговый по напряжению в диапазоне 0..2 В.

Для обработки данных, поступающих от радара, необходимо в режиме реального времени обеспечить выполнение следующих функций: корректное получение цифровых и аналоговых сообщений; выделение данных из принятого потока информации и их сортировку; масштабирование и фильтрацию данных об уровне материала; ведение протокола изменения исходных данных для реализации указанных функций; ввод и оперативное изменение следующих параметров обработки выходных сигналов радара:

- исходных параметров для фильтрации техногенных помех;
- порядка усреднения и расчета характеристик спектра сигнала;
- коэффициентов градуировочных зависимостей для определения расстояния по спектру.

Основной информационный сигнал представляет последовательность пакетов сообщений размером по 420 байт. Каждое сообщение включает поле заголовка размером по 2 байта; поле

информационного сигнала размером 256 байт (содержит 128 последовательных дискретных значений огибающей биений излученного и отраженного радиосигнала для контроля функционирования радара); поле спектра информационного сигнала размером 128 байт (содержит 64 значения спектральных составляющих амплитудно-частотного спектра радиосигнала для определения расстояния до поверхности материала, а также анализа радиолокационной ситуации в зоне наблюдения с целью отстройки от помех); поле параметров работы радара размером 36 байт.

Скорость передачи цифрового сигнала 9600 бод. Интервал между сообщениями не превышает двух секунд.

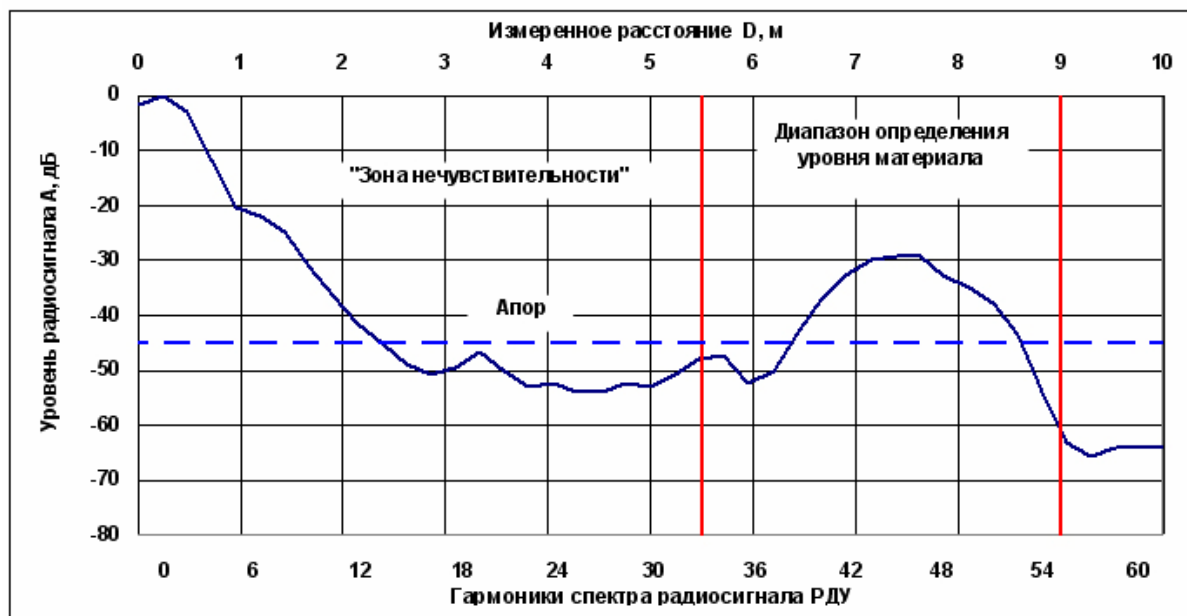
Выделение из информационного потока пакетов сообщений производится следующим образом. Данные длиной $2l$ (где l – длина пакета) принимаются в буфер. Находится первая от начала комбинация заголовка. Если комбинация заголовка находится более чем через l байт, то пакет сообщений радара считается найденным.

На основе обработки информации, содержащейся в RS-сигнале СВТ, производится согласно разработанному алгоритму построения спектра принятого радиосигнала. Спектр представляет собой полигон (рис. 1), вершинами которого являются 64 значения амплитуд (в дБ) спектральных гармоник радиосигнала. По верхней оси абсцисс откладывается расстояние P (м) до засыпи шихты. На нижней оси абсцисс откладываются номера гармоник спектра. По оси ординат откладываются амплитуды гармоник спектра частот сигнала A (дБ). Вертикальными красными линиями выделена анализируемая часть спектра – «диапазон определения уровня материала».

Слева указана «зона нечувствительности» радара. Эта часть спектра используется для диагностики состояния элементов антенны и крепления радара, а также обнаружения техногенных помех. Горизонтальной пунктирной линией изображается уровень порога идентификации отраженного от поверхности засыпи радиосигнала. Над линией располагается надпись «Апор».

Обработка переданного по цифровому интерфейсу спектра информационного сигнала производится для каждого радара автономно. В алгоритме использованы методы цифровой обработки радиолокационной информации, некогерентное накопление (усреднение) спектра, вычисление и анализ его характеристик, а

также определение расстояния до цели по частоте средневзвешенной ведущей гармоники спектра.



Настройки режима работы РДУ N

номер РДУ	9
положение ключей настройки ВДМ	11110000
чувствительность	15 дБ
постоянная времени	10 с
шаг гармоник спектра	0,250 м
Градуировка - смещение	18,250 м
"расстояние - ток" - наклон	-0,8125 м / мА
Градуировка - смещение	-0,208 м
"расстояние - частота" - наклон	0,250 м / кГц
минимальная температура СВЧ	30 град С
предельная температура СВЧ	60 град С
температура СВЧ модуля	35,0 град С

Параметры функционирования РДУ N

напряжение питания СВЧ генератора	3,5 В
максимальная амплитуда сигнала	657 мВ
коэффициент усиления сигнала	5,0 дБ
вычисленный уровень шума	55 дБ
порог обнаружения цели	15 дБ
средневзвешенная частота	7835 Гц
величина выходного тока	14,32 мА
зона нечувствительности	5,5 м
предельное определяемое расстояние	9,0 м
число усредняемых спектров	10
расстояние до поверхности шихты	7,82 м
уровень засыпи	3,27 м

Карман фона статичный / активный

Рисунок 1 - Амплитудно-частотный спектр радиосигнала РДУ-Х2 на ДП 9

При необходимости подавления техногенных помех, зафиксированных в спектре, оператор выдает команду «фон активный», что сопровождается соответствующим сообщением. При этом значения амплитуд текущего спектра уменьшаются на величину соответствующих амплитуд фонового спектра. Возврат в режим просмотра текущего спектра производится командой «фон пассивный», которая также сопровождается соответствующим сообщением.

Выходной токовый сигнал при работе радиолокационной аппаратуры в штатном режиме должен находиться в стандартном диапазоне 4..20 мА. При выводе радара из строя идентифицируется нулевое значение тока. Кроме того, по токовому выходу фиксируется

превышение предельно допустимой температуры сверхвысоко-частотного модуля и, вследствие этого, автоматическое отключение радара. При этом выходной ток периодически (~ 10 с) принимает значения от 1 до 3 мА. Сигнал выходного тока после аналого-цифрового преобразования также подвергается цифровой фильтрации для отклонения высокочастотных помех.

Работа радаров с изложенными принципами обработки сигналов на протяжении пяти лет обеспечила надежное определение уровня поверхности шихты в 20-ти точках колошника доменной печи объемом 5000 м³.

Получено 17.03.2008 г.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В СИСТЕМАХ МАСКИРОВАНИЯ РЕЧИ

1. Введение. Постановка задачи

Независимо от темпов развития и внедрения систем передачи и обработки текстовой и видеоинформации, речевой процесс останется первичным методом преобразования вербальной информации $I(t)$ при обмене сведениями об объектах $O(t)$ мышления. В ходе реализации речевого процесса (РП) информация об объекте мышления $I[O(t)]$ кодируется в речевой акустический сигнал (РаС) $sv^a(t) = f^c\{I[O(t)]\}$, информационные свойства которого в канале передачи – объеме выделенного помещения, изучены недостаточно [1] полно. На современном этапе развития технических средств, анализ и исследование информационного свойства РаС в точках l_i пространства выделенного помещения осуществляется после акустоэлектрического преобразования его в речевой электрический сигнал (РэС) $sv(t) = f^{ae}[sv^a(t)]$ – континуальную аналоговую модель акустического сигнала.

Эволюционный процесс обмена информативными речевыми сигналами между homo sapiens академик И.П. Павлов относил к функциям второй сигнальной системы по критерию присутствия информации $I[O(t)]$ в сигнале акустического раздражителя $sv^a(t)$ рецепторов слуха, что является особым проявлением высшей нервной деятельности центральной нервной системы (ЦНС) человека [2]. Интуитивно понятно, что акустическая реализация речевого процесса в базисе времени, т.е. форма сигнала $sv^a(t)$, полностью отображает его информационное свойство, однако формализованной методологии, определяющей как свойство $I[O(t)] \Rightarrow sv^a(t)$, так и базис его информационных параметров, в форме речевого электрического сигнала $sv(t)$ в открытой печати нами не обнаружено.

2. Основная часть

Формализуем определение исследуемых энергетических $E(t)$, информационных $I(t)$ и помехоустойчивых $SN(t)$ свойств акустического речевого сигнала $sv^a\{t, E, I, SN\}$ в виде обобщенной математической модели:

$$sv^a(t) = \{(E, \vec{\mathfrak{R}}_i^E) | i \in Z_m, (I, \vec{\mathfrak{R}}_j^I) | j \in Z_n, (SN, \vec{\mathfrak{R}}_k^{SN}) | k \in Z_l\}, \quad (1)$$

где $\vec{\mathfrak{R}}^E, \vec{\mathfrak{R}}^I, \vec{\mathfrak{R}}^{SN}$ – векторы пространства параметров соответствующих свойств.

В соответствии с объектом исследований, поведем анализ энергоинформационного взаимодействия следующих систем [3].

Биологической, которая включает в себя, в общем случае, группу информационно активных (диктор) и пассивных (аудитор), носителей конфиденциальной информации $I(t)$. В результате реализации психофизиологического речеслухового процесса информация речеслуховой системы диктора кодируется в сообщение – речевой акустический сигнал $sv^a(E, SN, I, t)$:

$$I[O(t)] \Rightarrow sv^a(t) \Rightarrow \Delta H(t, \Delta t), \quad (2)$$

затем, в процессе приема и декодирования, снимается в виде энтропии $\Delta H(t, \Delta t)$ с речеслуховой системы аудитора.

Технической защиты информации, которая синтезируют акустический сигнал маскирования $sn^a(t)$. Этот сигнал энергетически и информационно взаимодействует с РаС (1) в точке НСД, образуя сигнал канала утечки

$$su^a(l, t) = f[sv^a(t), sn^a(t)]. \quad (3)$$

Канала утечки информации, который характеризуется функцией расстояния, отображающей изменение параметра эффективности маскирования $SN(t)$ информации $I(t)$. Он состоит из технических и биологических средств модели угроз (МУ), которая описывает демаскирующие свойства технический разведки в части анализа энергоинформационных параметров и характеристик сигналов канала утечки (3) с целью восстановления информации $I(t)$:

$$I(t) = f\{su^a(t)\}. \quad (4)$$

Таким образом, в работе анализируются биологические и технические открытые системы, которые обмениваются энергией $E(t)$ и информацией $I(t)$.

3. Результаты системного анализа

Исследуемые функционально связанные системы относятся к классу больших иерархических технических систем, для которых целесообразно проведение структурно – функционального анализа.

В процессе анализа необходимо определить системообразующие факторы и функции по отношению к цели функционирования системы.

В процессе функционирования системы, для каждого системообразующего фактора необходимо определять функции, определяющие информационное расстояние между заданными значениями пространства параметров соответствующих свойств и фактически реализуемыми.

4. Выводы

Объект исследований характеризуется четвертым уровнем системности [4], предполагающем интеллектуальные процессы обработки информации в системах объекта, которые взаимосвязаны субъективными факторами человека и объективными факторами внешней среды канала передачи информации. Этот факт позволяет сделать вывод о свойстве открытости систем объекта исследований.

1. Свойство открытости систем объекта исследований предполагает обмен энергией и информацией во внешней среде функционирования систем.

2. Объединенную систему первого уровня иерархии, на основе анализа её свойств, можно определить как большую иерархическую техническую систему.

3. Для исследования системы первого уровня иерархии целесообразно проводить структурно – функциональный анализ, которые включает в себя определение:

- уровня иерархии подчиненности систем и подсистем;
- системообразующих факторов и функции, которые будут определять характеристики системы по отношению к цели её функционирования;

- функции, определяющей информационное расстояние между значениями системообразующих факторов результатов процессов обмена энергией, информацией и энтропией между системами второго уровня иерархии.

4. Все современные акустические теории речеобразования и слуха [5], базирующиеся на анализе континуальной модели $sv(t)$ акустического сигнала $sv^a(t)$, а также современная методология анализа сигнала, не могут пояснить свойства информативности $I(t)$ РаС в связи с тем, что его энтропия $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} H(t, \Delta t) \rightarrow \infty$ [6] стремится к бесконечности. Не определен способ модуляции информации $I(t)$ в сигнале $sv(t)$, вследствие этого не определено значение функции расстояния, определяющее потенциальную помехоустойчивость SN^0 сигнала $sv^a(t)$ и методология анализа базиса её параметров.

5. Анализ состояния проблемы показал, что в современной методологии функционирования систем первого уровня иерархии отсутствует информационная концепция, основанная на теориях синергетической информационной самоорганизации открытых систем [7] и биологических функциональных систем [8].

6. В настоящее время, при анализе и синтезе методов исследования процессов активной защиты речевой информации [9], доминирует эмпирический подход, базирующийся на детерминировано – механистической концепции функционирования второй сигнальной системы. Данный подход предполагает в качестве информационных характеристик речевого сигнала осредненные на интервале времени анализа девиации параметров составляющих его амплитудного спектра, а в качестве энергетических – спектральную плотность мощности на, фактически не определенном, временном интервале. Методология не поясняет многие научные факты, являющиеся результатом экспериментальных исследований процессов речевого обмена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галунов В.И. Помехоустойчивость как системообразующий фактор речи. Проблемы и методы экспериментальных исследований. СПб.: – 2002. – 295 с.

2. Психоакустические аспекты восприятия речи. Механизмы деятельности мозга / Под. ред. Н.П. Бехтеревой. – М.: Наука. – 1988. – 504 с.
3. Журавлев В.Н. Обобщенная модель интеллектуальной адаптивной системы сокрытия речевой информации в виброакустических и акустических каналах несанкционированного доступа. Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – 2004. – №8. – С. 6-9.
4. Згуровський М. З., Панкратова Н.Д. Основы системного аналізу. – К.: Видавнича група BVH, 2007. – 544 с.
5. Фланаган Дж. Анализ, синтез и восприятие речи: Пер. с англ./ Под ред. А.А. Пирогова. – М.: Связь, 1968. – 396 с.
6. Шеннон. К. Математическая теория связи. В кн. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – С. 243 – 333.
7. Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса. – М.: КомКнига, 2007. – 328 с.
8. Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональных систем. М.: Наука, 1980. – 196 с.
9. Журавлев В.Н. Анализ информационных параметров и характеристик сигналов маскирования речи на объектах информационной деятельности. Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – 2007. – № 14. – С. 170 – 176.

Получено 07.03.2008 г.

УДК 336.763.2

Р.Н. Кветний, В.Ю. Коцюбинський, Л.М. Кислиця

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ ЕКСПЕРТНИХ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ GARCH- МОДЕЛЕЙ

Актуальність

Останнім часом все більше зростає потреба в системах, які здатні виконувати не тільки запрограмовану послідовність дій над раніше визначеними даними, але й здатні самі аналізувати нову інформацію, яка з'являється, знаходити в ній закономірності, проводити прогнозування тощо. На сьогоднішній день кон'юнктура сучасного фінансового ринку відчула на собі помітні зміни. Існує безліч різноманітних факторів, які за останні роки остаточно змінили поведінку і стан ринкових відносин, серед яких можна виділити Інтернет-технології, розвиток економічних зв'язків тощо. Тобто ринок постійно змінюється, тому вага окремо взятих цінних паперів у зв'язку із зміною кон'юнктури може змінитися дуже швидко і раптово. Саме тому на сьогодні прогнозування являється однією з актуальних задач, які виникають під час роботи на ринку цінних паперів [1].

В останні роки все більше уваги приділяється дослідженню і прогнозуванню фінансових часових рядів за допомогою нелінійних методів моделювання. Традиційні моделі часових рядів, такі як модель ARMA або регресійні моделі, не можуть адекватно врахувати всі характеристики, якими володіють фінансові часові показники, і потребують уточнення. Одна з характерних рис фінансових ринків - це та, що властива ринку невизначеність змінюється у часі. Мається на увазі той факт, що дуже часто можна спостерігати періоди чергувань, коли фінансовий показник поводить себе непостійно, і відносно спокійні його періоди[1].

Однією із загальновідомих нелінійних моделей, які використовуються у математичному моделюванні і добре зарекомендували себе, є GARCH-моделі [2]. Адже відомо, що нелінійні моделі можуть уловлювати дуже складні картини фінансових даних, на відміну від існуючих лінійних підходів, що не

дозволяють врахувати і проаналізувати сильно нерегулярну поведінку, яка може демонструватися численними фінансовими активами. Саме тому є актуальним використання таких математичних моделей для створення автоматизованої експертної системи прогнозування поведінки даних на значних часових проміжках.

Мета дослідження

Мета дослідження полягає у розробці експертної системи для прийняття рішень за використанням результатів прогнозування, здійсненого за допомогою GARCH-методів, що дасть змогу підвищити ефективність роботи на фондових ринках.

Основна частина

В даній статті було поставлено завдання - розробити автоматизовану систему для прийняття експертних рішень під час роботи на фінансових ринках, її алгоритм роботи та структурну схему. А також є актуальним навести етапи побудови і створення шкали оцінювання результатів прогнозу і прийняття на основі отриманих даних відповідного експертного рішення.

Вирішення даної задачі доцільно розбити на декілька етапів:

- розробка математичної моделі прогнозування поведінки фінансових активів для прийняття рішення (попередня обробка даних, вибір виду рівняння, обчислення GARCH-коефіцієнтів);
- розробка схеми прийняття рішення, тобто алгоритму функціонування експертної системи;
- створення структурної схеми роботи експертної системи;
- побудова шкали оцінювання відхилень прогнозованих результатів від поточного значення та вироблення відповідного експертного рішення;
- оцінка ефективності прийнятих системою експертних рішень шляхом прогнозування за допомогою математичної GARCH –моделі.

На основі аналізу останніх досліджень та літературних джерел, було вирішено зупинити свій вибір на GARCH-методах для побудови математичної моделі прогнозування поведінки активів [3, 4].

Загальний вигляд нелінійної GARCH моделі представлений наступним чином:

$$\sigma_t^2 = w + \delta_1 \sigma_{t-1}^2 + \dots + \delta_p \sigma_{t-p}^2 + \gamma_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \gamma_q \varepsilon_{t-q}^2 = w + \sum_{j=1}^p \delta_j \sigma_{t-j}^2 + \sum_{j=1}^q \gamma_j \varepsilon_{t-j}^2 \quad (1)$$

Тоді регресійне рівняння, яке показує кореляцію між двома акціями фінансових компаній, з помилкою у вигляді GARCH моделі можна зобразити у вигляді:

$$y_t = \alpha_1 X1_t + \alpha_2 X2_t + \gamma \varepsilon_{t-1} + v_t \quad (2)$$

де y_t - залежна змінна, $X1_t, X2_t$ - незалежні змінні, ε_{t-1} - помилка, α_1, α_2 - коефіцієнти регресії, γ - коефіцієнт ARCH-процесу, v_t - коефіцієнт GARCH-процесу [5, 6].

Виходячи з (1) і (2) загальний вид рівняння математичної моделі, яка буде надалі використовуватись для прогнозування, можна представити наступним чином [6]:

$$y_t = \alpha_1 X1_t + \alpha_2 X2_t + \gamma \varepsilon_{t-1} + \delta \cdot \sum_{i=1, p} \sigma_{t-i}^2 \quad (3)$$

Відповідно до поставленої в статті задачі щодо побудови системи прийняття експертних рішень на основі результатів прогнозування за допомогою GARCH-моделі, доцільно розробити алгоритм роботи з представленою системою. Він складається з наступних етапів:

Проведення фінансового аналізу ринку (аналіз економічного стану компаній, виявлення ринкових зв'язків, вибір необхідних економічних показників, ознайомлення з останніми фінансовими новинами тощо);

Вибір фінансових активів для подальшої роботи на ринку (відбір активів з необхідністю визначення відповідності їхніх конкретних характеристик вибраним фінансовим показникам: розмір податкових виплат, величина дивідендів, рівень інфляції тощо);

Проведення прогнозування за допомогою побудованої математичної GARCH-моделі (4);

Оцінка ефективності прогнозу та вироблення системою експертного рішення (обчислення значення відхилення прогнозованої ціни активу від її значення на момент прогнозування та прийняття експертного рішення за допомогою шкали оцінювання).

Алгоритм прийняття експертних рішень, вироблених системою у відповідності з наведеними вище етапами зображений на рисунку 1 (а).

Структурна схема запропонованої системи, яка буде реалізовувати прийняття експертного рішення на основі прогнозування поведінки фінансових активів, наведена на рисунку 1(б).

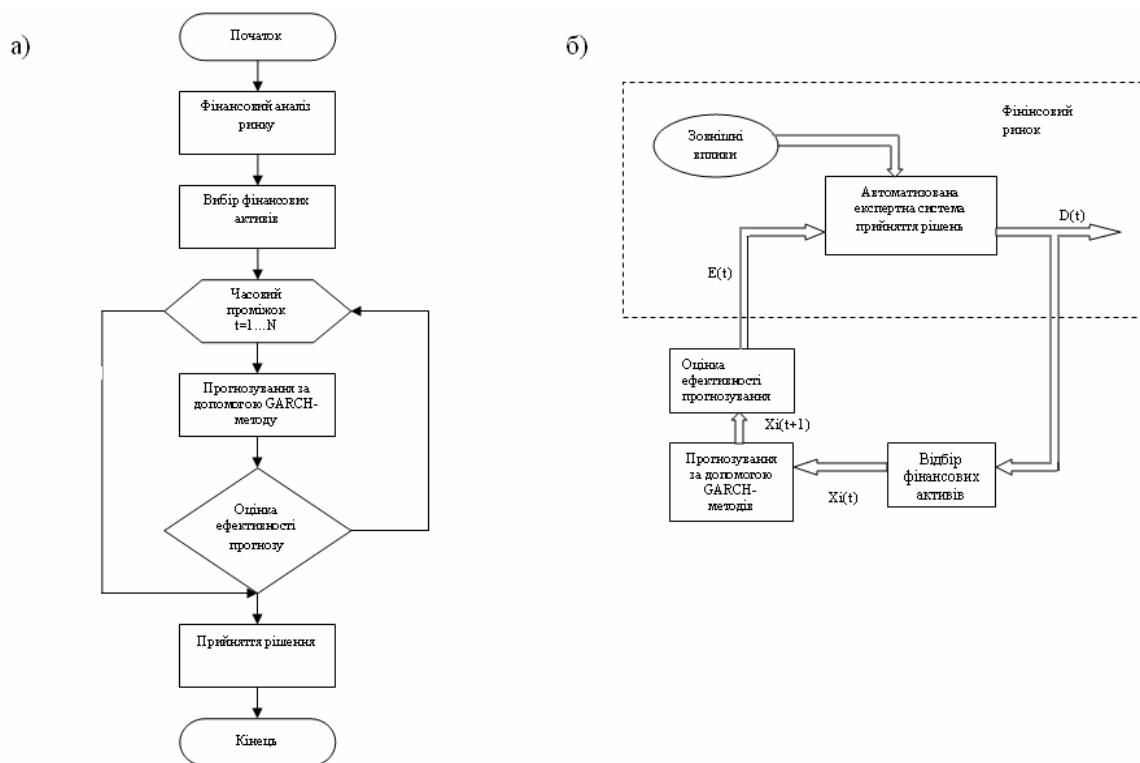


Рисунок 1 - а) - Схема прийняття рішення за допомогою автоматизованої експертної системи ; б) - Структурна схема прийняття рішення за допомогою автоматизованої експертної системи.

Тепер розглянемо методику побудови шкали оцінювання відхилення прогнозованої ціни активу від її значення на момент прогнозування та прийняття експертного рішення за допомогою отриманого результату.

1. Спочатку необхідно провести відбір фінансових активів, з якими планується працювати на ринку, підготувати всі дані, необхідні для прогнозування, вибрати часовий проміжок, протягом якого буде проведено прогноз поведінки активу.

Авторами статті в якості вхідних даних було відібрано 100 фінансових активів для перевірки ефективності прогнозування за допомогою розробленої моделі.

2. Наступним кроком є здійснення прогнозу поведінки відібраних активів за допомогою GARCH-моделі (3) і визначення прогнозованої ціни активу на момент закінчення обраного часового проміжку.

Для проведення прогнозування була взята вся необхідна інформація про денні курси відібраних активів (ціна відкриття, закриття тощо). Часовий проміжок, протягом якого проводилось прогнозування, склав – 40 хвилин. Для побудови розробленої математичної моделі використовувались дані для 1 лютого 2003р. з

9.30 до 10.10 ранку. Прогнозувалась ціна відкриття акцій на протязі 40-хвилинного проміжку з 10.10 до 10.50.

3. Для того, щоб визначити, яке значення відхилення буде відповідати сигналу експертної системи «Strong» - рішення про купівлю або продаж в залежності від знаку відхилення -, «Not Strong» - рішення тримати короткі або довгі позиції, але не відкривати нових, «Weak» - рішення чекати і не розпочинати ніяких дій, необхідно використати статистичну обробку отриманих результатів. А саме визначити основні статистичні показники (математичне очікування та середньоквадратичне відхилення), побудувати криву нормального закону розподілу та визначити проміжки відхилення, які будуть відповідати експертним сигналам системи.

В результаті статистичної обробки отриманих результатів прогнозування відібраних 100 активів було обраховано всі необхідні показники та побудовано графік щільності розподілу ймовірності доходу по фінансовому інструменту, зображену на рисунку 2.

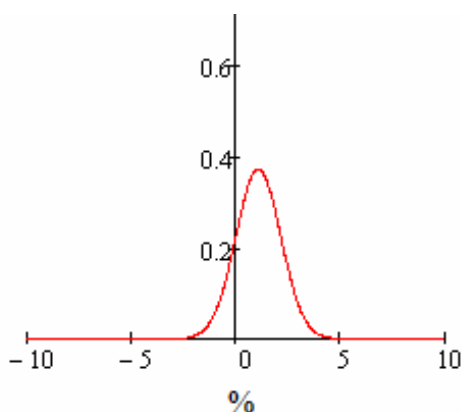


Рисунок 2 - Графік щільності розподілу ймовірності доходу по фінансовому інструменту

На основі цих даних складено таблиці відповідності значення відхилення і експертного рішення, наведені нижче.

Таблиця 1

Оцінювання відхилень для випадку «SELL»

Тип сигналу	Weak Signal	Not Strong Signal	Strong Signal
Значення відхилення, %	Deviation < 0.31 Deviation > 1.89	0.31 < Deviation < 0.63 1.47 < Deviation < 1.89	0.63 < Deviation < 1.47
Дія	Чекати	Тримати відкриті короткі позиції, але не відкривати нові	Продавати

Таблиця 2

Оцінювання відхилень для випадку «BUY»

Тип сигналу	Weak Signal	Not Strong Signal	Strong Signal
Значення відхилення, %	Deviation < 0.1 Deviation > 2.08	0.1 < Deviation < 0.595 1.585 < Deviation < 2.08	0.595 < Deviation < 1.585
Дія	Чекати	Тримати відкриті довгі позиції, але не відкривати нові	Купувати

В результаті проведеного прогнозування, розрахунку відхилень і прийняття рішень, вироблених експертною системою, із 100 випадків 62 були успішними з точки зору справедливості прогнозування. На рисунку 3 зображений приклад одного з успішних випадків прогнозування для компанії BVF (), де крива 1 показує реальну поведінку фінансового активу, а крива 2 - прогнозовану. Серед успішних випадків прогнозування 4 активи з значеннями відхилення, які лежать в необхідних межах, отримали сигнал «Strong» для продажу та 11 активів – для купівлі.

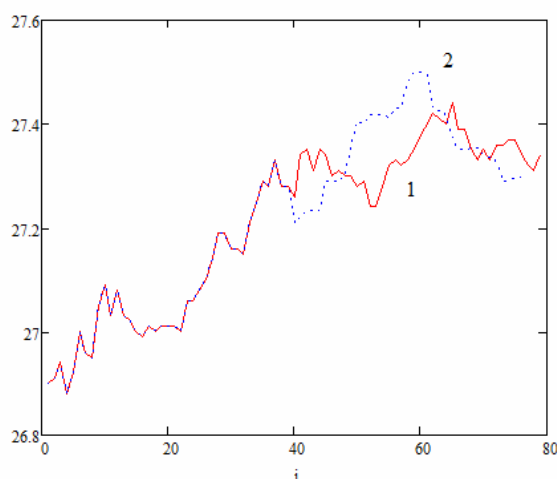


Рисунок 3 - Приклад «успішного» прогнозування за допомогою GARCH-моделі

Розглянемо на прикладі застосування результатів прогнозування та прийняття експертних рішень, вироблених системою. Нехай в результаті прогнозування інвестор відібрав серед наявних активи, які попали в групу «Strong», для подальшої роботи: 4 активи – для операції «Sell», 11 активів – для операції «Buy». Тоді початкова сума витрат буде складати 5834\$. Тоді інвестор, отримавши експертні рішення системи на основі результатів прогнозування, здійснив необхідні дії. Через 40 хвилин порівнявши затрачену суму і отриману прибуток склав 104\$ або це 1,78% від початкової суми вкладень.

Висновки

Розроблено методологію підвищення ефективності прийняття рішень на основі прогнозування з використанням нелінійних GARCH-методів. Для цього було обрано і проаналізовано лінійні регресійні моделі та доповнено їх нелінійними елементами у вигляді GARCH-помилки. Крім того розроблено структурну схему системи, алгоритм прийняття рішення та шкалу оцінювання відхилень прогнозованих цін від поточних, за допомогою якої система приймає експертне рішення. Авторами проведено аналіз практичних результатів роботи системи умовах реального фінансового ринку і було отримано позитивні результати та прибуток у розмірі 104\$ або 1,78% від початкової суми вкладень, що підтверджують доцільність використання представленої експертної системи для прогнозування на практиці.

ЛІТЕРАТУРА

1. <http://www.nsu.ru/ef/tsy/ecmr/index.htm> – ARCH-моделі: 10.10.07
2. А. Цыплаков Модели ARCH. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 396 с.
3. Л.А.Дмитриева, Ю.А.Куперин, И.В.Сорока Методы и теории сложных систем в экономике и финансах// Экономика и математические методы. – 2002. – Т. 28, вып. 5 – 6. – С. 794 - 801.
4. Kramer, W., and H. Sonnberger. The Linear Regression Model Under Test. Phisica-Verlag, 1986.
5. Песаран, М., Слейтер, Л. Динамическая регрессия: теория и алгоритмы. – М: Финансы и статистика, 1984. – 263 с.
6. Р.Н.Кветний, В.В.Кабачій, В.Ю. Коцюбинський, Л.М. Кислиця Оптимізація моделі для прийняття рішень з використанням GARCH-методів// Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. Вип. 6 – Вінниця, –2007 – С. 122 - 127.

Получено 07.03.2008 г.

АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА С ИММУННОЙ НАСТРОЙКОЙ

Введение

В настоящее время наблюдается повышенный научный и практический интерес к методам интеллектуальной обработки информации в условиях нечеткости и неопределенности, ограниченности временных, материальных и трудовых ресурсов. Если использование искусственных нейронных сетей, эволюционных вычислений и нечеткой логики для этих целей достаточно проработано [1], то искусственные иммунные системы (ИИС) – это новая парадигма мягких вычислений, которая может интегрироваться с другими методами [2,3].

Несмотря на достоинства нечетких систем, они имеют недостатки, которые обусловлены необходимостью привлечения экспертов. Поэтому в настоящее время используются адаптивные системы нечеткого вывода (АСНВ), в которых параметры нечетких моделей подбираются в процессе обучения [4]. Основой АСНВ является база знаний, которая формируется на основе информации из обучающей выборки и представляет собой совокупность информации о множестве лингвистических переменных в виде соответствующих функций принадлежности (ФП) и о множестве правил нечеткого вывода.

Процесс построения АСНВ состоит из двух этапов: структурной адаптации и параметрической адаптации [4]. Структурная адаптация подразумевает генерацию базы нечетких правил вывода. На этапе параметрической адаптации производится настройка форм и параметров ФП нечеткой модели. Процесс построения АСНВ сводится к решению некоторого конечного множества оптимизационных задач, при этом вид оптимизационной функции зависит от данных обучающей выборки. Нахождение глобального экстремума такой функции традиционными методами оптимизации является сложной, а часто не решаемой задачей. Для этих целей могут использоваться эволюционные вычисления, случайный поиск, искусственные

иммунные системы и др. [5,6]. Поэтому разработка новых методов структурной и параметрической адаптации АСНВ с помощью ИИС является актуальной.

1. Постановка задачи

Представим АСНВ в виде кортежа:

$$AFIS = \langle \{X_i, y_i\}, RB, DB, I, G(RB), L(DB), F \rangle, \quad (1)$$

где $\{X_i, y_i\}, i = \overline{1, n}$ обучающая выборка; RB – база правил; DB – база данных; I – механизм нечеткого логического вывода; $G(RB)$ – процедура получения базы правил; $L(DB)$ – метод настройки базы данных (параметров ФП); F – функция, оценивающая эффективность нечеткой модели.

В качестве базовой структуры АСНВ взята модель Такаги-Сугено первого порядка [4]:

$$\text{ЕСЛИ } x_1 \text{ это } A_1 \dots \text{И} \dots x_m \text{ это } A_m \text{ ТО } y = p_0 + p_1 x_1 + \dots + p_m x_m; \quad (2)$$

где A_i и B – это нечеткие переменные и соответствующие им ФП $\mu_A(x)$, $\mu_B(y)$, построенные в пространстве входных и выходных значений переменных. В работе используются гауссовы ФП вида

$$\mu(x) = \exp \left[- \left(\frac{x - c}{\sigma} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где c – центр нечеткого множества, σ отвечает за крутизну функции.

Для обучения нечеткой модели выбрана целевая функция:

$$\Phi(P) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [F(X_j, P) - y_j]^2 \Rightarrow \min_P \quad (4),$$

минимизирующая среднеквадратическое отклонение между фактическими значениями выходной переменной y_j и полученной на основе нечеткого прогноза точечной оценкой $F(X_j, P)$. Вектор P представляет собой вектор параметров нечеткой модели и его состав определяется исходя из выбранного алгоритма обучения. Необходимо произвести поиск минимума функции (4) в допустимом множестве изменения входных переменных x_i : $x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}$, $i = \overline{1, m}$.

Минимизация (4) относится к классу безусловных задач глобальной оптимизации, решение которой представляет собой

трудную задачу. Развитие эволюционных вычислений ведется по пути создания новых методов, использующих возможности динамического изменения параметров алгоритмов оптимизации и различные варианты распараллеливания процессов обработки нечеткой информации. Таким требованиям удовлетворяют ИИС, которым присущи такие свойства как распознавание, самообучение, параллелизм, память, распределенное обнаружение, сетевая организация и др. [2].

2. Адаптация правил нечеткого вывода

Полное множество правил нечеткого вывода в АСНВ может быть достаточно велико. Для его сокращения необходимо выделить некоторое минимальное подмножество наблюдений, доминирующих над остальными правилами. Алгоритм формирования базы нечеткой базы знаний представляет собой итерационную процедуру последовательной идентификации наблюдений из обучающей выборки с помощью ИИС. Антигены представляют собой примеры обучающей выборки. Каждое антитело кодирует одно правило базы знаний. Правила кодируются вещественными числами, представляющими собой индекс нечетких множеств входных переменных и коэффициенты нечетких правил:

$$Ab = \langle IFS_1, IFS_2, \dots, IFS_n, k_0, k_1, \dots, k_n \rangle,$$

где $IFS_1, IFS_2, \dots, IFS_n$ – индексы нечетких множеств для n входных переменных; $k_0, k_1, \dots, k_n$ – коэффициенты нечетких правил.

По результатам нечеткого вывода вычисляется аффинность каждого антитела популяции в соответствии с (4). В результате работы иммунного алгоритма лучшие по популяции антитела формируют популяцию клеток памяти, которая представляет собой базу правил. Для исключения избыточных и противоречивых правил выполняется супрессия популяции антител на основе теории иммунной сети, что приводит к существенному уменьшению правил в базе знаний. Критерием останова является достижение заданного порога аффинности, либо заданное количество поколений работы алгоритма. Результатом работы алгоритма является множество нечетких правил вида:

$$\begin{aligned}
R1: & \text{ IF } x_1 \text{ is } IFS_{11} \text{ ...AND... } x_n \text{ is } IFS_{1n} \text{ THEN } y = k_{10} + k_{11}x_1 + \dots + k_{1n}x_n; \\
R2: & \text{ IF } x_1 \text{ is } IFS_{21} \text{ ...AND... } x_n \text{ is } IFS_{2n} \text{ THEN } y = k_{20} + k_{21}x_1 + \dots + k_{2n}x_n; \\
& \dots \\
Rq: & \text{ IF } x_1 \text{ is } IFS_{q1} \text{ ...AND... } x_n \text{ is } IFS_{qn} \text{ THEN } y = k_{q0} + k_{q1}x_1 + \dots + k_{qn}x_n.
\end{aligned} \tag{5}$$

3. Адаптация функций принадлежности

Целью параметрической адаптации является поиск такой модели, с таким набором параметров, для которой качество будет наилучшим. В задаче параметрической адаптации нечетких моделей в роли антигена выступает обучающая выборка; в роли антител – параметры ФП вида (3) для входных переменных. Антитело представляет собой строку фиксированной длины

$$Ab = \langle c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1m}, \dots, c_{n1}, c_{n2}, c_{nm}, \sigma_{11}, \sigma_{12}, \dots, \sigma_{1m}, \dots, \sigma_{n1}, \sigma_{n2}, \sigma_{nm} \rangle,$$

где c_{ij}, σ_{ij} , $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$ – параметры гауссовых ФП вида (3) для n входных переменных, каждая из которых имеет m термов.

Исходный вектор параметров ФП генерируется случайным образом. На вход АСНВ подается множество значений входных переменных из обучающей выборки. На основании параметров ФП, взятых из антител, и сгенерированной на этапе структурной адаптации базы правил, выполняется нечеткий вывод. По результатам нечеткого вывода вычисляется аффинность каждого антитела со всеми антигенами популяции в соответствии с (4). Антитела с лучшей аффинностью подвергаются клонированию и мутации. Антитела с худшим значением аффинности удаляются из популяции и заменяются новыми. Работа иммунного алгоритма прекращается при достижении критерия останова. База данных адаптивной нечеткой системы формируется по лучшему антителу популяции.

4. Взаимодействие алгоритмов структурной и параметрической адаптации

Обобщенный алгоритм обучения АСНВ для n входных переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$ и одной выходной переменной y представляет собой итерационную процедуру, в которой организовано взаимодействие процедур параметрической и структурной адаптации. На подготовительном этапе формируется обучающая выборка вида: $(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}, y^{(k)})$, $k = \overline{1, K}$, где $x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}, y^{(k)}$ – значения входных переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$ и выходной переменной y в k -ом

примере; K – общее количество примеров в обучающей выборке. На основании известных минимальных и максимальных значений каждой входной переменной область определения этих переменных разбивается на отрезки, на которых задаются гауссовы ФП.

На этапе структурной адаптации формируется N наборов нечетких правил, в каждом поколении иммунного алгоритма происходит модификация популяции, вычисление приспособленности каждого антитела, ранжирование антител по степени аффинности в популяции, а также формирование базы правил, на основе которой выполняется параметрическая адаптация. Иммунный алгоритм параметрической адаптации итерационно повторяется заданное число раз. В конце из полученной популяции выбирается наиболее приспособленное антитело, которое является результатом адаптации системы нечеткого вывода.

5. Экспериментальные исследования

Исследования проводились с целью восстановления следующих тестовых функций (ТФ):

$$F_1(x_1, x_2) = x_1^2 + x_2^2; \quad (6)$$

$$F_2(x_1, x_2) = 3(1 - x_1)^2 \exp(-x_1^2 - (x_2 + 1)^2) - 10\left(\frac{x_1}{5} - x_1^3 - x_2^5\right) \exp(-x_1^2 - x_2^2) - \frac{1}{3} \exp(-(x_1 + 1)^2 - x_2^2). \quad (7)$$

Отметим, что ТФ (6) является унимодальной, а ТФ (7) – мультимодальной. Обучающая выборка, состоящая из 441 примера, получена на интервале значений входных переменных $[-1;1]$ для ТФ (6) и $[-3;3]$ для ТФ (7). Были выбраны следующие параметры иммунного алгоритма: вероятность мутации – 0,3; максимальное количество поколений – 15 000. Эксперименты проводились с использованием разного количества ФП для каждой из двух входных переменных. В таблице 1 приведены данные по среднеквадратическому отклонению по каждому из экспериментов для ТФ (6) и (7).

Таблица 1

Результаты экспериментов		
Количество ФП	Тестовая функция (6)	Тестовая функция (7)
3	0,02	-
5	0,006	0,697
7	0,0012	0,68

Из таблицы видно, что использование большего количества функций принадлежности для каждой переменной позволяет повысить точность восстановления функции.

Настроенные ФП и восстановленные поверхности ТФ (6) и (7) при использовании пяти ФП представлены соответственно на рисунках 1 и 2.



Рисунок 1 - ФП и восстановленная поверхность ТФ (6)



Рисунок 2 - ФП и восстановленная поверхность ТФ (7)

Отметим, что при адаптации системы нечеткого вывода изменяются не только коэффициенты нечетких правил, но и количество правил нечеткого вывода за счет выполнения супрессии. При использовании пяти ФП для двух переменных максимальное количество правил вывода равно 25. Используя структурную оптимизацию для ТФ (6) и (7) было получено соответственно 19 и 23 правил вывода. Кроме того, процесс адаптации требует значительных временных затрат на выполнение 15 000 поколений. Поэтому с целью сокращения временных затрат в настоящее время проводятся исследования по распараллеливанию иммунного алгоритма обучения АСНВ на основе использования технологий MPI и OpenMP.

Выводы

В работе рассмотрено решение актуальной задачи повышения качества обучения АСНВ на основе использования ИИС для настройки как параметров ФП, так и числа правил вывода. Проведенные экспериментальные исследования показали высокую эффективность применения ИИС для обучения АСНВ, которые описывают как унимодальные, так и мультимодальные нелинейные

функции. Осуществлена программная реализация предложенного иммунного алгоритма. Предложенный метод обучения АСНВ требует дальнейших исследований по распараллеливанию вычислительных процессов основе использования технологий MPI и OpenMP.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Интеллектуальные информационные системы. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 424 с.
2. Искусственные иммунные системы и их применение / Под ред. Д. Дасгупты. Пер. с англ. под ред. А.А. Романюхи. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 344 с.
3. De Castro L. N., Timmis, J. I. Artificial Immune Systems: A Novel Paradigm to Pattern Recognition // In Artificial Neural Networks in Pattern Recognition, SOCO-2002, University of Paisley, UK, 2002. – p. 67-84.
4. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 284 с.
5. L. N. D. Castro and F. J. V. Zuben, “Learning and optimization using the clonal selection principle,” IEEE Trans. Evolut. Comput., vol. 6, no. 3, 2002 – P. 239–251.
6. Кораблев Н.М., Овчаренко И.В. Сравнительный анализ иммунного и генетического алгоритмов в задачах оптимизации нелинейных функций // Бионика интеллекта, 2007. – № 2 (67). – С. 56-60.
7. Timmis J.I., Knight T., De Castro L.N., Hart E. An Overview of Artificial Immune Systems // Computation in Cells and Tissues: Perspectives and Tools for Thought, Natural Computation Series, Springer, 2004. – p. 51-86.

Получено 11.03.2008 г.

УДК 681.335:004.891

Т.Л. Мазурок

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К ИНТЕГРАЦИИ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Введение

Современный этап развития науки характеризуется всё возрастающим проявлением интеграционных процессов. Универсальный и всеобщий характер интеграции в процессах развития современной науки играет ведущую роль, превращаясь в средство получения новых знаний [1].

Дидактический принцип научности определяет необходимость отражения интеграционных процессов, характерных для развития современного научного знания, в совершенствовании образования на интеграционной основе.

Одним из эффективных способов решения этой проблемы является использование межпредметных связей [2]. Связь между учебными дисциплинами является отражением связей между соответствующими науками, каждая из которых изучает единый объективно существующий материальный мир. Осуществление межпредметных связей способствует формированию целостного представления обучаемых об окружающем мире, способствует углублению знаний, повышает практическую направленность обучения.

К основным факторам, определяющим успешность реализации межпредметных связей, является их организация и подготовка. На сегодняшний день осуществление межпредметных связей происходит бессистемно, эпизодически, определяется, в основном, умениями и энтузиазмом преподавателя. Автоматизация процесса формирования структуры интегрированного обучения возможна на основе использования современных интеллектуальных технологий, как средства управления интеграционными процессами.

Постановка проблемы

Одной из актуальных проблем развития и совершенствования управления процессом автоматизированного обучения с учётом

дидактических требований является моделирование процесса формирования структуры интегрированных курсов в виде иерархической системы учебных элементов на основе системы межпредметных связей, полученных от экспертов. Актуальность данной проблемы определяется противоречием между возрастанием необходимости интегрирования контентов монопредметных учебных дисциплин и отсутствием моделей управления процессом интеграции иерархических структур.

Анализ публикаций по теме исследования

Проблема поиска прогрессивных математических методов анализа и проектирования образовательных сред как сложных систем постоянно актуальна. Особый вклад в эту область внесли работы Глушкова В.М., Гриценко В.И., Ивахненко А.Г., Манако А.Ф., Тимченко А.А. Дидактические требования к автоматизированному обучению сформулированы в работах Башмакова А.И., Беспалько В.П., Козлаковой Г.А., Маслова С.И., Талызиной Н.Ф. Исследование иерархических структур управления начато в работах Месаровича М., Саати Т., продолжено в работах Згуровского М.З., Опариной Е.Л. Однако, анализ публикаций по данной проблеме, а также анализ практического опыта использования автоматизированных обучающих систем показывает, что методы системного анализа применимы к внутрисистемному взаимодействию, а дидактические требования определяют необходимость формирования систем обучения, в том числе интегрированного, на уровне межсистемного взаимодействия.

Формулировка целей статьи

В связи с отсутствием общесистемных методов интеграции структур, рассмотрим управление процессом интегрирования содержания обучения. Так как модель монопредметной дисциплины представима в виде иерархии «курс-раздел-тема-учебный элемент (УЭ)», то объектом интеграции является иерархическая структура. Особенность процесса обучения, как нелинейного, слабоформализованного процесса, определила в качестве средства интеллектуальной поддержки интегрирования использование нейросетевого подхода. Поэтому целью данной статьи является исследование особенностей применения нейросетевого подхода к

интегрированию иерархических структур в рамках целенаправленного процесса формирования должностных компетенций.

Модель интеграции иерархических структур

Рассмотрим процесс интеграции двух систем, имеющих иерархическую структуру. В общем виде каждая из иерархических структур имеет вид графа [3].

Одним из основных отношений в структуре учебного курса является «часть - целое», которое можно представить теоретико-множественной операцией объединения $A = \bigcup_{i \in I} A_i$, где i пробегает

индексное множество I , представляющее совокупности объединяемых частей A_i в целое A . При многократном вложении операций объединения модель монопредметного учебного курса представляется графом $L_1 = (X_1, U_1, P_1)$, в котором множества вершин $X_1 \neq \emptyset$ и ребёр U_1 , $U_1 \cap X_1 \neq \emptyset$ отражают структуру объединения, а инцидентор P определяет упорядочение троек элементов x_1, y_1, u_1 , $x_1, y_1 \in X_1, u_1 \in U_1$. Так, для структур L_1 и L_2 (рис.1):

$$\forall u_1 \exists x_1, y_1 \{ P(x_1, u_1, y_1) \wedge \forall x'_1, y'_1 [P(x'_1, u_1, y'_1) \Rightarrow (x_1 = x'_1, y_1 = y'_1)] \}; \quad (1)$$

$$\exists x_1, y_1 \{ x_1 \neq y_1 \wedge P(x_1, u_1, y_1) \wedge \neg P(y_1, u_1, x_1) \} \quad (2)$$

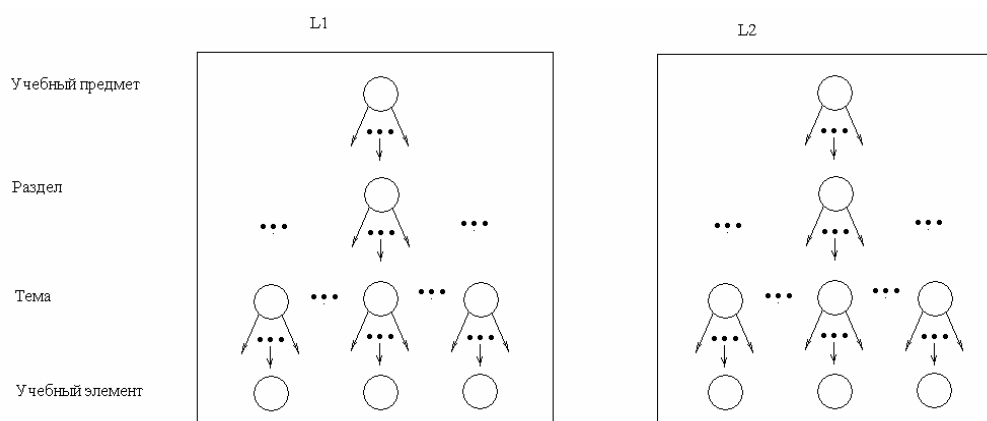


Рисунок 1 - Схема интегрируемых иерархических структур

Система межпредметных связей описывается с помощью нечёткого бинарного отношения $R: L_1 \times L_2$. Данное отношение представимо в виде:

$$R = \sum_{L_1 \times L_2} \frac{\mu_R(L_1, L_2)}{(L_1, L_2)} \quad (3)$$

Модель интеграции, как управляемого процесса, можно определить в виде зависимости:

$$L_3 = F(L_1, L_2, R: L_1 \times L_2, P), \quad (4)$$

где P - правила интегрирования, зависящие от ступени иерархии интегрируемых элементов.

Таким образом, задача управления интеграцией иерархических структур L_1 и L_2 сводится к определению элементов L_3 в зависимости от системы межпредметных связей R на основе базы правил, содержащих экспертную информацию о целесообразности включения взаимосвязей для формирования межпредметных компетенций.

Формирование управляющих воздействий

Для использования предложенной модели наилучшим образом подходит пакет Fuzzy Logic Toolbox системы Matlab [4], т.к. он обладает возможностью построения адаптивных нечётких нейронных сетей. Полученные результаты значений функции принадлежности используются на этапе применения нейронной сети в качестве весовых коэффициентов, отражающих степень взаимосвязи между УЭ интегрируемых курсов. В результате обучения, данные для которого подготавливаются экспертами – преподавателями-предметниками на основе заполнения попарно предъявляемых УЭ, представляют собой значения лингвистической переменной. Функция принадлежности для данной лингвистической переменной имеет вид Гауссовой функции, является обработкой результатов, полученных от экспертов. В качестве термов были использованы следующие значения: $T_\varepsilon = \{ \text{«отсутствует»}, \text{«скорее всего целесообразна»}, \text{«определённо целесообразна»} \}$. В результате применения нейро-нечёткой системы получаем структуру интегрированного контента с заданной степенью интеграции.

Так как мнения экспертов, на основе которых сформулированы правила, не могут быть выражены точными числовыми значениями, то они образуют систему нечётких правил. Для определения управляющего воздействия, выражающегося в инициализации очередного УЭ, основанным является выбор нейро-нечёткой сети [5]. К очевидным достоинствам такого подхода относится заимствованная от нейронных сетей способность к обучению совместно с возможностью модификации нечётких правил принятия решений.

Кроме того, синтез указанных интеллектуальных средств позволяет выполнить первоначальное проектирование нейронной сети на основе экспертных оценок с последующим оцениванием корректности функционирования такой системы. В случае неудовлетворительных значений степени интеграции системы L_3 , правила могут быть уточнены.

Разработанная нейро-нечёткая модель служит основой для генерации последовательности изучения УЭ интегрированного курса. Таким образом, возможна автоматизация весьма сложного и трудоёмкого процесса по формированию структуры интегрированного курса.

Практическая реализация

Для реализации информационной подсистемы, выполняющей интеграцию последовательности УЭ, использован пакет Fuzzy Logic Toolbox, входящий в состав системы Matlab. С помощью редактора нечётких нейронных систем ANFIS Editor осуществляется создание структуры нечёткой нейронной сети, просмотр структуры, настройка её параметров, проверка качества функционирования сети.

На рис. 2 показана структура «обученной» нейро-нечёткой сети, с помощью которой по входным переменным – элементам L_1 и L_2 на основе базы нечётких правил определяется вхождение УЭ в L_3 .

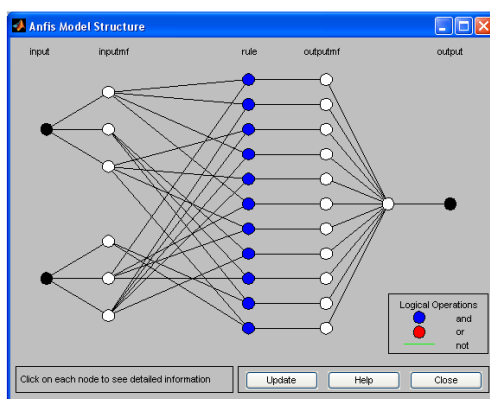


Рисунок 2 - Структура «обученной» нейросети

Выводы и перспективы дальнейших исследований

На примере интеграции структур монопредметных учебных курсов показана возможность применения нейро-нечёткого управления процессом интегрирования иерархических структур с использованием экспертной информации в виде нечётких правил, что

позволит создать интеллектуальную поддержку преподавателю по формированию структуры интегрированных курсов. Дальнейшие исследования направлены на увеличение количества интегрируемых структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клепко С.Ф. Интегративна освіта і поліморфізм знання. – Харків, 1988. – 762 с.
2. Месарович М, Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 342 с.
3. Мазурок Т.Л., Тодорцев Ю.К. Актуальные направления интеллектуализации системы управления процессом обучения //Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2007. - №1. – с.93-97.
4. Леоненков А.В. Нечёткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTEACH. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 736 с.
5. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

Получено 07.03.2008 г.

ФОРМАЛЬНЫЕ ОНТОЛОГИИ В МОДЕЛИРОВАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Введение

Современное состояние развития информационно-управляющих систем в составе автоматизированных систем проектирования и производства имеет ряд принципиальных ограничений связанных с используемыми платформами концептуально-логического проектирования [1]. Для автоматизации решения сложных современных научно-практических задач, как правило, недостаточно возможностей обычных баз данных или систем Datawarehouse. Базы данных, обеспечивая хранение четко структурированных данных, создают удобную среду функционирования для детерминированных алгоритмически определяемых процессов, но не эффективны для представления слабоструктурированной информации. Напротив, системы Datawarehouse, предназначенные для хранения нетипизированной или слабо структурированной информации требуют существенной интеллектуализации систем обработки [1].

Рассмотрим проблемы связанные с использованием интеллектуальных информационных технологий в данной области [2].

Цель

Целью работы является разработка системы онтологий для моделирования содержательных когнитивных структур в интеллектуальных информационных системах и формальных методов ее построения. Такие модели должны стать базой для решения задач анализа и синтеза информационных структур.

Материал и результаты исследований

Построение некоторой онтологии $O = \langle T, D \rangle$ обычно подразумевает создание таксономии понятий T и системы определений узловых понятий D . Большой объем работы и высокие требования к квалификации разработчиков не позволяет широко

использовать онтологии в интеллектуальных информационно-управляющих системах общего назначения и сверхбольших репозиториях баз знаний. Автоматизация онтологических исследований происходит в основном за счет стандартизации документов и процессов с последующей разработкой документирующего инструментария. Хорошим примером может служить методология IDEF (Integrated DEFinition LMethods) из семейства Integrated Computer-Aided Manufacturing (ICAM) для решения подобных задач моделирования сложных систем [3]. Данная методология (IDEF 0- IDEF 14) позволяет решать задачи отображения и анализа моделей деятельности различного рода сложных систем. В стандарте онтологического исследования (Ontology Description Capture) сложных систем по методологии IDEF5 [4] онтология системы может быть описана при помощи словаря терминов и правил формирования достоверных утверждений о системе.

Основные проблемы алгоритмизации онтологических исследований находятся в плоскости обработки отношения «означаемое - означающее», поскольку семантика понятий обычно лежит непосредственно в предметной области, т.е. за пределами формальной системы.

Для решения задач формально алгоритмического построения онтологий в системах с обобщенным дискурсом (текстологические, музыкально нотационные, чертежно-графические) предлагается использовать в качестве исходного материала большой объем уже накопленных в машинной форме данных из соответствующей предметной области – стандарты, отчеты, схемы, и пр. Поскольку накопленный материал составлен специалистами соответствующей предметной области, полученный обобщенный дискурс является отражением исторически сложившихся онтологий. Сложившиеся когнитивные структуры можно извлечь методами кластерного анализа. Выбор дискурса для включения в базу анализа должен осуществляться разработчиком онтологии. Т.е. кластерный анализ и методы семантической классификации употребления понятий при большом объеме информации дают возможность построить многоуровневую формальную таксономию без непосредственного привлечения экспертов.

Покажем возможности и ограничения метода формальных онтологий. Обозначим через ${}^n\Lambda = \{\lambda_i | i = \overline{1, n_\lambda}\}$ базовое множество онтологии – множество базовых объектов для ее построения (слова, муземы). Тогда естественной онтологией можно назвать любую пару вида ${}^nO = \langle {}^nB({}^n\Lambda), \Sigma \rangle$, где база онтологии ${}^nB({}^n\Lambda) \subset \tilde{\beta}({}^n\Lambda)$ является несобственным подмножеством гипербулеана над базовым множеством, а семантическая функция $\Sigma : {}^nB({}^n\Lambda) \rightarrow {}^n\Lambda$ именуется семантическими категориями. Формальная онтология первого порядка ${}^1O = \langle {}^1B({}^n\Lambda), \Sigma \rangle$ не оперирует структурами семантических категорий и не поддерживает именования. Т.е. семантические категории являются простыми подмножествами базового множества ${}^1B({}^n\Lambda) \subset \beta({}^n\Lambda)$ и для них задана некоторая нумерация $\mu : {}^1B({}^n\Lambda) \rightarrow \mathbb{N}$. Очевидно, что построение формальных онтологий более высоких порядков потребует последовательной детализации структуры онтологий.

Для отображения структуры псевдокатегоризации, составляющей основу формальной онтологии можно использовать два подхода. Первый основан на методах поиска в ширину. На каждом шаге категоризации ограничивается единичный уровень кластеризации понятий. При этом понятия могут агрегировать понятия всех уже сформированных уровней

$$\begin{aligned} {}^nO &= \langle {}^nB(\Lambda), \Sigma \rangle \\ {}^nB(\Lambda) &\in 2^{\bigcup_{j=0}^{n-1} ({}^jB(\Lambda))} \end{aligned} \quad (1)$$

в которых реализуется необъединяющее агрегирование множеств.

Отсутствие именований и структур категорий допускает формальное построение системы онтологий первого уровня. Наличие онтологий, ориентированных на конкретные предметные области создает базу для построения семиотических моделей текстов с последующим выделением актантов. Второй подход использует идеи поиска в глубину. Т.е. категоризация происходит без ограничения степени вложенности агрегирования. Создаваемые при этом формальные понятия

$$O = \{k = \langle B(\Lambda), \Sigma \rangle\} \quad (2)$$

являются классами множеств, строящимися, в отличие от (1), на основании объединяющего агрегирования

$$B(\Lambda) \in 2^{\bigcup_{j=0}^{\infty} ({}^j B(\Lambda))} \quad (3)$$

В обоих подходах используется идентифицирующая именуемая функция

$$\begin{aligned} \Sigma : {}^n O \rightarrow N, \exists \Sigma^{-1} : N \rightarrow {}^n O \cup \{\emptyset\} \\ \Sigma : O \rightarrow N, \exists \Sigma^{-1} : N \rightarrow O \cup \{\emptyset\} \end{aligned} \quad (4)$$

Для которой должна существовать обратная функция Σ^{-1} – функция выборки. Обратная функция доопределена таким образом, чтобы для идентификаторов, не соответствующих формальным категориям, построенным в результате анализа, она возвращала фиктивную категорию $\{\emptyset\}$.

При необходимости функции именования для открытых систем общего назначения строятся методом естественных фолксономий [4].

Выводы

Построенные формальные категории позволяют создать формальную таксономию на основании полностью алгоритмизированной обработки больших и сверхбольших информационных массивов. Формальные таксономии обладают принципиальными отличиями от использующихся в существующих понятиях онтологий. Первое принципиальное отличие состоит в том, что графовой моделью формальной онтологии является не корневое дерево, а ориентированный ациклический граф с заданным истоком и множеством стоков, соответствующих единичным и конкретным понятиям. Второе отличие состоит в отсутствии именования категорий, что снимает проблему релевантности естественного языка предметной области. Построенные таким образом системы понятий не удобны для использования людьми, но полностью соответствуют своему назначению – служить основой для анализа и синтеза когнитивных структур интеллектуальных информационных и управляющих систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мазурок И.Е. Формальное описание класса информационных систем основанных на знаниях// 36.статей: Нові інформаційні технології навчання в учбових закладах України, 1998. - вип.VI. - С.217-226.

2. Мазурок И.Е. Метамоделирование содержательной части систем, основанных на знаниях// Материалы V семинара “Моделирование в прикладных научных исследованиях”. – Одесса: Од.гос.политехн.ун.-т.– 1998.– С.51-55.
3. Ziyu Liu, Lei Huang. Research on Process-Oriented Enterprise Knowledge Modeling and Integration Management Based on Ontology// Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems II Volume 1. 2007, pp. 349-357.
4. Robert Jdschke, Andreas Hotho, Christoph Schmitz, Gerd Stumme. Analysis of the Publication Sharing Behavior in BibSonomy// Conceptual Structures: Knowledge Architectures for Smart Applications. – Volume 4604/2007, pp. 283-295.

Получено 15.03.2008 г.

УДК 004.942:004.056.53

А.И. Михалев, Ю.О. Калиберда

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИММУННОГО ОТВЕТА НА ВТОРЖЕНИЕ В КОМПЬЮТЕРНУЮ СЕТЬ

Введение

В настоящее время основные параметры практически всех технологических процессов контролируются компьютерными системами под управлением мощных серверов, которые, как правило, соединены между собой в локальные или корпоративные сети предприятий. Для повышения надежности и долговечности такого класса сложных технических систем необходима защита сетей как от вторжений извне, так и от ошибок пользователя.

В то же время, современные программные средства обеспечения информационной безопасности, реализующие методы сигнатурного анализа для выявления вторжений, или методы статистического анализа для выявления аномалий, не могут обеспечить гарантированной или даже приемлемой защиты кибернетического пространства компьютерных систем и корпоративных сетей от нарастающей угрозы все новых и разнообразных атак [2].

В данной работе рассмотрена математическая модель отражения атак извне, основанная на принципах иммунного ответа [1,3]

Математическая модель иммунного ответа

Пусть основными действующими факторами вторжения и иммунного ответа являются следующие величины:

$V(t)$ — концентрация антигенов в момент времени t . Под антигеном понимается количество вторжений и вредоносных действий.

$F(t)$ — концентрация антител в момент времени t . Под антителами понимаются, принятие соответствующих правила и действий, способствующие предотвращению негативного воздействия на компьютерную сеть.

$C(t)$ — концентрация детекторов. Количество детекторов, способных определить вредоносный код, несанкционированные действия, аномальное поведение сети, и т.д.

Математическое описание динамики иммунного ответа представляет собой систему трех дифференциальных уравнений.

Первое уравнение характеризует изменение числа антигенов:

$$dV = \beta V dt - \gamma F V dt. \quad (1)$$

Здесь, первый член уравнения описывает прирост антигенов dV за интервал времени dt . Как видно, он пропорционален V и некоторому числу β , которое будем называть коэффициентом «размножения» антигенов. В данном контексте размножение следует понимать как увеличение количества атак или вредоносных действий на компьютерную сеть. При этом член $\gamma F V dt$ описывает число антигенов, нейтрализуемых антителами F за интервал времени dt , где γ — коэффициент, связанный с вероятностью предотвращения несанкционированных действий.

Второе уравнение описывает рост числа детекторов. При этом число детекторов зависит от количества вторжений в данный момент времени:

$$dC = \alpha V(t - \tau) dt - \mu_c dt. \quad (2)$$

В данном уравнении, первый член в правой части описывает генерацию детекторов; τ — время, в течение которого осуществляется формирование каскада детекторов. В свою очередь, второй член в этой формуле описывает уменьшение числа детекторов, μ_c — коэффициент, характеризующий время работы детектора.

Третье уравнение математической модели иммунного ответа характеризует баланс числа антител, реагирующих с антигеном:

$$dF = \rho C dt - \eta \gamma F V dt - \mu_f F dt. \quad (3)$$

Здесь, первый член $\rho C dt$ описывает генерацию антител детекторами за интервал времени dt ; ρ — скорость производства антител одним детектором. Слагаемое $\eta \gamma F V dt$ описывает уменьшение числа антител в интервале времени dt за счет взаимодействия с вторжениями;

$\mu_f F dt$ описывает уменьшение популяции антител за счет прекращения активности данного вторжения; μ_f — коэффициент, характеризующий время работы антител.

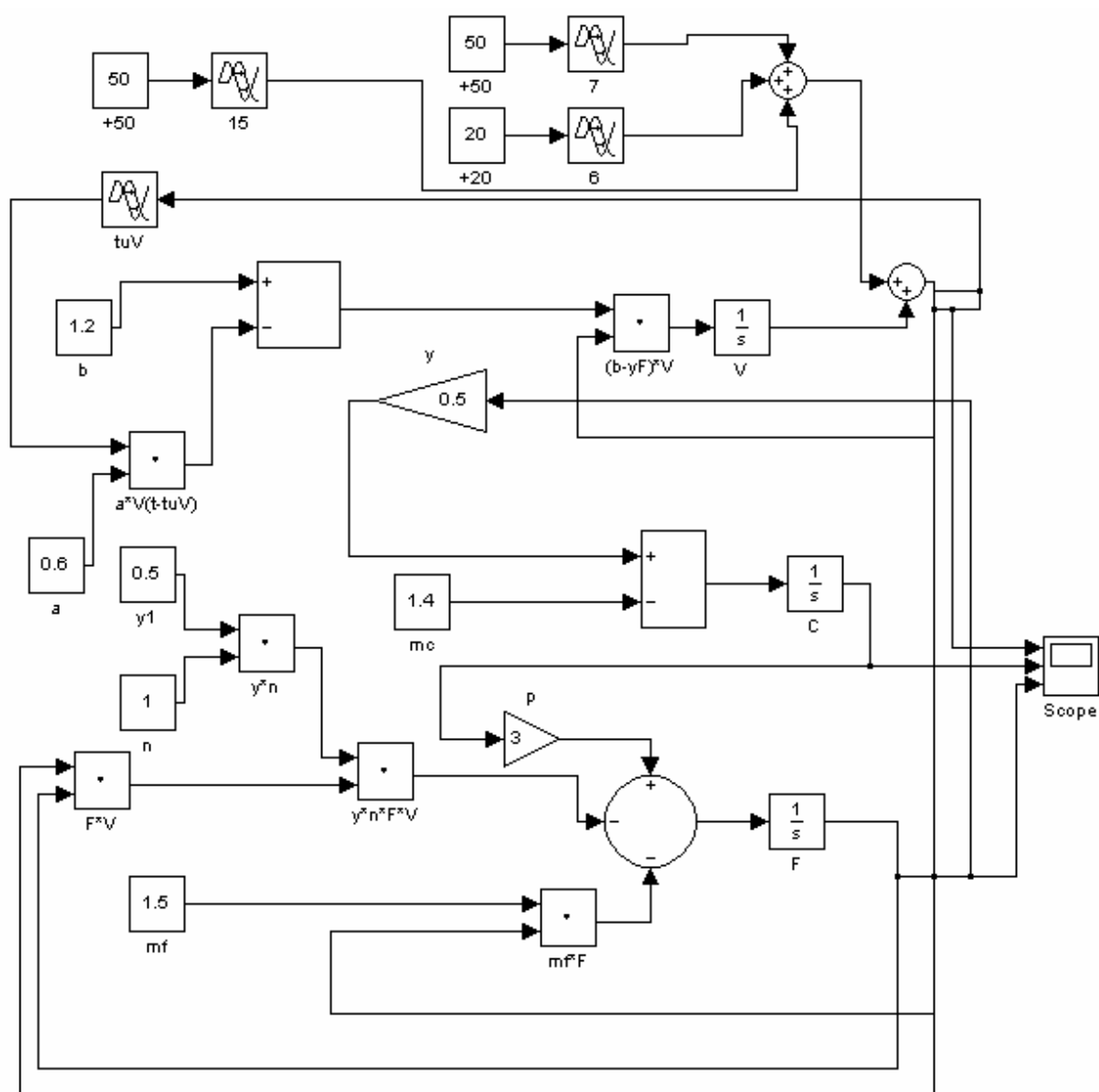


Рисунок 1 – Программная реализация модели (1-3) в среде Simulink

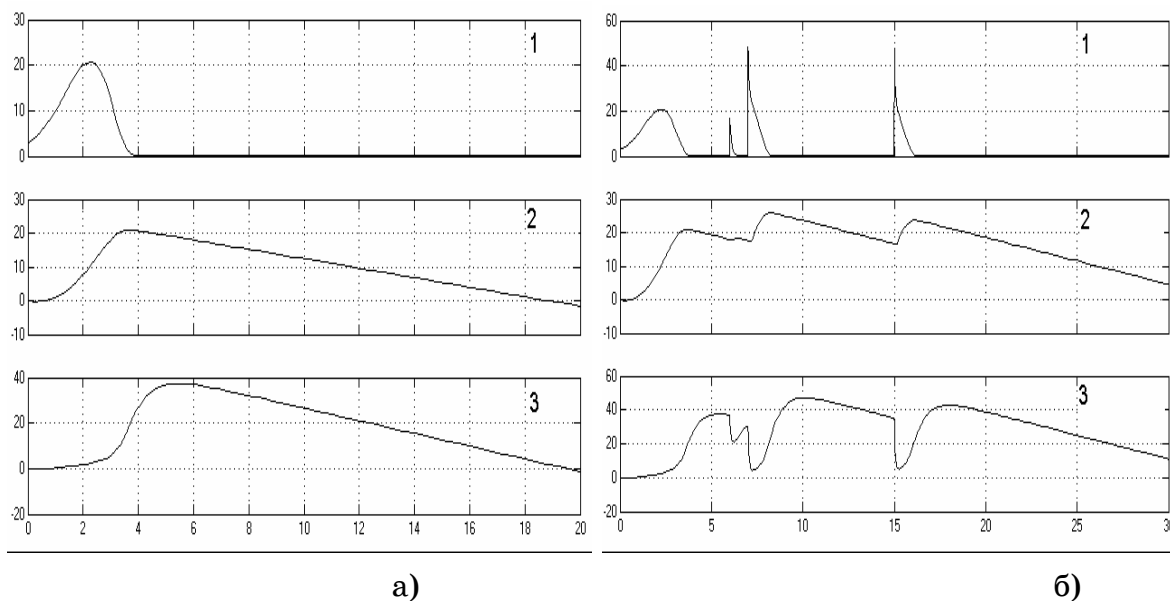


Рисунок 2 – Иллюстрация работы системы (1 – количество атак; 2 – количество детекторов; 3 – количество антител): а) – система подвергнута единственной атаке; б) – система подвергнута нескольким атакам через некоторый промежуток времени;

Вывод

Как видно из приведенного выше, система, испытавшая атаку, вырабатывает антитела, которые предотвращают данное вторжение (рис.2.а). Однако, в случае повторной атаки, когда система еще не вышла из режима повышенной защиты, возникающие вновь атаки, также эффективно пресекаются, не нагружая при этом систему для выработки новых антител (рис 2.б).

ЛИТЕРАТУРА

1. Михалев А.И., Калиберда Ю.О. Применение искусственных иммунных систем для выявления аномалий в сетевом трафике // Міжнародна наукова конференція Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій (ISDMIT' 2006) 2006 (2) - с.215-217.
2. D. Dasgupta and S. Forrest. Artificial Immune Systems in Industrial Applications. In the proceedings of the Second International Conference on Intelligent Processing and Manufacturing of Materials (IPMM), Honolulu, July 10-15, 1999.
3. Dominik Wodarz. Mathematical and Computational Approaches to Immunology, 2007.

Получено 17.03.2008 г.

УДК 681.518.25

А.И. Михалев, Н.В. Лысая, Д.А. Лысый

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МНОГОМОДЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА ОБУЧЕНИЯ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОСЕТЕЙ

Нечеткие нейросетевые (гибридные) методы могут рассматриваться как основа для проведения синергетического синтеза эффективных алгоритмов моделирования поведения сложных динамических систем [2,4]. В свою очередь, они, зачастую, оказываются и более эффективными в задачах прогнозирования поведения существенно нелинейных объектов, в то время как классические методы не обеспечивают приемлемого качества прогноза, а нейронные сети требуют слишком много времени на обучение. Это свойство нечетких систем может быть использовано для выявления закономерностей в стохастических процессах и предсказания их поведения в будущем.

Ставится задача синергетического синтеза алгоритма обучения гибридных (fuzzy-neuro) моделей производственных процессов при отсутствии априорной информации о входах и выходах исследуемого объекта.

Пусть динамика производственного процесса описывается уравнением вида:

$$y(k) = F(x(k)) + \eta(k), \quad (1)$$

где $x(k) = (u(k-1), \dots, u(k-N_b), y(k-1), \dots, y(k-N_a))^T = (x_1(k), \dots, x_{N_v}(k))^T$ - обобщенный вектор входов, $u(k)$, $y(k)$, $\eta(k)$ - сигналы входов, выходов и возмущений соответственно в дискретные моменты времени $k = 0, 1, 2, \dots$; N_a, N_b - порядок модели по выходу и входу соответственно.

В соответствие прогнозируемому поведению процесса предлагается ставить комбинированную модель, состоящую из N нечетких нейросетей одинаковой структуры - модели Такаги-Сугено первого порядка в виде 5-слойной нечеткой нейросети. При этом в 1-м слое сети выполняется фаззификация входов; во 2-м слое вычисляются степени выполнения правил; 3-й слой выполняет нормализацию степеней выполнения правил; в 4-м слое вычисляются

значения консеквентов и значения выходов правил; в 5-м слое выполняется дефаззификация (суммирование значений выходов правил) и вычисляется значение выхода сети.

В качестве функций принадлежности входных переменных нейросети выбирались функции Гаусса:

$$\mu = \exp\left(-\frac{(x - c)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2)$$

где c , σ - центр и ширина функции принадлежности входа соответственно.

Настройка параметров сети осуществлялась с помощью алгоритма Марквардта, модифицированного следующим образом [1]:

$$\begin{cases} \Omega(k) = \Omega(k-1) + q^{-1}(k)J(k)e(k), \\ q(k) = \alpha q(k-1) + \|J(k)\|^2, \quad 0 \leq \alpha \leq 1. \end{cases} \quad (3)$$

где $\Omega(k)$ - вектор настраиваемых параметров функций принадлежности входов нейросети, $J(k)$ - вектор, содержащий градиенты сети по настраиваемым параметрам антецедентов всех правил в момент времени k , $e(k) = y(k) - \hat{y}(k)$ - ошибка идентификации на итерации k .

Процедуру настройки параметров консеквентов можно представить как линейную модификацию процедуры (3):

$$\begin{cases} \Theta(k) = \Theta(k-1) + r^{-1}(k)e(k)\Psi(k), \\ r(k) = \beta r(k-1) + \|\Psi(k)\|^2, \quad 0 \leq \beta \leq 1. \end{cases} \quad (4)$$

здесь $\Theta(k)$ - вектор настраиваемых параметров консеквентов, $\Psi(k) = (\bar{w}_1(x(k))\tilde{x}(k), \dots, \bar{w}_{n_R}(x(k))\tilde{x}(k))^T$ - дополнительный вектор входов, $\bar{w}_i(x)$ - нормализованные степени выполнения правил, $\tilde{x} = (x^T, 1)^T$ - расширенный вектор входов.

Для повышения скорости обучения и качества прогноза в работе предлагается осуществлять обучение гибридных моделей с применением синергизированного подхода [4, 5].

Применим принцип многомодельного подхода [6] к синтезу алгоритма прогнозирования характеристик производственного процесса с помощью нечетких нейросетей. Для этого в соответствие прогнозируемому поведению процесса ставится комбинированная модель, состоящая из N нечетких нейросетей (моделей Такаги-Сугено первого порядка), параметры антецедентов которых настраиваются с

помощью методов нелинейной оптимизации, а параметры консеквентов – в контурах параметрической настройки идентификаторов. Кроме того, в процессе настройки параметров сетей применяется подход, сочетающий в себе адаптивную и синергичную стратегии настройки. Адаптивный подход позволяет осуществить настройку параметров каждой из N нечетких нейросетей на основе текущей информации с целью достижения оптимального критерия качества прогноза, а синергичный подход дает возможность реализовать обмен информацией между сетями с целью построения наиболее эффективной стратегии оптимизации этого критерия.

Вектор параметров antecedentes моделей $\Omega(k)$ преобразуется в матрицу $\Omega_i(k)$, $i = \overline{1, N}$. При этом выражение для выхода каждой из N моделей примет вид:

$$\mathbf{f}_i = \Theta_i^T \Psi_i,$$

где Θ_i – матрица параметров консеквентов правил, Ψ_i – дополнительный вектор входов i -й модели.

Для настройки параметров antecedentes и консеквентов используются процедуры (3), (4), модифицированные для настройки параметров N моделей:

$$\begin{cases} \Omega(k) = \Omega(k-1) + q_i^{-1}(k) J_i(k) e_i(k), \\ q_i(k) = \alpha_i q_i(k-1) + \|J_i(k)\|^2, \quad 0 \leq \alpha_i \leq 1. \end{cases} \quad i = \overline{1, N}, \quad (5)$$

$$\begin{cases} \Theta(k) = \Theta(k-1) + r_i^{-1}(k) e_i(k) \Psi_i(k), \\ r_i(k) = \beta_i r_i(k-1) + \|\Psi_i(k)\|^2, \quad 0 \leq \beta_i \leq 1. \end{cases} \quad i = \overline{1, N}. \quad (6)$$

Здесь $e_i(k) = y(k) - \mathbf{f}_i(k)$ – ошибка i -й модели.

Как следует из (5) и (6), каждая модель обладает своими скалярными коэффициентами «забывания» α_i, β_i и своими параметрами $q_i(k), r_i(k)$, которые обеспечивают независимость поисковых движений в процессе настройки параметров i -й модели.

Критериями процесса синергирования моделей выступают четные функции ошибок в виде функции качества:

$$\begin{aligned} f_i(k) &= \exp(-\gamma e_i^2(k)) \text{ или} \\ \mathbf{f}_i(k) &= \exp[f_i(k)], \quad \gamma > 0, \quad i = \overline{1, N}, \end{aligned} \quad (7)$$

где γ – весовой коэффициент, $\gamma = const$.

Выбор оптимальных на шаге k параметров каждой из N моделей осуществляется по синергийной стратегии в соответствии с алгоритмом [3]:

$$\Xi_i(k) = \begin{cases} \Xi_r(k) & \text{при } \forall \Delta f_i(k-1) \leq 0 \text{ и } |f_r(k-1) - f_{\text{э}}| = \min |f_i(k-1) - f_{\text{э}}|, \\ \Xi_i(k) & \text{при } \Delta f_i(k-1) > 0 \text{ и } \forall \Delta F_p(k-1) \leq 0, (p \neq i) \text{ или } \Delta^2 f_i(k-1) > 0, \\ \Xi_s(k) & \text{при } \forall \Delta f_i(k-1) \leq 0 \text{ и } \Delta f_s(k-1) > 0, (s \neq i). \end{cases}$$

Здесь $\Xi_i(k) = (\Omega_i(k), \Theta_i(k))$ – набор параметров антецедентов и консеквентов i -й модели; $\Delta^2 f_i(k-1)$ – вектор приращения второго порядка функции качества настройки i -й модели; $f_{\text{э}}$ – экстремальное значение функций $f_i(t)$; $|f_i(k-1) - f_{\text{э}}| \leq \varepsilon$ – критерий выбора нелинейной модели, настроенной наилучшим образом, при условии неудачной настройки параметров на $k-1$ шаге для всех N нейросетей ($\forall \Delta f_i(k-1) \leq 0$). При этом, если наилучшей моделью на шаге k оказалась нейросеть с индексом $i=m$, т.е. норма $\|\Xi_i(k) - \Phi(k)\| \leq \varepsilon$, ($\forall \varepsilon > 0$), где $\Phi(k)$ – набор параметров прогнозируемого процесса, то в соответствии с синергийной стратегией в этот момент произойдет переключение всех нелинейных моделей на модель с индексом m :

$$\Omega_i(k) = \Omega_m(k), \quad \Theta_i(k) = \Theta_m(k), \quad i = \overline{1, N}. \quad (8)$$

Предложенный алгоритм (5) - (8) реализует как возможность независимого поиска критерия оптимальности, который совершает каждая из N нечетких нейросетей (выражения (5),(6)) в процессе настройки своих параметров, так и одновременное эффективное взаимодействие всех N нелинейных моделей для оптимальной организации процесса настройки параметров (выражения (7) и (8)).

На рис. 1 - 3 представлены графики процесса настройки параметров нечетких нейросетей, обучающихся независимо по алгоритму (3) - (4) и этих же нейросетей, обучавшихся с применением синергированного подхода (алгоритм (5) – (6)), при прогнозировании зависимости процесса выплавки ферросплавов «Кратность шлака = $f(\text{Ств}/\text{Mn})$ ». При сопоставлении графиков заметно изменение процесса настройки параметров сети, обучающейся без синергии и сети, обучающейся с применением синергированного подхода.

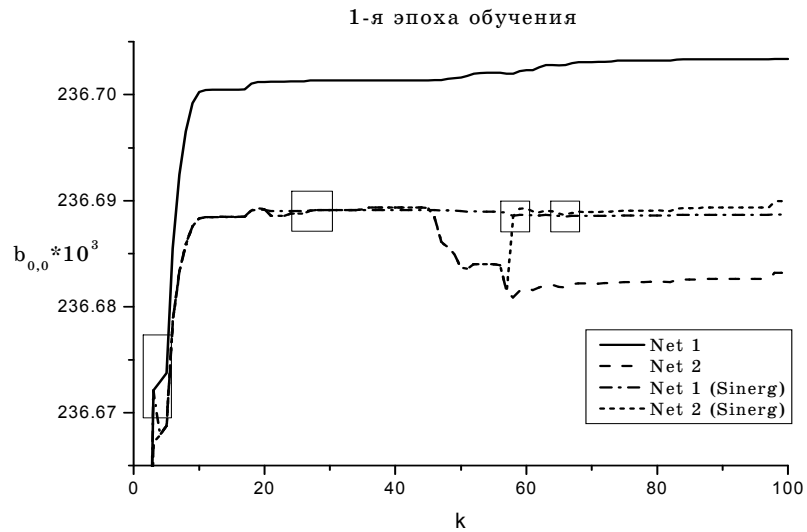


Рисунок 1 - Процесс настройки параметра $b_{0,0}$ (центра функции принадлежности 1-го входа) нечеткой нейросетевой модели: изменение параметра на 1-й эпохе обучения.

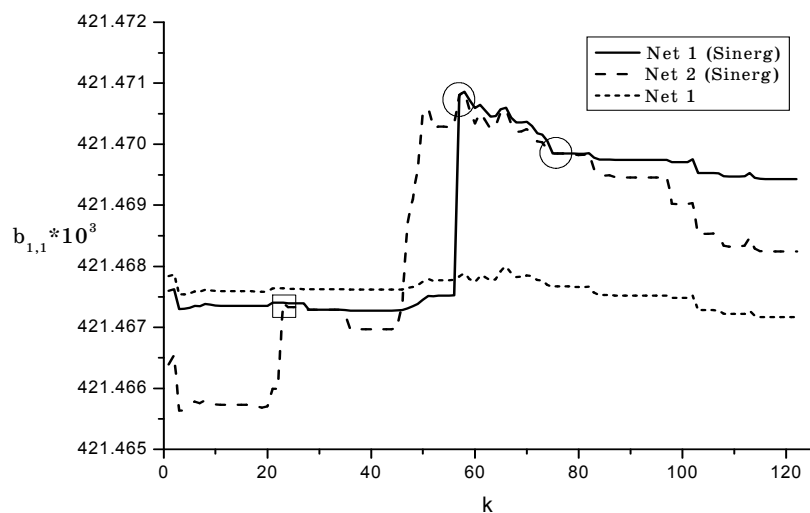


Рисунок 2 - Процесс настройки параметра $b_{1,1}$ (центра функции принадлежности 2-го входа) нечетких нейросетей в течение 2-й эпохи обучения

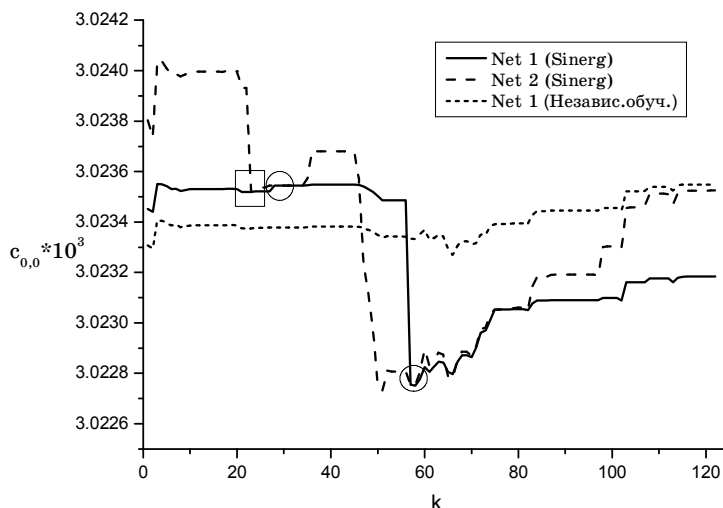


Рисунок 3 - Процесс настройки ширины функции принадлежности 1-го входа нечетких нейросетей на 2-й эпохе обучения

Заключение. Использование многомодельного подхода в сочетании с синергичной стратегией настройки параметров моделей позволяет существенно повысить не только скорость сходимости известных процедур настройки параметров нечетких нейросетей за счет задания различных начальных значений коэффициентов «забывания», одновременного задания нескольких начальных условий (аналог мультистарта), в соответствии с чем увеличивается вероятность удачного первого шага, но и точность аппроксимации и предсказания в целом. При этом увеличение числа синергизированных моделей дает практически неограниченные возможности для изучения поведения существенно нестационарных зависимостей. В то же время при выборе числа настраиваемых моделей необходимо учитывать априорную информацию о динамике объекта, чтобы необоснованно не усложнять систему введением дополнительных моделей, снижая тем самым ее быстродействие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бодянский Е.В., Колодяжный В.В. Об одном алгоритме обучения нейро-фаззи предиктора // Адаптивные системы автоматического управления. Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Вып. 3(23). - 2000. - С. 29-36.
2. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. – Таганрог, ТРТУ. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.
3. Михалев А.И. Алгоритм поисковой идентификации с синергизированными моделями существенно нестационарных динамических систем // Адаптивные системы автоматического

- управления. Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Вып. 20. - 1992. - С. 35-40.
4. Михалёв А.И., Власова Н.В. Синергичная стратегия настройки в прогнозирующих системах //Тез. докл. 2-ой Украинской конференции по автоматическому управлению (Автоматика-95), 24-30 сентября 1995 г.-Львов.-Т.3. – С. 93-94
 5. Михалев А.И., Власова Н.В. Адаптивные методы прогнозирования оптимального состава многокомпонентной шихты для получения ферросплавов //Материалы 4-ой Укр. конф. по автомат.упр. ("Автоматика-97"), 23-28 июня 1997 г. – Черкассы. – С. 100-101.
 6. Михалев А.И., Лысая Н.В. Многомодельный подход к прогнозированию состояний нестационарных динамических систем // Системные технологии. Компьютерная обработка экспериментальных данных: Регион. межвуз. сб. научн. тр. - Вып. 3. – Днепропетровск: "Системные технологии", 1998. – С. 99-105.

Получено 22.03.2008 г.

УДК 004.032.26

И.П. Плисс, С.В. Попов, Т.В. Рыбальченко

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УЗЛОВЫХ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ВСТРЕЧНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Введение и постановка задачи

Задача оперативного и краткосрочного прогнозирования электрических нагрузок последние тридцать лет является предметом интенсивных исследований, а ее рассмотрению посвящен практически необозримый объем публикаций во всем мире. Последние же годы особое внимание уделяется нейросетевому подходу [1, 2], который оказался особенно эффективен в условиях влияния неконтролируемых факторов, наличия нелинейностей и различного рода неопределенностей.

Подавляющее большинство публикаций при этом связано с анализом, моделированием и прогнозированием суммарной нагрузки рассматриваемой электроэнергетической системы, хотя не менее важной является задача прогнозирования нагрузок в узлах системы, которые определяются нагрузками множества потребителей, подключенных к этому узлу сети, и потерями мощности (включая «потери на корону») при передаче электроэнергии.

В принципе, при наличии достаточной ретроспективной информации о нагрузках в узлах, для прогнозирования можно использовать те же нейросетевые предикторы, что и для суммарной нагрузки. Здесь, однако, возникает проблема, состоящая в том, что вследствие влияния многочисленных возмущений и неопределенностей, прогноз нагрузки по энергосистеме в целом не совпадает с суммой прогнозных значений узловых нагрузок. Традиционно эта проблема «обходится» с помощью пропорционального распределения суммарной нагрузки и соответствующего ей прогноза между узлами. В этом случае, правда, приходится постоянно контролировать коэффициенты пропорциональности, а поскольку достаточно часто их рассчитывать весьма затруднительно, то точность прогнозирования существенно ухудшается.

Весьма изящно и эффективно эта задача была решена в [3] на основе инверсии многослойной нейронной сети прямого распространения. Суть данного подхода, вкратце, состоит в следующем: пусть имеются обучающие выборки по суммарной $y(1)$, $y(2)$, ..., $y(k)$, ... и узловым $y_q(1)$, $y_q(2)$, ..., $y_q(k)$, ..., $q = 1, 2, \dots, Q$ нагрузкам энергосистемы, где k имеет смысл текущего дискретного времени, Q – количество узлов в анализируемой системе. В качестве модели энергосистемы принимается трехслойный персептрон с Q входами и одним выходом, обучение которого производится на основе стандартного обратного распространения ошибки путем минимизации локальной целевой функции

$$E(k) = \frac{1}{2} e^2(k) = \frac{1}{2} \left(y(k) - F(W, y_1(k), y_2(k), \dots, y_Q(k)) \right)^2, \quad (1)$$

где $F(\cdot)$ – нелинейный оператор, реализуемый нейромоделью, W – множество настраиваемых синаптических весов, подлежащих определению. В результате обучения по выборке из N наблюдений получаем нелинейную модель, связывающую узловые и суммарную нагрузки выражением

$$\hat{y}(k) = F(W, y_1(k), y_2(k), \dots, y_Q(k)), \quad (2)$$

где $\hat{y}(k)$ – оценка фактического сигнала $y(k)$, полученная с помощью нейромоде-эмулятора.

Полагается также, что для моментов времени $k > N$ данных по узловым нагрузкам нет, а прогноз суммарной нагрузки $\hat{y}(k | k > N)$ реализуется с помощью некоторого другого предиктора, не использующего информацию о состоянии узлов. Задача инверсии нейросети состоит в нахождении оценок входных сигналов $\hat{y}_1(k | k > N)$, $\hat{y}_2(k | k > N)$, ..., $\hat{y}_Q(k | k > N)$ по информации о прогнозе $\hat{y}(k | k > N)$.

Несмотря на достаточно высокое качество получаемых прогнозов, данному подходу присущи все недостатки систем, построенных на основе многослойных персептронов. Это, прежде всего, низкая скорость обучения и необходимость использования многократного прохода по эпохам, численная громоздкость, необходимость наличия достаточно больших по объему обучающих выборок, возможность переобучения и паралича сети, в общем, все то, что привело к поиску

иных нейроархитектур и алгоритмов обучения, лишенных недостатков персептронов, однако обладающих необходимыми аппроксимирующими свойствами.

Нейронная сеть встречного распространения

Наиболее приемлемой для решения рассматриваемой здесь задачи, на наш взгляд, является гетерогенная нейронная сеть встречного распространения, предложенная Р. Хехт-Нильсеном [4-6] в качестве альтернативы многослойным сетям с прямой передачей информации, обучаемым на основе обратного распространения ошибки. Эта сеть сокращает время обучения, как минимум, на порядок по сравнению с многослойным персептроном [7, 8], хотя незначительно проигрывает ему по точности. Исходно нейросети встречного распространения были разработаны для аппроксимации по экспериментальным данным некоторого отображения «вход–выход», задаваемого оператором F , и нахождения обратного оператора F^{-1} , хотя более корректно было бы говорить о псевдообратном операторе F^+ [9]. В общем случае сеть встречного распространения представляет собой гибрид самоорганизующейся карты Т. Кохонена и звезд С. Гроссберга и соответственно сочетает в себе конкурентное самообучение с контролируемым обучением с учителем.

К настоящему времени известен ряд вариантов сетей встречного распространения, наиболее приемлемым из которых для обратного моделирования является двунаправленная (полная) сеть встречного распространения, архитектура которой для решаемой нами задачи приведена на рис 1.

Данная сеть имеет $Q+1$ входов и столько же выходов, которые могут быть разбиты на две секции (показаны пунктиром), и фактически представляет собой комбинацию двух однонаправленных сетей с общим слоем Кохонена. Уникальным же свойством двунаправленной сети встречного распространения является возможность восстановления не только $F: y_{NOD} = (y_1, y_2, \dots, y_Q)^T \rightarrow y$, но и псевдообратного отображения $F^+: y \rightarrow y_{NOD}$, что, собственно, и требуется в рассматриваемой нами задаче.

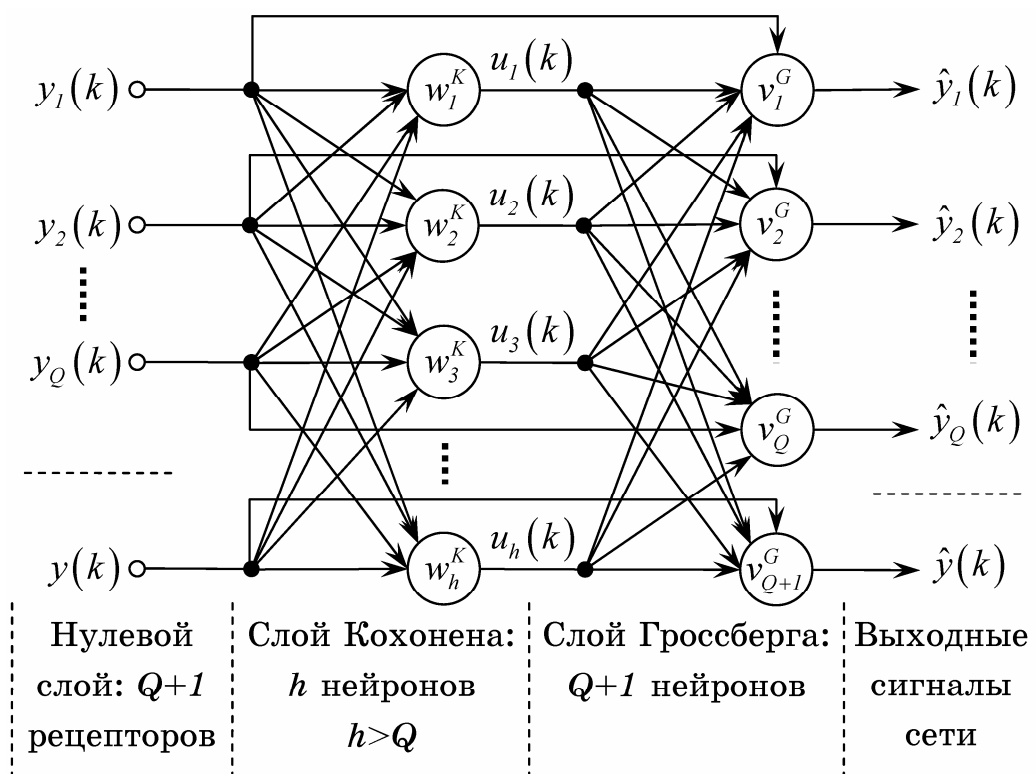


Рисунок 1 – Двухнаправленная нейронная сеть встречного распространения в задаче прогнозирования узловых нагрузок

Обучение нейронной сети встречного распространения

Обучение нейронной сети встречного распространения происходит в два этапа. На первом этапе по данным выборки $y_{NOD}(1), y(1); y_{NOD}(2), y(2); \dots; y_{NOD}(N), y(N)$ в слое Кохонена происходит процесс самоорганизации, в результате которого входное пространство разбивается на h кластеров, при этом, как правило, реализуется стратегия самообучения типа «победитель получает все». На втором этапе по выборке данных в соответствии с правилом обучения выходной звезды [7] настраивается выходной слой, т.е. фактически происходит уточнение только тех весов, которые связывают нейрон Гроссберга с нейроном-победителем слоя Кохонена.

В результате, если на обученную сеть подать сигнал, не принадлежащий обучающей выборке, то сначала в слое Кохонена будет установлена его принадлежность определенному кластеру, после чего нейрон-победитель «возбудит» звезду Гроссберга так, что на выходе появится сигнал, соответствующий координатам прототипа (центроида) этого кластера.

Обученная двухнаправленная сеть встречного распространения может работать в нескольких режимах одновременно: восстановление

прямого оператора $F: y_{NOD} \rightarrow y$, восстановление псевдообратного оператора $F^+: y \rightarrow y_{NOD}$, а также как авто-, так и гетероассоциативные нейросетевые памяти.

Заключение

Решена задача прямого и обратного моделирования узловых и суммарной нагрузок электроэнергетической системы на основе нейросетевого подхода. В основу решения положено использование искусственной нейронной сети встречного распространения, являющейся комбинацией самоорганизующейся карты и выходных звезд. Численная простота и высокая скорость обучения при решении рассматриваемой задачи обеспечивают данному классу нейросетей преимущество перед традиционными многослойными персептронами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hippert H.S., Pedreira C.E., Souza R.C. Neural networks for short-term load forecasting: a review and evaluation // IEEE Trans. Power Syst. – 2001. – 16. – N. 1. – P. 44–55.
2. Haque M.T., Kashtiban A.M. Application of neural networks in power systems; a review // Proc. World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2005. – 6. – P. 53–57.
3. Шумилова Г.П., Готман Н.Э., Старцева Т.Б. Прогнозирование нагрузки узлов электроэнергетической системы с использованием инверсии искусственной нейронной сети // Электричество. – 2007. – N. 6. – С. 7–13.
4. Heht-Nielsen R. Counterpropagation networks // Applied Optics. – 1987. – 26. – P. 4979–4984.
5. Heht-Nielsen R. Counterpropagation networks // Proc. IEEE 1st Conf. on Neural Networks. – San Diego, CA, 1987. – 2. – P. 19–32.
6. Heht-Nielsen R. Application of counterpropagation networks // Neural Networks. – 1988. – No. 1. – P. 131–139.
7. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. – New Jersey: Prentice Hall, 1999. – 842 p.
8. Rojas R. Neural Networks. A Systematic Introduction. – Berlin: Springer-Verlag, 1996. – 502 p.
9. Алберт А. Регрессия, псевдоинверсия и рекуррентное оценивание. – М.: Наука, 1977. – 227 с.

Получено 11.03.2008 г.

МЕТОД И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕЧЕТКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Обоснование нечетко-статистического метода управления

Моделирование и регулирование сложных технологических процессов, для которых во многих случаях отсутствуют математические модели составляющих их объектов и общие законы управления, во многих случаях основывается на всестороннем анализе данных и результатов применения программно-целевого управления – мониторинге. Далее для определенности под сложными технологическими процессами будем понимать процессы управления грузовыми железнодорожными перевозками на полигоне железных дорог Украины, сведения о которых (с точностью до каждой технологической операции) непрерывно накапливаются в базах и хранилищах данных и преобразуются в базы знаний автоматизированных систем управления Укрзализныци. Ясно, что в данных мониторинга такого рода отражены все особенности объекта управления, реализации технологических процессов, а также организации управления ним на различных уровнях. Задача автоматизированного преобразования данных мониторинга в форму математических моделей анализа и управления, в данном случае на основе нечетких экспертных систем, представляет значительную научно-техническую проблему. Предлагаемый метод нечетко-статистического управления (НСУ) имеет целью объединить различные формы описания одного и того же процесса, характеризующие его нормативные (качественные, субъективные) и результирующие (эксплуатационные, фактические) параметры. Введение в модель задачи статистической информации, дополнительной по отношению к показателям степени принадлежности нечетких подмножеств, и представляющей некоторые другие свойства и особенности поведения исследуемых процессов, основывается, прежде всего, на различии между вероятностной и расплывчатой концепциями представления данных [1, 2]. Может быть определена вероятность расплывчатого события

как дополнительное свойство, чтобы получить более полное и точное описание исследуемого процесса. Согласно [1, стр. 183], расплывчатое событие A в пространстве R^n с заданной в нем вероятностной мерой P является расплывчатым подмножеством, когда его функция принадлежности μ_A измерима. Вероятность соответствующего расплывчатого события задается интегралом

$$P(A) = \int_{R^n} \mu_A(x) dP = \int_{R^n} (\mu_A(x) f_A(x)) dx, \quad (1)$$

где $f_A(x)$ – функция плотности. Таким образом, вероятность расплывчатого события определяется с помощью оператора математического ожидания $P(A) = E(\mu_A)$. Причем в уравнения вида (1) нечеткие и статистические величины входят одновременно и подобным образом, и это далее использовано в НСУ.

Классический модуль нечеткого управления на основе обработки лингвистических моделей рассматриваемых процессов основан на правилах нечеткой импликации $\mu_{A \rightarrow B}(x, y)$, и состоит из следующих этапов [2]: оценка текущего состояния и “фазификация” входных данных (оценка степеней принадлежности, сопоставление нечетких подмножеств и входных данных), модификация нечетких переменных-заключений для всех правил, формирование результирующих нечетких множеств (или же их суперпозиции), отображение результирующих нечетких множеств в единственное управляющее воздействие (“дефазификация, скаляризация”). Здесь на этапе выбора значения управляющего параметра могут быть использованы различные методы, в частности, методы центра тяжести, максимума функции принадлежности и др., представленные в [2, 3]. Графическая иллюстрация схемы нечеткого вывода показана на рис. 1.

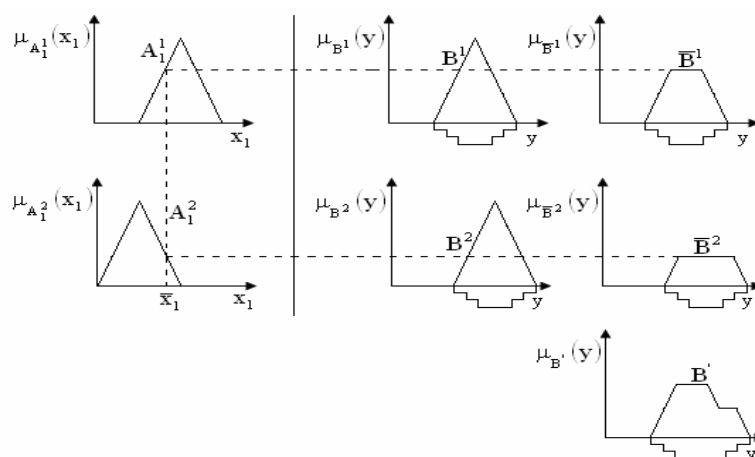


Рисунок 1 - Графическая схема нечеткого вывода

Нетрудно заметить, что представленный метод выбора управления априори предполагает одинаковые вероятности всех возможных значений как входных, так и выходных параметров, относительно которых, в конечном счете, и вычисляется управление. Например, значения параметров управления, имеющие одинаковые (максимальные) значения функции принадлежности, могут различаться по статистическим свойствам — имеют различные вероятности реализации на практике. Неоднородность статистических свойств, как входных переменных, так и управляющих величин, в большинстве случаев имеет место при исследовании параметров сложных технологических процессов. Именно это обстоятельство обосновывает актуальность разработки методов управления в условиях неопределенности, которые объединяют такие различные категории представления наблюдаемых данных как нечеткие, выражающие субъективную интерпретацию процессов, так и статистические свойства, полученные путем их соответствующего анализа. Композиционные модели и методы управления, использующие и статистическую и нечеткую интерпретацию данных, далее будем называть нечетко-статистическими методами управления.

Помимо стандартной схемы нечеткого продукционного управления рис. 1 показывает информационную сущность отличий нечетко-статистического метода, предложенного в данной статье. На рисунке указаны статистические характеристики переменных-заключений, которые условно представлены в форме гистограмм. Эти данные позволяют рассчитать вероятности нечетких подмножеств $P(\tilde{A})$ различных α -уровней, необходимые для нахождения значений

(1). Нечеткая компонента характеризует субъективную, нормативную, характеристику состояния объекта, а статистическая – предысторию функционирования. Автоматизированное формирование статистических описаний технологических процессов в случае грузовых перевозок может выполняться по результатам их мониторинга, что обеспечивает адаптацию систем управления. Возможны несколько способов введения в нечеткие модели статистической информации. В работе предложены модификации классического нечеткого управления.

Постановка задач нечетко-статистического моделирования и управления

Для более полного понимания особенностей предлагаемого метода моделирования и выбора решений рассмотрим несколько содержательных постановок задач управления, условия осуществления и свойства решений которых характеризуются статистической и нечеткой информацией. Они имеют различную содержательную базу, но единую формальную структуру, традиционную для использования концепций нечеткого моделирования. Наряду с этим предполагается наличие данных о подобных ранее реализованных задачах, которые составляют дополнительный статистический базис, используемый далее для более обоснованного выбора управления.

Содержание задач по выбору управления ($\tilde{Y}$) при неопределенности далее сводится к оценке необходимой величины некоторого ресурса, либо прогнозу ожидаемого времени выполнения задания при использовании нормативного ресурса. Управление зависит от двух характеристик: объемного показателя ($\tilde{X}_1$) и удельной трудоемкости ($\tilde{X}_2$). Объемный показатель, показатель трудоемкости, а также требуемый ресурс представляются в виде нечетких величин для двух возможных случаев выбора управлений – функционирования системы в условиях близких к нормальным ($\tilde{S}_1(\tilde{A})$), либо при функционировании с перегрузкой ($\tilde{S}_2(\tilde{B})$). В качестве первого примера задачи выбора нечеткого управления рассматривается программная система по обработке сообщений от множества абонентов. Здесь $\tilde{X}_1$ – средний объем поступающих за

некоторый период сообщений, $\tilde{X}_2$ – оценка их удельной трудоемкости (сложность обработки отдельного сообщения), $\tilde{Y}$ – планируемое время обработки сообщений (предполагаемые затраты). Вторым примером связан с переработкой вагонов на станциях. В этой задаче $\tilde{X}_1$ – средняя степень загрязнения вагонов после выгрузки, $\tilde{X}_2$ – оценка удельной трудоемкости (размеры и степень сгорания фрагментов и др.), $\tilde{Y}$ – прогнозируемое время подготовки вагонов под погрузку. Представленные задачи выбора управления обладают рядом особенностей, из которых для нашего исследования наиболее существенными является очевидная невозможность задания точных значений параметров $\tilde{X}_1$ и $\tilde{X}_2$, оценивающих условия задач по выбору управлений $\tilde{Y}$.

Содержание нечетко-статистического управления

В указанных примерах необходимость нечетко-статистического управления может быть обусловлена, по меньшей мере, двумя обстоятельствами, затрагивающими переменные-посылки и переменные-заключения правил продукций модуля нечеткого управления. Первое связано с тем, что, например, согласно предыдущим данным частоты разных возможных значений объемного показателя ($\tilde{X}_1$) и показателя удельной трудоемкости ($\tilde{X}_2$) были не одинаковы. В то же время для одних и тех же предварительных оценок степеней достоверности величин требуемых ресурсов (в некоторой области их возможных значений) частоты реализаций фактических времен (затраченных объемов ресурсов) оказываются различными. Очевидно, что операция дефазификации, как выбор значений параметров управлений (переменных-заключений относительно прогноза требуемых ресурсов) среди одинаковых по достоверности величин, рис. 1, должна учитывать статистическую природу рассматриваемых процессов.

Содержательно более сложным является учет статистической неоднородности значений переменных-посылок при выборе величин управлений. Заметим, что в структуре стандартного нечеткого вывода, рис. 1, роль переменных-посылок состоит в том, чтобы выполнить фазификацию – соотнести текущую ситуацию (X_*) с

описанием каждого нечеткого правила и представить оценку меры их соответствия в виде степени принадлежности ($X_* \in \tilde{A}_k(X)$), где $\tilde{A}_k(X)$ описывает одну из нечетких переменных рассматриваемого правила продукции. Классическая схема рис 1 построена исходя из предположения, что значение (X_*) известно точно, и это позволяет однозначно вычислить степень принадлежности $\mu_F(X_* \in \tilde{A}_k(X))$. Если же рассматриваемая для принятия решения ситуация (X_*) может быть оценена в другом виде, например с точностью до некоторого интервала ($X_{*\Delta} \in [X_{*(-)}, X_{*(+)}]$), то однозначно вычислить степень принадлежности $\mu_F(X_{*\Delta} \in \tilde{A}_k(X))$ не удастся. Именно в этом случае статистические свойства переменных-посылок служат дополнительной информацией для расчета обоснованных значений оценок $\mu_F(X_{*\Delta} \in \tilde{A}_k(X))$. Разумеется, что для различных форм описаний значений входных множеств, представляющих ситуации принятия решений при неопределенности ($\hat{X}_*$), потребуются соответствующие методики вычисления степеней принадлежности $\mu_F(\hat{X}_* \in \tilde{A}_k(X))$.

Модуль нечетко-статистического управления

Содержательные основания для применения нечетко-статистического управления как при решении задач фазификации, так и при выборе результирующего воздействия, дефазификации, позволяют определить НСУ следующим образом, модифицирующим классическое нечеткое управление [3, 4] с учетом статистической неоднородности процессов на основе (1). Для наглядности и краткости изложения остановимся на представлении нечетко-статистического управления в виде графической схемы, изображенной рис. 2, которая без труда может быть определена аналитически, следуя результатам [3].

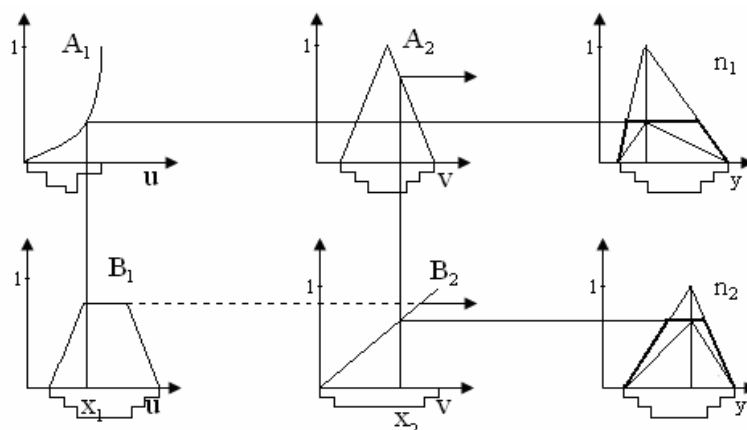


Рисунок 2 - Графическая схема нечетко-статистического управления

Рисунок соответствует указанным примерам задач по выбору управления, когда правила $\{\pi_j(X \mapsto Y)\}_q$ имеют две нечеткие переменные-посылки $(\tilde{X}_1, \tilde{X}_2)$ и нечеткую переменную-вывод $\tilde{Y}$. Значения величин $(\tilde{X}_1, \tilde{X}_2)$ измеряются с помощью показателей $\{u, v\}$. Верхнее правило соответствует ситуации (A_1, A_2) , частота которой при наблюдениях составляла n_1 , в то время как частота ситуации (B_1, B_2) равнялась n_2 . В виде условных гистограмм $G(X_i); i \in \{1, 2\}$ на рис. 2 также представлены свойства неоднородности частот возможных значений переменных-посылок и переменных-заключений. В качестве результирующих значений величин, используемых для установления степеней принадлежности наблюдаемых переменных-посылок, на рис. 2 указаны (X_1, X_2) . В рамках нечетко-статистического вывода эти значения не определяются однозначно по данным наблюдений (измерений состояний системы), а рассчитываются на основе процедур, подобных вычислению математического ожидания случайных величин, представленных гистограммами. Как показано на рисунке переменные-заключения $\tilde{Y}$ могут модифицироваться на основе измерений степеней принадлежности посылок в соответствии с различными правилами – Мамдани (минимума), Ларсена (произведения) и др. [2]. В соответствии с одной из основных форм классической процедуры нечеткого управления модификация переменных-заключений $\tilde{Y}$ выполняется с использованием правила Мамдани для степеней принадлежности переменных-посылок (модификация правой часть правила по уровню меньшей из степеней принадлежности посылок).

Графическая схема рис. 2 отражает следующие этапы процедуры нечетко-статистического вывода:

– 1) расчет результирующих значений величин X_i для установления степеней принадлежности наблюдаемых переменных-посылок; содержание процедур этого этапа зависит от возможностей идентификации состояния объекта управления, причем далее для определенности считается, что рассматриваемая при принятии решения ситуация (X_*) может быть оценена с точностью до некоторого интервала ($X_{*\Delta} \in [X_{(-)}, X_{(+)}]$). Для вычисления X_i и далее $\mu_F(X_i \in \tilde{A}_i(X))$ используются следующие методы. Во-первых, X_i является математическим ожиданием с учетом гистограмм распределения в интервале $[X_{i(-)}, X_{i(+)}]$ возможных значений переменных, то есть

$$X_i = \int_{x \in [X_{i(-)}, X_{i(+)}]} x g_i(x) dx, \quad (2)$$

где

$g_i(x)$ есть функция плотности для данных $G(X_i); i \in \{1, 2\}$. На основании значения X_i стандартным способом, изображенном на рис. 2, вычисляется $\mu_F(X_i \in \tilde{A}_i(X))$, завершая процедуру фазификации. Во-вторых, величина $\mu_F(X_i \in \tilde{A}_i(X))$ может быть вычислена непосредственно в соответствии с (1) как нормированное взвешенное значение $\mu_F(X_i \in \tilde{A}_i(X))$ для интервала неопределенности $[X_{i(-)}, X_{i(+)}]$, согласно

$$\mu_F(X_i \in \tilde{A}_i(X)) = \int_{x \in [X_{i(-)}, X_{i(+)}]} \mu_{F_i}(x \in A_i(x)) g_i(x) dx / \int_{x \in [X_{i(-)}, X_{i(+)}]} g_i(x) dx. \quad (3)$$

Обозначения (3) соответствуют выше приведенным величинам.

– 2) На основе $\mu_F(X_i \in \tilde{A}_i(X))$ посылок для каждого из правил $\{\pi_j(X \mapsto Y)\}_q$ рассчитывается интегральная оценка степени принадлежности $\mu_{F_j}\{\pi_j(X \mapsto Y)\}$ – мера его соответствия оцениваемой ситуации выбора управления, что согласуется с классическим нечетким управлением [2]. На этом этапе правила со значениями μ_{F_j} меньше заданного уровня могут быть отброшены. Исключение несущественных правил так же может быть выполнено путем сравнительного анализа относительных значений μ_{F_j} . При

исключении правил следует учитывать и частоты n_1, n_2 появления ситуаций $(A_1, A_2), (B_1, B_2)$ и др.

– 3) Выполняются модификации нечетких моделей переменных-заключений $\tilde{Y}$ с использованием величин $\mu_F\{\pi_j(X \mapsto Y)\}$ [2].

– 4) Выполнение операции суперпозиции правил $\{\pi_j(X \mapsto Y)\}_q$ в соответствии с [2], которая вместе с тем дополняется построением интегральной по всем правилам гистограммы $G(Y)$, характеризующей различные частоты реализации возможных значений переменной-решения.

5) Расчет нечетко-статистического управления согласно

$$Y_* = \frac{\int_{y \in [Y_{(-)}, Y_{(+)}]} y \cdot \mu_F(y \in \bar{Y}(y)) \cdot g_Y(y) dy}{\int_{y \in [Y_{(-)}, Y_{(+)}]} \mu_F(y \in \bar{Y}(y)) g_Y(y) dy} \quad (4)$$

Информационные технологии НСУ. Выводы

Информационная технология нечетко-статистического управления состоит в автоматизированном моделировании величин, входящих в продукционные модели $\{\pi_j(X \mapsto Y)\}_q$. При этом накопление статистической информации является и формой адаптации базы правил управления. Для автоматизированного формирования нечеткого базиса НСУ могут использоваться разнообразные методы построения функций принадлежности, в частности метод Р.Р. Ягера [3]. Метод и информационная технология НСУ являются эффективной формой адаптивного моделирования и управления по данным наблюдений для сложных динамических процессов и объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беллман Р., Заде Л. . Принятие решений в расплывчатых условиях. – М.: Мир, 1976. – С.172 – 215.
2. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 452 с.
3. Ягер Р.Р. Множества уровня для оценки принадлежности нечетких подмножеств //в кн. Нечеткие множества и теория возможностей. Под ред. Рональда Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – С. 71 – 78.

Получено 18.03.2008 г.

УДК 681.5

В.Л. Тимченко

ФОРМУВАННЯ КЕРУЮЧИХ ФУНКЦІЙ МЕТОДОМ СТРУКТУРНО-ЗМІННИХ ЗВОРОТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ В ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМАХ

Вступ та постановка задачі

Рішення задачі синтезу оптимальних керуючих впливів, які забезпечують перехідний процес керування об'єкту з заданими показниками якості керування, є актуальним при розробці ефективних прикладних методів синтезу. Класичні методи оптимального керування приводять до ряду розрахункових складностей, наприклад, необхідності рішення краєвих задач [1,2]. Аналітичне рішення краєвих задач, з урахуванням багато вимірності об'єкта керування, ускладнено та громіздко, а кількісні методи в ряді випадків не дають достатньо швидкої збіжності [2], керування в зворотних зв'язках вимагає повної інформації о похідних вихідних координат [3,4]. В статті розглядається застосування методу структурно-змінних зворотних зв'язків [5,6] до дискретних систем, який забезпечує керування за допомогою спеціальних структур зворотних зв'язків.

Вирішення задачі

Застосування методу структурно-змінних зворотних зв'язків для синтезу керуючих функцій при керуванні багатовимірним лінійним об'єктом включає наступні основні етапи:

- планування оптимальної фазової траєкторії;
- визначення моментів перемикання керуючих функцій в зворотних зв'язках об'єкту керування;
- синтез керуючих функцій в зворотних зв'язках багатовимірного об'єкту керування.

Синтез керуючих функцій полягає в визначенні керуючих впливів в зворотних зв'язках об'єкта керування, при яких на заданих відрізках фазової траєкторії виконуються умови незмінності відповідних різниць (похідних) k -го порядку фазової змінної $V(k)$ чи нульових різниць $(k+1)$ - го порядку. Таким чином, при русі по

координатним осям $l = \{x, y, z\}$ на кожному відрітку фазової траєкторії буде включатись на визначений час Δt^l відповідний зворотний зв'язок, що реалізує задану керуючу функцію. В роботі [6] показано для безперервних систем, що планування оптимальної траєкторії руху здійснюється на основі фазових траєкторій відповідного виду, які визначаються заданими критерієм оптимальності та граничними умовами. Моменти перемикавання керуючих при цьому знаходяться шляхом рішення системи алгебраїчних рівнянь, які складаються з фазових траєкторій.

Фазову траєкторію руху лінійного об'єкту в різницевій формі (прийнемо інтервал часу дискретності $\Delta t = 1$) для нульової різниці $(n+1)$ -го порядку можна представити в вигляді

$$V[k] = V[0] + \nabla V[0]k + \nabla^2 V[0]\frac{k^2}{2!} + \dots + \nabla^n V[0]\frac{k^n}{n!}, \quad (1)$$

де $k = 0, 1, 2, \dots, m$ – порядок інтервалу дискретності;

$\nabla^i V[0]$ – різниця i -го порядку ($i = 1, 2, \dots, n$).

Наприклад, проаналізуємо вирішення класичної задачі оптимальної швидкодії для об'єкта виду

$$\nabla^2 x[k] = u[k]$$

для початкових $\nabla x[0]; x[0]$ і кінцевих $\nabla x[m]; x[m]$ умов, а також при обмеженні на керуючий вплив $|u[k]| \leq 1$.

Фазові рівняння руху (1) при максимізації гамільтоніана [1] будуть включати два відрізка та мати вигляд для першого відрізка при $\nabla^2 x[0] = u[0] = \text{const} = -1$

$$x[k] = x[0] + \nabla x[0]k - \nabla^2 x[0]\frac{k^2}{2!} = x[0] + \nabla x[0]k - \frac{k^2}{2!};$$

$$\nabla x[k] = \nabla x[0] - \nabla^2 x[0]k = \nabla x[0] - k;$$

та для другого – при $\nabla^2 x[k] = u[k] = \text{const} = +1$

$$x[m] = x[k] + \nabla x[k](m-k) + \frac{(m-k)^2}{2!};$$

$$\nabla x[m] = \nabla x[k] + \nabla^2 x[0](m-k) = \nabla x[k] + (m-k).$$

При цьому інтервал дискретності k визначає момент перемикавання керуючого впливу, а інтервал дискретності m – закінчення перехідного процесу. Рішення алгебраїчних рівнянь, що

описують фазові траєкторії дозволяє визначити необхідні інтервали дискретності k та m .

Для загального виду дискретної системи керування запишемо векторно-матричне рівняння наступним чином

$$\mathbf{V}[k+1] - \mathbf{V}[k] = \mathbf{A}\mathbf{V}[k] + \mathbf{B}\mathbf{U}[k],$$

чи

$$\mathbf{V}[k+1] = (\mathbf{A} + \mathbf{E})\mathbf{V}[k] + \mathbf{B}\mathbf{U}[k], \quad (2)$$

де $\mathbf{E}$ - одинична матриця.

Граничні умови будуть мати вигляд $\mathbf{V}[0]; \mathbf{V}[m]$.

Для другої різниці маємо з урахуванням (2)

$$\mathbf{V}[k+2] - 2\mathbf{V}[k+1] + \mathbf{V}[k] = \mathbf{A}(\mathbf{V}[k+1] - \mathbf{V}[k]) + \mathbf{B}(\mathbf{U}[k+1] - \mathbf{U}[k]);$$

$$\mathbf{V}[k+2] = (\mathbf{A} + \mathbf{E})^2 \mathbf{V}[k] + (\mathbf{A} + \mathbf{E})\mathbf{B}\mathbf{U}[k] + \mathbf{B}\mathbf{U}[k+1].$$

При керуванні з нульовим значенням першої та другої різниць запишемо

$$\mathbf{U}[k] = -\mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}\mathbf{V}[k];$$

$$\mathbf{U}[k+1] = -\mathbf{B}^{-1}\{\mathbf{A}(\mathbf{V}[k+1] - \mathbf{V}[k])\} + \mathbf{U}[k].$$

Підставляючи вираз (2) для $\mathbf{V}[k+1]$, знайдемо значення компонентів вектора керуючих функцій для кожного інтервалу дискретності при нульовій другій різниці вектору стану системи та відомих початкових значеннях $\mathbf{U}[0]$ та $\mathbf{V}[0]$

$$\mathbf{U}[1] = -\mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}^2\mathbf{V}[0] + (\mathbf{E} - \mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}\mathbf{B})\mathbf{U}[0];$$

.....

$$\mathbf{U}[k+1] = -\mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}^2\mathbf{V}[k] + (\mathbf{E} - \mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}\mathbf{B})\mathbf{U}[k].$$

Для третьої різниці при початкових значеннях $\mathbf{U}[0], \mathbf{U}[1], \mathbf{V}[0]$ отримаємо для кожного інтервалу дискретності

$$\mathbf{U}[2] = -\mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}^3\mathbf{V}[0] - \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{A}^2\mathbf{B} - \mathbf{A}\mathbf{B} + \mathbf{E})\mathbf{U}[0] - (\mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}\mathbf{B} - 2\mathbf{E})\mathbf{U}[1];$$

.....

$$\mathbf{U}[k+2] = -\mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}^3\mathbf{V}[k] - \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{A}^2\mathbf{B} - \mathbf{A}\mathbf{B} + \mathbf{E})\mathbf{U}[k] - (\mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}\mathbf{B} - 2\mathbf{E})\mathbf{U}[k+1].$$

Аналогічним чином можна знайти четверту та інші необхідні нульові різниці координати стану.

Для замкнутих систем при головному («жорсткому», одиночному) зворотному зв'язку запишемо

$$\mathbf{V}[k+1] = (\mathbf{A} + \mathbf{E})\mathbf{V}[k] + \mathbf{B}(\mathbf{U}[k] - \mathbf{V}[k]),$$

чи в вигляді

$$\mathbf{V}[k+1] = (\mathbf{A} - \mathbf{B} + \mathbf{E})\mathbf{V}[k] + \mathbf{B}\mathbf{U}[k] = \mathbf{A}^*\mathbf{V}[k] + \mathbf{B}\mathbf{U}[k], \quad (3)$$

де $\mathbf{A}^* = \mathbf{A} - \mathbf{B} + \mathbf{E}$.

Цей клас систем має аналогічний порядок синтезу рекурентних керуючих функцій.

Наприклад, для нульової другої різниці вектору стану системи (3) та відомих початкових значеннях $\mathbf{U}[0]$ та $\mathbf{V}[0]$ запишемо для вектору керуючих функцій

$$\mathbf{U}[1] = -\mathbf{B}^{-1}(\mathbf{A} - \mathbf{B})^2\mathbf{V}[0] + [\mathbf{E} - \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{A} - \mathbf{B})\mathbf{B}]\mathbf{U}[0];$$

.....

$$\mathbf{U}[k+1] = -\mathbf{B}^{-1}(\mathbf{A} - \mathbf{B})^2\mathbf{V}[k] + [\mathbf{E} - \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{A} - \mathbf{B})\mathbf{B}]\mathbf{U}[k].$$

Розглянемо далі замкнуту стаціонарну систему, коли на вхід подається вектор спостерігаємих координат $\mathbf{Y}$

$$\mathbf{V}[k+1] = (\mathbf{A} + \mathbf{E})\mathbf{V}[k] + \mathbf{B}(\mathbf{U}[k] - \mathbf{Y}[k]);$$

$$\mathbf{Y}[k] = \mathbf{A}\mathbf{V}[k] + \mathbf{B}\mathbf{U}[k].$$

Тоді будемо мати рекурентні рівняння для вектору стану в $k+1$ – інтервал дискретності для одиничного зворотного зв'язку

$$\mathbf{V}[k+1] = (\mathbf{A} - \mathbf{B}\mathbf{C} + \mathbf{E})\mathbf{V}[k] + (\mathbf{B} - \mathbf{D})\mathbf{U}[k] = \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{V}[k] + \tilde{\mathbf{B}}\mathbf{U}[k],$$

де $\tilde{\mathbf{A}} = (\mathbf{A} - \mathbf{B}\mathbf{C} + \mathbf{E})$; $\tilde{\mathbf{B}} = (\mathbf{B} - \mathbf{D})$.

Так же як в попередньому випадку, отримаємо вектор керуючих функцій для нульової другої різниці вектору стану системи та відомих початкових значеннях $\mathbf{U}[0]$ та $\mathbf{V}[0]$

$$\mathbf{U}[1] = -(\mathbf{B} - \mathbf{D})^{-1}[\mathbf{A} - (\mathbf{B} - \mathbf{D})\mathbf{C}]^2\mathbf{V}[0] +$$

$$\{\mathbf{E} - (\mathbf{B} - \mathbf{D})^{-1}[\mathbf{A} - (\mathbf{B} - \mathbf{D})\mathbf{C}](\mathbf{B} - \mathbf{D})\}\mathbf{U}[0];$$

.....

$$\mathbf{U}[k+1] = -(\mathbf{B} - \mathbf{D})^{-1}[\mathbf{A} - (\mathbf{B} - \mathbf{D})\mathbf{C}]^2\mathbf{V}[k] +$$

$$\{\mathbf{E} - (\mathbf{B} - \mathbf{D})^{-1}[\mathbf{A} - (\mathbf{B} - \mathbf{D})\mathbf{C}](\mathbf{B} - \mathbf{D})\}\mathbf{U}[k].$$

Для нестаціонарної дискретної системи при постійних значеннях компонентів матриці $\mathbf{B}$ маємо

$$\mathbf{V}[k+1] = (\mathbf{A}[k] + \mathbf{E})\mathbf{V}[k] + \mathbf{B}\mathbf{U}[k].$$

При нульовій першій різниці запишемо для вектора керуючих функцій

$$\mathbf{U}[k] = -\mathbf{B}^{-1}\mathbf{A}[k]\mathbf{V}[k].$$

Для нульової другої різниці будемо мати при початкових умовах $\mathbf{U}[0]$, $\mathbf{V}[0]$ та відомих значеннях $\mathbf{A}[0]$, $\mathbf{A}[1]$, ..., $\mathbf{A}[k+1]$

$$U[1] = -B^{-1}(A^2[0] + A[1] - A[0])V[0] + (A[0]B + E)U[0];$$

.....

$$U[k+1] = -B^{-1}(A^2[k] + A[k+1] - A[k])V[k] + (A[k]B + E)U[k];$$

Подібні рекурентні співвідношення можна сформулювати для нульових різниць вищого порядку та змінної матриці B .

Висновки

Запропонований метод структурно — змінних зворотних зв'язків дозволяє для багатовимірних дискретних об'єктів (чи динамічних об'єктів, які описуються різницевиими рівняннями) вирішувати практичні задачі побудови оптимальних фазових траєкторій руху. При цьому рух об'єкту по відрізкам оптимальної траєкторії забезпечується керуючими функціями в зворотних зв'язках, які мають можливість перемикання для забезпечення переходу з начального відрізка плануємої траєкторії руху на наступний відрізок.

Також можна відмітити, що побудова оптимальної траєкторії та визначення моментів часу перемикання керуючих функцій здійснюється шляхом рішення системи алгебраїчних рівнянь; застосування керуючих функцій в зворотних зв'язках не потребує безпосереднього виміру відповідних різниць фазових координат на виході об'єкта керування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Понтрягин Л.С. Математическая теория оптимальных процессов — М.: Наука, 1974. — 392 с.
2. Беллман Р. Квазилинеаризация и нелинейные краевые задачи / Беллман Р., Калаба Р. — М.: Мир, 1968. — 184 с.
3. Ларин В.Б. Стабилизация системы обратной связью по выходной переменной // Проблемы упр. и информ. - К., 2004. - № 2. - С.5 - 18.
4. Лобок О.П. Синтез оптимального керування технологічними процесами / Лобок О.П., Луцька Н.М // Автоматизація виробн. процесів. — К., 2003. — №1(16). — С. 81 — 84.
5. Kondratenko Y.P. Optimal feedback switching method for linear control systems / Kondratenko Y.P., Timchenko V.L. // Systems and Networks: Mathematical Theory and Applications (Mathematical Research). — Berlin: Academia Verlag, 1994. Vol.79. — P.291 — 292.
6. Тимченко В.Л. Синтез управляющих функций методом структурно-переключаемых обратных связей//Труды Одесского национального политехнического университета №2(24), 2005. — С.155-160.

Получено 14.03.2008 г.

УДК 004.942:539.24:539.422

А.И. Михалев, В.Г. Горб

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ НА РОСТ 3D ПЕРКОЛЯЦИОННОГО КЛАСТЕРА

Введение

В последнее время идеи фрактальной геометрии находят все большее применение при количественной оценке параметров реальных кристаллов, которые зачастую имеют очень сильные отклонения от правильной формы евклидовых многогранников. В частности, это относится к дендритам - своеобразным (пористым кристаллам, обладающим свойством самоподобия). Удобной мерой, характеризующей отклонение степени заполнения дендритом пространства от таковой для идеального кристалла, является его фрактальная размерность [3].

Одним из наиболее важных и ценных приложений фрактальной геометрии в металлографии, является возможность количественного определения механических свойств образцов, используя фрактальную размерность D_f . Другими словами аппарат фрактальной геометрии позволяет создать математические модели, связывающие количественные фрактальные характеристики и механические свойств (например, твердость, вязкость и т.д), где твердость - свойство поверхности слоя материала оказывать сопротивление внедрению другого тела, т.е. упругой и пластической деформации или разрушению. При этом пластическая деформация и явление разрушения являются диссипативными процессами, которые протекают вдали от термодинамического равновесия и сопровождаются проявлением неустойчивости системы в виде деформируемого металла в критических точках.

Говоря о фрактальной структуре поверхностей, ограничимся рассмотрением открытых шероховатых поверхностей. При этом шероховатость поверхности может рассматриваться как одна из центральных характеристик различных материалов. Закрытые поверхности с фрактальной структурой представляют интерес главным образом как различного рода адсорбенты.

Обработка профиля поверхностей

В случае открытых поверхностей можно определять фрактальные размерности путем измерения профиля поверхности. Если поверхность является изотропной, то для нахождения фрактальной размерности достаточно определить профиль по одному сечению поверхности. В тоже время в случае анизотропных поверхностей одного сечения оказывается недостаточно.

Существуют несколько способов обработки профиля поверхности. При этом можно найти корреляционную высоту h_f через соотношение:

$$R_s(z) = \langle h_f(x)h_f(x+z) \rangle, \quad (1)$$

где $x, (x+z)$ — расположенные на одной линии координаты в плоскости поверхности; угловые скобки означают усреднение по различным участкам поверхности.

Можно определить структурную функцию, характеризующая рельеф поверхности как:

$$S_s(z) = \langle [h_f(x) - h_f(x+z)]^2 \rangle. \quad (2)$$

В свою очередь, корреляционная функция высот, и структурная функция, характеризующая рельеф поверхности, в случае фрактальных поверхностей определяются степенной зависимостью от z : $S_s(z) \propto R_s(z) \propto z^{4-2d_f}$, где D_f — фрактальная размерность контура сечения поверхности. Это соотношение и служит основой для определения фрактальной размерности рельефа поверхности [4].

Математически теория перколяции имеет дело с эффектами распределения соединенных ячеек в случайной системе.

Основной вопрос перколяции состоит в определении наличия перехода из связного (long-range connectivity) состояния в состояние с отсутствием дальней связности (или наоборот). Такой переход в системе наблюдается при достижении некоторой обобщенной критической плотности - порога перколяции [1].

Построение перколяционных поверхностей

Случайные узлы перколяционного кластера - это точки (в нашем случае центры разрушения), хаотически распределенные в пространстве. Проведем вокруг каждого узла сферы или окружности одинакового радиуса r . Требуется найти наименьшее значение $r = r_c$,

при котором возникает связность, где каждый последующий узел лежит внутри сферы, построенный на предыдущем.

В комбинации с определенными характеристиками системы величина x_c (критическое число, при котором образуется непрерывная цепочка из поврежденных узлов) образует инварианты, независимые от типа решетки. В свою очередь перколяционный радиус r_c может зависеть только от концентрации узлов N и размерности пропорционален $N^{-1/3}$. В тоже время для задачи определения случайных узлов инвариантом является параметр B_c :

$$B_c = \frac{4}{3} \pi N r_c^3 (d = 3) \quad (3)$$

где N - концентрация узлов (центров разрушения), r_c - перколяционный радиус. Безразмерный параметр B_c имеет смысл среднего числа связей на один узел. Задача об определении r_c и B_c называется задачей сфер для $d = 3$ и задачей окружностей для $d = 2$.

Проводилось математическое моделирование возникновения и роста перколяционного кластера, когда узлы 3D решетки блокировались с помощью генератора случайных чисел. При этом закон распределения по размерам центров разрушения и их роста задавался соотношением $N(d) = d^{-\alpha}$ [3] (рис.1). В соответствии, с которым можно осуществлять влияние на рост перколяционных кластеров.

В свою очередь другой важной геометрической характеристикой пористого кластера, является корреляционная длина:

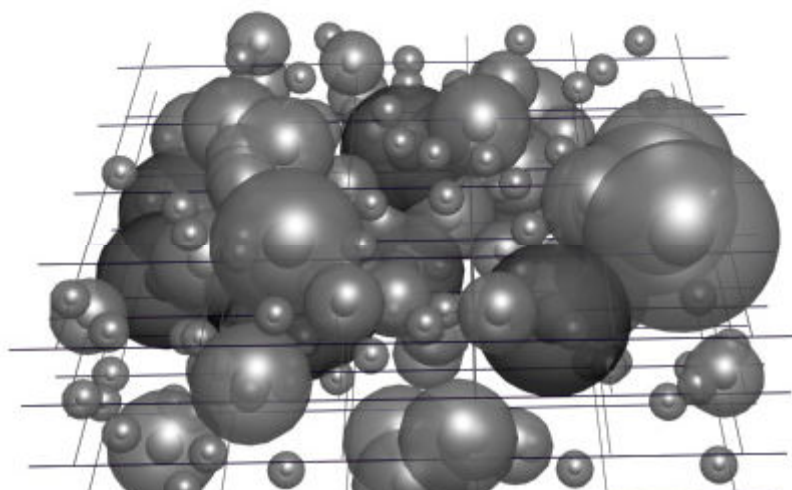
$$l \sim r(P_c - p)^{-\nu} \quad (4)$$

где r - размер элементов (полиэдры, шары, эллипсоиды), ν - критическая экспонента ($\nu \in \text{Exp}$), p - отношение числа проводящих элементов к не проводящим, P_c - порог перколяции.

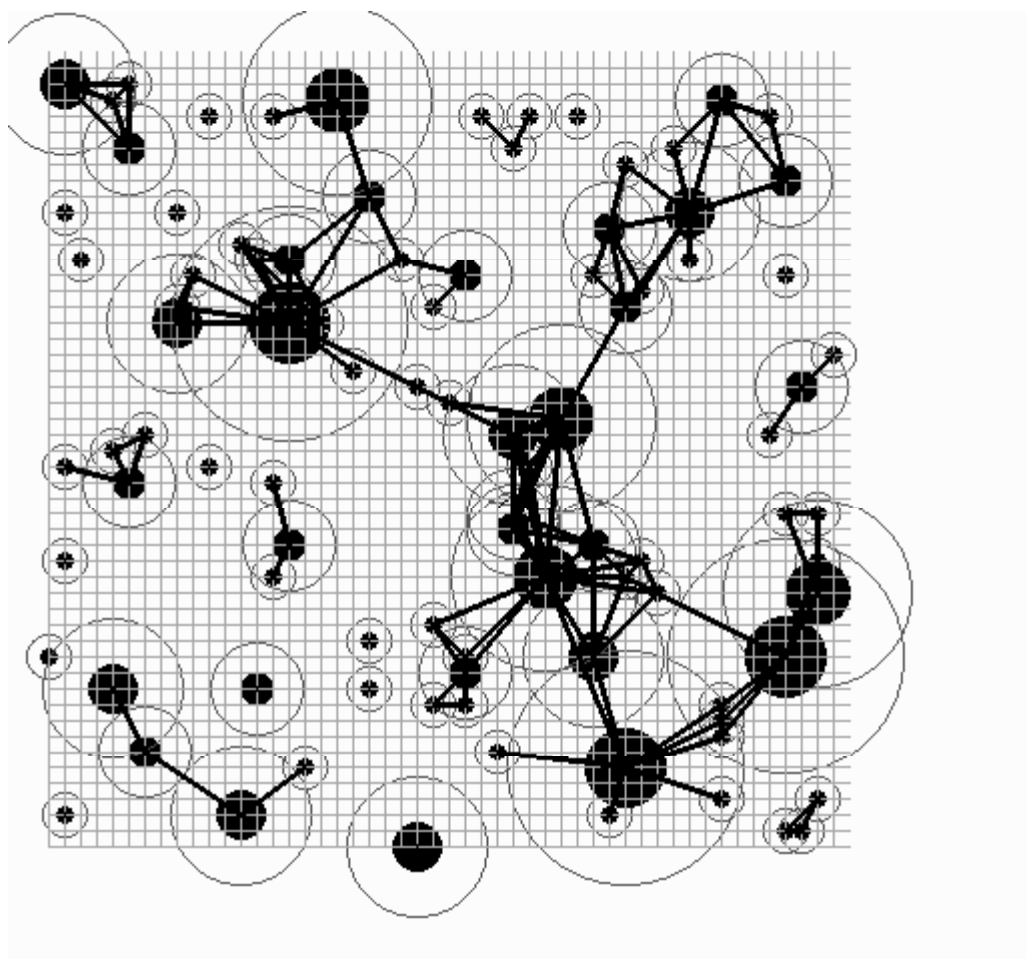
Корреляционная длина l тесно связана с важным для кластера параметром - массой:

$$m \sim l^f \quad (5)$$

где m - масса кластера, f - критический показатель ($f \in \text{Exp}$), которая для случая $p=P_c$ всегда меньше евклидовой размерности D_E . Более того разность $(D_E - f)$ - это дефицит размерности или соразмерность Хаусдорфа, являющаяся связывающим звеном между теорией фракталов и перколяционными кластерами [2].



А



Б

Рисунок 1 - Объемный перколяционный кластер центров разрушения (А), вид перколяционного шлифа каскада центров разрушения (Б).

На рис. 1, приведен перколяционный трехмерный кластер. Сферы радиуса R на рис. 1, показывают области влияния центров разрушения [3].

Возникновение диссипативных зон и зон пластического течения - единая предыстория процесса разрушения в квазистатическом и динамическом диапазонах долговечности дает возможность построения характеристик процесса разрушения в единых координатах. В свою очередь процесс разрушения можно контролировать соотношениями, в которые входят параметры нагружения и энергетические параметры кристаллической решетки, с одной стороны, и временной фактор - с другой. Знание физических механизмов процесса разрушения позволяет систематизировать данные в различных временных диапазонах [3].

Вывод

Предлагаются методы количественного описания структуры материала с помощью фрактальных характеристик и критических экспонент процесса перколяции. Установлены общие закономерности формирования каскада центров разрушения. Показано, что каскад центров разрушения на конечной стадии является перколяционным кластером и в этом случае возникает связность в системе центров разрушения. Построены соотношения характеризующие влияние динамики разрушения на рост 3D перколяционных кластеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михалев А.И., Помулев В.В., Горб В.Г. “Перколяционная 3D модель структурообразований металлов”, (Міжвузівська науково – технічна конференція молодих вчених та студентів. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. Вип..1-2 (22-26) 2007).
2. Михалев А.И., Помулев В.В., Горб В.Г., Пройдак Ю.С. “Моделювання динаміки формування 3D металоструктур на базі перколяційних кластерів” // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (50). – Дніпропетровськ. 2007. – С.102-108.
3. Е.К. Бонюшкин, Н.И. Завада, С.А. Новиков, А.Я. Учаев. Явление коррелированного поведения системы центров разрушения как показатель универсальности процесса динамического разрушения. Описание научного открытия. - 2000. 71 - с. № 5–2382, диплом № 153.
4. Михалев А.И., Деревянко А.И., Помулев В.В. Фрактальное оценивание зернистости металлоструктур // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (10) – Днепропетровск. 2000. с. 104-112.

Получено 20.03.2008 г.

УДК 519.86: 004.032.26

В.Р. Петренко, К.О. Куделіна

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ЧАСОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ КОХОНЕНА

Вступ

При обробці результатів експериментальних досліджень часто доводиться мати справу з великою кількістю випадкових часових послідовностей (ВЧП). Завдання дослідження при цьому, як правило, полягає в моделюванні цих ВЧП, наприклад, з метою прогнозування їхніх майбутніх значень.

Процедури синтезу моделей ВЧП [1, 2] є досить трудомісткими, і у випадку, коли потужність множини досліджуваних послідовностей велика, актуальною стає задача скорочення загальної трудомісткості досліджень. Найбільш природним підходом до її рішення є попереднє зменшення потужності множини досліджуваних ВЧП, що можливо в тих випадках, якщо деякі з досліджуваних ВЧП мають майже однакові значення імовірнісних характеристик, що допускає можливість опису цих послідовностей однією й тією ж моделлю. При цьому рішення задачі моделювання здійснюється шляхом послідовної реалізації наступних етапів:

- розділення вихідної множини послідовностей на деякі непересічні підмножини послідовностей із близькими значеннями характеристик;
- визначення усередненого вектора характеристик для кожної підмножини;
- синтез моделей для всіх підмножин шляхом використання усереднених векторів характеристик.

У даній роботі розглядається реалізація першого етапу, який можна інтерпретувати як рішення задачі кластеризації, тобто процес об'єднання в групи об'єктів, що мають схожі ознаки, коли ні групи, ні їхня кількість заздалегідь не визначені й формуються в процесі роботи системи виходячи з певної міри близькості об'єктів.

Завдання кластеризації часових послідовностей досліджувалися у деяких роботах [5,6]. Автори роботи [5] використовували в якості

вектора класифікаційних ознак вектор значень самих послідовностей, тобто розмірність вектора ознак дорівнювала довжині часових послідовностей. У роботі [6] нами запропоновано в якості вектору класифікаційних ознак використовувати вектор статистичних оцінок основних імовірнісних характеристик послідовностей (середнє, дисперсія, вибіркові статистично значимі автокореляції), що дозволяє значно скоротити розмірність класифікаційного простору при аналізі стаціонарних часових послідовностей, оскільки їх автокореляційні функції швидко загасають.

Постановка задачі

Виходячи з того, що використання нейромережових методів у задачах класифікації одержало в останній час широке поширення [3], в даній роботі для кластеризації множини часових послідовностей пропонується використовувати нейронну мережу Кохонена. Мета роботи – дослідження можливості використання мережі Кохонена для вирішення зазначеної задачі.

Основна частина

Нейронна мережа Кохонена

Штучна нейронна мережа Кохонена або карта ознак, що самоорганізується (SOM) була запропонована Тойво Кохоненом на початку 80-х рр. [7]. Мережа розпізнає кластери в навчальних даних і розподіляє дані по відповідних кластерах. Якщо в майбутньому мережа зустрічається з набором даних, несхожих ні з одним із відомих зразків, вона відносить його до нового кластеру.

Мережа Кохонена являє собою двошарову мережу (рис.1). Кожний нейрон першого (розподільного) шару з'єднаний з усіма нейронами другого (вихідного) шару, які розташовані у вигляді двовимірної решітки.

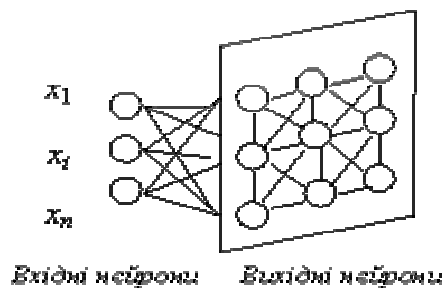


Рисунок 1 – Топологія нейронної мережі Кохонена

Нейрони вихідного шару називаються кластерними елементами, їх кількість визначає максимальну кількість груп, на які система може розділити вхідні дані. Збільшуючи кількість нейронів другого шару можна збільшувати деталізацію результатів процесу кластеризації.

Система працює за принципом змагання [3] – нейрони другого шару змагаються один з одним, перемагає той елемент-нейрон, чий вектор вагів ближче всього до вхідного вектору сигналів. За міру близькості двох векторів зазвичай беруть евклідову відстань між ними. Таким чином, кожний вхідний вектор відноситься до деякого кластерного елементу.

Основний ітераційний алгоритм Кохонена послідовно проходить ряд епох, на кожній епосі опрацьовується один навчальний приклад. Вхідні сигнали – вектори дійсних чисел – послідовно пред'являються мережі. Бажані вихідні сигнали не визначаються. Після пред'явлення достатнього числа вхідних векторів, синаптичні ваги мережі визначають кластери. Крім того, ваги організуються так, що топологічно близькі вузли чуттєві до схожих вхідних сигналів.

Для вихідного нейрона-переможця і для його сусідів з околу обновлюються вектори вагів за правилом:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + e(t)h(t, j, m)(x_i - w_{ij}(t)) \quad , \quad (1)$$

де

w_{ij} – значення вагового коефіцієнту зв'язку вхідного нейрона i та вихідного нейрона j в момент часу t ;

$h(t, j, m)$ – значення функції околу (наприклад, функція Гауса) з центральним нейроном вихідного шару m для нейрона вихідного шару j в момент часу t ;

$e(t)$ – коефіцієнт швидкості навчання в момент часу t ;

x_i – вихід нейрона першого шару номер i .

В алгоритмі навчання мережі використовується коефіцієнт швидкості навчання, який поступово зменшується, для тонкішої корекції на новій епосі. В результаті позиція центру встановлюється в певній позиції, яка задовільним чином кластеризує приклади, для яких даний нейрон є переможцем.

Властивість топологічної впорядкованості досягається в алгоритмі за допомогою використання поняття околу. Окіл – це декілька нейронів, що оточують нейрон-переможець. Розмір околу

поступово зменшується, так, що спочатку до нього належить досить велике число нейронів (можливо вся карта), на самих останніх етапах окіл стає нульовим і складається лише з нейрона-переможця. Мережа формує грубу структуру топологічного порядку, при якій схожі приклади активують групи нейронів, що близько знаходяться на топологічній карті. З кожною новою епохою швидкість навчання і розмір околу зменшуються, тим самим всередині ділянок карти виявляються більш тонкі розходження, що зрештою призводить до точнішого налаштування кожного нейрона.

Після того, як мережа навчена розпізнаванню структури даних, її можна використовувати як засіб візуалізації при аналізі даних.

Використання мережі Кохонена для кластеризації множини ВЧП

Формування навчальних даних було здійснено шляхом генерації ВЧП з використанням моделі АРКС (p, q) з трьома різними наборами значень $p, q, F_i, i = \overline{1, p}, \theta_j, j = \overline{1, q}, \theta_0, y_a^2$.

$$x_t = F_1 \cdot x_{t-1} + F_2 \cdot x_{t-2} + \dots + F_p \cdot x_{t-p} + \theta_1 \cdot a_{t-1} + \dots + \theta_q \cdot a_{t-q} + \theta_0 + a_t, \quad (2)$$

де $a_t \sim N(0, y_a^2)$.

Конкретні значення параметрів моделі, що генерується, разом з початковими умовами та вибірковими оцінками імовірнісних характеристик 12 згенерованих часових послідовностей представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри генерації та оцінки характеристик послідовностей

№ посл	Параметри моделі					Початк. умови			Оцінки характеристик					
	F_1	F_2	θ_1	θ_0	σ_a^2	x_0	x_1	a_0	$\bar{x}$	σ_x^2	$r(1)$	$r(2)$	$r(3)$	$r(4)$
1	0.6	0.35	—	0.05	0.5	1.15	1.05	0	1.122	1.713	0.908	0.865	0.796	0.729
2	-0.87	—	—	1.87	0.8	1.0	—	0	0.897	1.941	-0.748	0.646	-0.531	0.432
3	—	—	0.2	1.0	1.0	—	—	0	1.283	1.453	0.089	-0.049	-0.192	-0.122
4	—	—	0.2	1.0	1.0	—	—	0	1.033	1.420	-0.082	-0.010	0.271	-0.085
5	-0.87	—	—	1.87	0.8	1.15	—	0	0.894	1.907	-0.742	0.639	-0.522	0.423
6	0.6	0.35	—	0.05	0.5	1.1	1.2	0	1.161	1.734	0.910	0.866	0.798	0.732
7	-0.87	—	—	1.87	0.8	1.25	—	0	0.909	1.798	-0.705	0.620	-0.533	0.427
8	0.6	0.35	—	0.05	0.5	1.25	1.15	0	1.164	1.735	0.910	0.866	0.798	0.732
9	—	—	0.2	1.0	1.0	—	—	0	0.736	0.857	0.130	0.204	0.051	-0.096
10	—	—	0.2	1.0	1.0	—	—	0	0.989	1.457	0.254	0.007	-0.134	-0.082
11	0.6	0.35	—	0.05	0.5	1.2	1.18	0	1.222	1.605	0.823	0.820	0.781	0.707
12	-0.87	—	—	1.87	0.8	1.1	—	0	0.861	3.020	-0.743	0.641	-0.524	0.432

Мережа, що розробляється, має 6 входів, що відповідає кількості вибірових оцінок імовірнісних характеристик. Топологічна карта була обрана розміром 6х6. Таким чином кількість елементів вихідного шару дорівнює 36, а його ширина – 6.

Для побудови та навчання нейронної мережі Кохонена використовувався програмний пакет STATISTICA Neural Networks [4].

Навчальна множина склала 12 згенерованих послідовностей, з трьома різними наборами значень моделі АРКС (p, q).

В результаті навчання побудованої мережі були ідентифіковані три кластери згідно з елементами-переможцями: $G1 = \{1, 6, 8, 11\}$, $G2 = \{2, 5, 7, 12\}$, $G3 = \{3, 4, 9, 10\}$. На рис. 2 приведено приклад топологічної карти з елементом-переможцем кластеру $G3$, де Case No=3 вказує на приналежність третьої часової послідовності кластеру $G3$.

Отримані результати у вигляді кластерів, кількість яких дорівнює кількості наборів параметрів, відповідає правдивій структурі множини досліджуваних послідовностей.

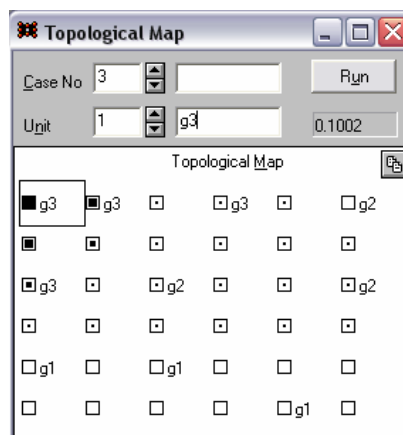


Рисунок 2 – Топологічна карта

Висновки

Отримані результати підтверджують можливість використання нейронної мережі Кохонена для кластеризації множини ВЧП при вирішенні задачі їх моделювання. Запропонований підхід може бути використаний в складі спеціального програмного забезпечення автоматизованої системи оперативного управління ходом виробництва напівпровідникових матеріалів для визначення груп марок з ідентичною динамікою коефіцієнта виходу в кондиційну продукцію.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Выпуск 1. пер. с англ. Левшина А.Л. – М.: Мир, 1974. – 406 с.
2. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования. – М.: Статистика, 1979. – 254 с
3. Головки В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Под общ. ред. А. И. Галушкина. – М: ИПРЖР, 2001. – 256 с
4. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks. Пер. с англ. – М.: Горячая линия-Телеком, 2000.– 182 с.
5. Вавилов Б.Т., Лукин Ю.В. О кластеризации временных рядов производственно-экономических показателей. //Вопросы радиоэлектроники. Серия АСУ. – 1979. – вып.3. – с. 71-80.
6. В.Р. Петренко, К.А. Куделина, В.А. Самоляк. Применение кластеризации в задаче моделирования стационарных временных последовательностей. //Новые технологии. № 4 (18). – 2007. – с. 90-94.
7. Т. Kohonen. “Self-organizing Maps”, Series in Information Sciences. – Springer, 1995.

Получено 20.03.2008 г.

УДК 502.36: 533.6.011+62.192

С.З.Полищук, А.И. Рябко

**ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННО-
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ
КОМПЛЕКСНЫХ МОДЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
ТЕРРИТОРИИ**

На современном этапе развития общества резко возросла интенсивность и изменилась сама суть воздействия человека на природу, которое сопоставимо с предельными возможностями самовосстановления природной среды. Актуальность приобрела проблема разработки методических основ выбора рациональной стратегии природопользования. Решение этой проблемы требует всестороннего изучения и научного анализа функционирования социо-эколого-экономических комплексов территории в процессе хозяйственной деятельности [1-5].

Особая роль здесь отводится моделированию поведения сложных систем. Существует, в свою очередь, большое количество разновидностей и тенденций моделирования: математическое, аналитическое, вычислительный эксперимент, имитационное, стохастическое, статистическое и др. [1,2,4].

Таким образом, одна из особенностей современного подхода и оценке влияния хозяйственной деятельности на окружающую среду состоит в том, что эта оценка производится с позиций устойчивого развития территории при комплексном учете социальной (обеспечении заданного уровня жизни), природной (качество среды) и экономической (вариант хозяйственной деятельности) составляющих.

В связи со сложностью проблемы выбора стратегии развития в методическом плане возникает необходимость в многоэтапности ее решения с выделением иерархических структурных уровней. Все большая роль, наряду с математическим моделированием, отводится методам экспертных оценок, задачам районирования территории, агрегирования, нормирования и сопоставления показателей различий природы, обоснованию, как частных, так и интегральных экологических критериев и нормативов.

Другими словами, оценка влияния хозяйственной деятельности на окружающую среду на современном этапе производится с позиций системного анализа.

При построении комплексных моделей социо-эколого-экономических систем различной степени сложности и детализации прежде всего необходимо сформировать информационную среду модели. Системный анализ оцениваемого объекта должен включать комплексное междисциплинарное вербальное описание целей процесса исследования, его характеристик и свойств, связей между структурными элементами. Следующим этапом оценки является построение формальных моделей различной степени детализации и полноты. Целью исследования является построение структуры информационно-математического обеспечения комплексной социо-эколого-экономической модели на основе системного анализа.

Методология способов моделирования, оценки, прогнозирования и принятия решений становится все более комплексной и междисциплинарной, объединяющей наиболее адекватные, с точки зрения системного анализа, методы исследования.

Информационно-математическое обеспечение моделей социо-природно-техногенных объектов должно строиться с учетом иерархических разнородных структур, лежащих в основе функционирования комплексных объектов.

Формирование базовых параметров, входящих в обобщенные зависимости экологических моделей, как правило, строится на законах пространственно-временной динамики геосферы, гидросферы и атмосферы. К ним, например, относят в качестве наиболее универсальных уравнения переноса массы, энергии и другие.

Среди базовых параметров, требующих информационно-математического анализа, следует выделить: высоту рассматриваемого приземного слоя атмосферы; коэффициент гравитационного самоочищения; коэффициенты вредности различных групп химических загрязнителей воздуха, воды и почв; массы газообразных вещества, выброшенных в рассматриваемых модельных районах; средние по территории концентрации загрязняющих веществ; коэффициенты степени самоочистки газообразных веществ; экспертный весовой коэффициент повторяемости инверсий; экспертный весовой коэффициент

повторяемости ветров с характерными скоростями; экспертный весовой коэффициент растительного покрова; запас рыбных ресурсов водоемов территории; количество животных на территории; масса фитопланктона водоемов территории; лесистость и другие.

Математически большинство зависимостей экологических объектов представляется в виде:

$$\frac{\partial(\rho c_i)}{\partial t} + \mu \cdot \text{grad}(\rho c_i) + \text{div}(\bar{v} c_i) = w(t, x, c, \bar{c}),$$

где t - время; $x = (x_1, x_2, x_3)$ - пространственная переменная; μ - коэффициенты диффузии; C_i - вектор концентраций химических веществ в средах (атмосфере, гидросфере, почве) региона; $\bar{c}$ - вектор фоновых концентраций химических веществ в средах; ρ - суммарная плотность смеси; $\bar{v}$ - поле скоростей среды;

w - функция источников химических веществ.

Что касается моделей социальных структур, современными тенденциями являются попытки модернизировать уже созданные балансовые зависимости и формализовать новые понятия общественных наук. Системный анализ социальных аспектов развития позволяет выделить следующие характеристики, влияющие на оценку качества жизни в регионе: численность населения; общие доходы по отраслям района; численность трудовых ресурсов; показатель обеспеченности человеческими ресурсами; показатель жизненного уровня населения; норма отчислений в национальный бюджет для региона; коэффициенты отчислений в образование, науку, культуру, безопасность, здравоохранение; показатель защищенности жизнедеятельности; показатель обеспеченности интеллектуальными ресурсами; объемы налогов с отраслей района; коэффициенты распределения местного бюджета на социальное развитие; минимальные и максимальные значения показателей и другие.

Основные зависимости социального блока имеют вид:

$$\dot{N} = (b(z, u, m, \dots) - d(z, u, m, \dots))N,$$

где N - численность населения в регионе; $b(z, u, m, \dots)$ - коэффициент прироста населения; $d(z, u, m, \dots)$ - коэффициент убытия населения; z - показатель уровня здоровья населения; u - показатель уровня жизни населения; m - показатель миграции населения.

В связи с объективным характером процесса регионализации потенциал территорий должен учитываться как фактор, влияющий на качество жизни населения регионов и экономическую безопасность.

Характерными особенностями развития регионов являются противоречивые тенденции развития хозяйственной деятельности. С одной стороны ускоренное развитие прогрессивных производств, интенсивное формирование местных рынков, развитие новых производственных отношений и форм хозяйствования, улучшение использования природно-ресурсного потенциала, активное привлечение различных видов капитала и др., с другой - взаимообратные тенденции. Оценка и моделирование экономической деятельности может опираться на широкий набор показателей [3,4]:

- коэффициенты прямых затрат на производство продукции;
- коэффициенты прямых затрат на единицу восстановления ресурсов;
- объемы непроизводственного потребления;
- торговые коэффициенты по продукции для производства продукции;
- к-ты распределения чистого дохода отраслей;
- норма отчислений в национальный бюджет для региона;
- поступления из национального бюджета на развитие производства в регионе;
- объемы производства продукции;
- мощности производства продукции;
- объемы капиталовложений в развитие производства в отраслях района;
- сальдо экспорта-импорта продукции отраслей района и другие.

Основные зависимости, формализующие экономические процессы, как правило, представляют в виде обыкновенных дифференциальных или алгебраических балансовых уравнений:

$$\dot{V} = (A \cdot V + B \cdot \dot{P}) + VI - VX + U,$$

где V - вектор выпуска продукции в регионе; A - матрица прямых затрат на производство продукции; B - матрица коэффициентов прироста мощностей производства; VI - вектор импорта продукции в регион; VX - вектор экспорта продукции из региона; U - вектор конечного потребления.

При формировании сценариев развития различного типа, как правило, опираются на различные целевые системы критериев. В [3] приведена достаточно детализированная система нормированных социо-эколого-экономических показателей качества, позволяющая оценить и выработать приоритеты территориального развития природно-техногенных систем. Синтез локальных показателей качества позволяет сформировать обобщенные интегральные критерии развития территориальной системы.

Набор целевых императивов развития социо-эколого-экономических объектов, в качестве необходимых составляющих, на современном этапе, включает критерии устойчивости функционирования и модели достижения устойчивого состояния систем. При построении интегральных критериев, особое внимание уделяется оценкам социо-эколого-экономической безопасности жизнедеятельности глобальной и региональных систем.

В качестве индекса социального развития качества жизни в ИППЭ НАН Украины рекомендован агрегированный показатель, состоящий из четырех частных «подиндексов»: показателя жизненного уровня населения, его защищенности, обеспеченности человеческими и интеллектуальными ресурсами.

Достижение приемлемых нормативов оцениваемой системой является областью исследования наук об исследовании операций и теории оптимального управления.

Математическое представление зависимостей для интегральных критериев имеет следующий общий вид

$$K = \sum_i^n w_i k_i,$$

где k_i - критерий качества компонента i (например, природной или социальной сфер); w_i - экспертные весовые коэффициенты.

Созданная теоретическая база служит основой построения блоков оптимизации в системах оценки природно-техногенных объектов.

Для автоматизированной оперативной оценки состояния природно-техногенной системы, принятия решений и синтеза проведенных экспериментальных и теоретических исследований, был создан программный моделирующий комплекс [6].

Приведенный подход к построению информационно-математического обеспечения оценки качества природной и

социальной сфер позволяет отразить влияние интенсивности и времени техногенного нагружения, природно-климатических условий, взаимодействия и роли отдельных компонентов среды, особенностей массопереноса в различных средах с учетом их защищенности и, таким образом, получить достаточно объективную общую оценку, а также вскрыть возможные механизмы влияния на складывающуюся ситуацию и подходы к выбору управленческих решений по ее изменению. Вместе с тем, рассмотренная система оценок базируется на методе экспертных определений диапазона значений некоторых параметров, границ и допустимых их отклонений, эталонных объектов и т.п., поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск и формализацию объективных зависимостей, которые компенсируют субъективный характер экспертных коэффициентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. - М.: Наука, 1981. - 488 с.
2. Моисеев Н.Н., Александров В.В., Тарко А.М. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями. М.:Наука, 1985.-272 с.
3. Методичні підходи до вибору та обґрунтування критеріїв і показників сталого розвитку різних ландшафтних регіонів України./ А.Г.Шапар, В.Б. Хазан, М.В.Мажаров та інш.-Дніпропетровськ, ІППЕ НАН України, 1999.- 88 с.
4. Полищук С.З., Долодаренко В.О., Чорнобровкіна Н.А., Рябко А.І. Системний аналіз і моделювання у розв'язанні проблем сталого розвитку території. Дніпропетровськ, 2001-136 с.
5. Полищук С.З., Рябко А.И. Системное моделирование и управление изменением состояния окружающей среды при разработке стратегии устойчивого развития на региональном уровне//Екологія і природокористування: Збірник наук. праць ІППЕ НАН України. Вип.. 5.- Дніпропетровськ, 2003. – С. 69-76.
6. Полищук С.З., Долодаренко В.А., Чорнобровкіна Н.А., Рябко А.И. Создание программного моделирующего комплекса в системах оценки и прогнозирования состояния социо-эколого-экономической системы региона// Материалы 13-ї міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини", (SIET 13-03), Дніпропетровськ. 2003. - С.216-218.

Получено 20.03.2008 г.

УДК 669.15`74-198:536.755

Я.В.Стовба, Л.В.Камкина

КИНЕТИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ И РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОМАРГАНЦА

Введение

Оптимизация процесса получения высокоуглеродистого ферромарганца производится обычно по себестоимости сплава при выполнении установленных расходных коэффициентов шихтовых материалов и норм электроэнергии. Существенным резервом являются физико-химические факторы – температура, основность шлака, требуемый состав готового сплава. Трудности установления оптимальных характеристик процесса связаны с непостоянством и невозможностью точного контроля состава используемых сырьевых материалов. Прогноз состава конечного металла оказывается, а затраты на производство неопределенными. Решение поставленной задачи возможно на основе результатов моделирования процесса, что вызывает необходимость построения математической модели, адекватной реальному процессу.

При выплавке ферромарганца в промышленных условиях в качестве железной составляющей шихты вводится либо железная (чугунная) стружка, либо железорудные окатыши. В случае ввода железорудных окатышей к началу восстановления марганца, железо уже практически полностью восстановлено. Образованием первичного железоуглеродистого расплава происходит до начала заметного восстановления закиси марганца, в присутствии которого марганец начинает восстанавливаться при меньших температурах по сравнению с восстановлением из чистой закиси марганца. Однако, не известны количественные характеристики скоростей совместного восстановления оксидов.

Состав металла и шлака в шахтных печах формируется в зоне плавления рудно-флюсовой части шихты. Фактором, который определяет этот процесс, является поток углерода, расходующийся на восстановление оксидов шихты. При этом температурные условия

ванны печи определяют физико-химические характеристики конечного металла и шлака.

Основная часть. Кинетика совместного восстановления оксидов

В лабораторных исследованиях железная составляющая вводилась в виде порошка металлического железа. Состав исходной шихты флюсовой плавки, %: MnO -55,07; SiO_2 -19,0; Fe - 3,36; CaO - 21,56; основность 1,14. В качестве восстановителя использовался углерод графитового тигля, что обеспечивало спокойное течение процесса, а образовавшийся при восстановлении металл полнее обособлялся в продуктах взаимодействия. Температура исследований составляла 1723К. Металл и шлак взвешивали, измельчали и химическим анализом определяли их состав. С учетом времени изотермической выдержки шихты и величины поверхности контакта углерода тигля с расплавом рассчитывалась скорость расходования углерода на восстановление. Подобный подход к определению показателей кинетики взаимодействия углерода с расплавленными шлаками в виде скорости расходования углерода на процесс восстановления $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ используется часто [1-3]. Результаты исследований показывают, что масса восстановленного кремния по сравнению с массой восстановленного марганца невелика. Содержание углерода в восстановленном металле близко к насыщению. Во всех случаях основность образовавшегося шлака несколько выше основности исходной шихты. Это связано с расходованием части SiO_2 шихты на восстановление кремния.

Известные литературные источники [4, 5-7], на основе изучения фазового состава промышленных образцов металла и шлака при плавках марганцевых сплавов, свидетельствуют о многообразии структурных составляющих, образующихся при взаимодействии веществ. Известный интерес представляет получение сведений о приближении исследуемого процесса к состоянию равновесия.

Расчет равновесного состояния через константы равновесия и массы израсходованного на восстановление углерода для такой сложной системы представляет известные сложности, поскольку активности оксидов в ходе восстановления непрерывно изменяются. В данной работе расчет равновесного состояния был выполнен с использованием программы "Астра" [8], в основу которой положен универсальный термодинамический метод определения

характеристик равновесия произвольных гетерогенных систем с использованием принципа максимума энтропии и сопоставлен с экспериментальными данными (табл. 1).

Расчетные составы металла и шлака близки к экспериментальным. Это подтверждает высказанные ранее предположения [9] о том, что при совместном восстановлении нескольких оксидов углеродом из жидких оксидных расплавов при протекании процесса в нестационарном состоянии, состав образующегося металла приближается к равновесному с данным шлаком известного состава.

Таблица 1

Сопоставление экспериментальных и расчётных данных при одинаковых массах исходных составляющих шихты флюсовой плавки

Вре- мя, с	Состав металла, %				Состав шлака, %				Масса продуктов, г	
	Si	Mn	Fe	C	SiO ₂	MnO	FeO	CaO	металла	шлака
Экспериментальные данные										
2400	0,35	56,48	36,47	6,7	16,0	62,3	-	21,7	0,594	8,59
3600	0,28	63,25	28,77	7,7	19,8	56,77	-	23,43	1,219	8,611
4200	0,28	70,54	21,58	7,6	18,04	43,03	-	28,93	1,77	8,587
6000	0,26	69,51	22,43	7,8	20,82	53,89	-	25,29	2,282	6,679
8000	0,28	71,03	20,89	7,8	19,82	54,73	-	25,45	2,382	6,923
10800	0,37	73,04	19,99	6,6	21,68	52,37	-	25,95	2,837	3,515
Расчётные данные										
2400	0,31	49,73	43,04	6,92	20,14	56,91	0,05	22,89	0,64	11,19
3600	0,59	63,18	27,38	8,85	20,86	55,3	0,025	23,84	1,15	12,21
4200	0,87	71,91	16,97	10,25	22,19	52,18	0,013	25,56	1,56	9,51
6000	0,97	74,08	14,26	10,69	22,9	50,55	0,01	26,53	1,94	9,57
8000	0,92	74,35	14,04	10,69	22,7	50,63	0,01	26,64	20,6	10,05
10800	1,07	75,53	12,33	11,05	23,66	48,81	0,008	27,54	2,32	9,55

Обработкой экспериментальных данных, известных в литературе, данных [10] для системы Mn-Si-O-C и данных этой работы для системы Mn-Si-Fe-O-C,

методами множественной корреляции получено выражение

$$V_C = 0,000037 + 0,000032 \cdot K_{Mn} X_{MnO} + 0,000985 K_{Si} X_{SiO_2} \quad (1)$$

с коэффициентом корреляции 0,746, что следует считать вполне удовлетворительным, где свободный член и коэффициенты имеют размерность кг/(м² · с) и учитывают пересчет мольных концентраций в объемные и константы скоростей восстановления.

Расчет массы восстановленного металла может быть проведен интегрированием выражения

$$dM_{мет} = k V_C d\tau, \quad (2)$$

где V_C является сложной функцией температуры и состава шлака $V_C = f(T, X_{MnO}, X_{SiO_2})$, k - коэффициент пересчета массы израсходованного углерода на массу восстановленного металла.

Анализ кинетических данных по влиянию на показатели восстановления количества и крупности восстановителя, ввода металлического железа на показатели восстановления показал, что процесс формирования сплава Fe – Mn следует рассматривать с участием углерода. Решением задачи диффузии в неограниченной пластине показано, что при использовании в шихту металлического железа в виде стружки, время ее науглероживания до насыщения составляет менее 1 ч. Это значительно меньше времени пребывания шихты в зоне плавления. При появлении расплава Fe-C в него начинает восстанавливаться марганец в виде расплава Mn-C. Обнаруженные кинетические факты, сведения о температурах плавления чистых марганца и железа и комплексных железомарганцевых карбидов, образование которых возможно при восстановлении смеси оксидов, позволили разработать качественную физико-химическую модель формирования Fe-Mn-C расплава. На ее основе разработана динамическая модель процессов в зоне плавления восстановления в руднотермической печи.

Методика построения динамической модели

В связи с тем, что параметры системы изменяются по высоте печи, то нестационарность состояния процессов в печи можно рассматривать как функцию высоты, а не времени. Скорость изменения параметров состояния системы, которая обычно рассматривается как функция времени $V = dC / dt$, может быть выражена через вертикальную координату x . Изменение параметров по координате можно записать в виде выражения $V = V/W = dC/dx$. Для упрощения полного аналитического описания ферросплавных процессов в дифференциальных уравнениях и их решения, эти уравнения можно выразить через конечные разности $V = \Delta C / \Delta x$, где ΔC – разность параметров на вертикальном участке печи Δx .

В рабочем пространстве печи могут быть выделены отдельные зоны с однотипными физико-химическими процессами. На вертикальном сечении выбранной зоны одно состояние будет являться входным, а другое – выходным. Выходные условия одной

зоны будут входными для другой, которая граничит с ней. Динамическую модель процесса выплавки ферромарганца можно представить в виде системы частных моделей для каждой отдельной зоны по вертикальному сечению рабочего пространства. Частная модель описывается системой уравнений материального и теплового балансов, зависимостей, определяющих величину отклонения системы от равновесия

Согласно, имеющимся литературным данным в ферросплавных печах непрерывного действия могут быть выделены четыре основных зоны: зона твёрдого состояния; зона плавления рудно-флюсовой части шихты и частичного восстановления её жидкой составляющей; зона, в которой вся рудно-флюсовая часть проплавлена и происходит стекание жидких пленок по кускам кокса (“коксовый слой”); ванна печи, в которой происходят процессы взаимодействия металла и шлака. Для исследования процессов плавления и восстановления наибольший интерес представляют вторая и третья зоны, для которых и строится модель.

Моделирование процессов плавления – восстановления

Для удобства расчетов начало координат расположено на верхней границе участка зоны плавления. В расчёте принята общая высота второй и третьей зон $L \sim 1,5$ м, длина второй зоны $L_{рф} \sim 1$ м, а расстояние от начала координат l является текущей координатой. Вся зона динамической модели разбита на n участков высотой Δl , верхняя часть которых определяет входные и выходные условия, а нижняя выходные.

В связи с тем, что тепловое состояние печи при устойчивой работе является стационарным, скорость плавления рудно-флюсовой части шихты в каждой локальной зоне обеспечивает ее полное расплавление на длине $L_{рф}$. Тепловой поток на составляющие рудно-флюсовой части шихты в этом случае могут быть приняты пропорциональными разности температуры в данной локальной зоне и температуры плавления: $\frac{dm}{d\phi} = A(t - t_{пл})$, где A – коэффициент скорости плавления.

При переходе от координаты по времени к координате по расстоянию выражение примет вид: $\frac{dm}{dl} = \frac{A}{W_{\text{шх}}} (t - t_{\text{пл}})$, где $W_{\text{шх}}$ – скорость

опускания шихты в печи. Выражение для величины A находили интегрированием при следующих граничных условиях: при $l=0$, $m=0$; при $l=L_{\text{рф}}$, $m=M_{\text{шх}}$, где $M_{\text{шх}}$ - масса проплавленной шихты в данном локальном (вертикальном) объеме печи. Масса проплавленной шихты

определяется выражением: $M_{\text{шх}} = \int_0^{L_{\text{рф}}} \frac{A}{W_{\text{шх}}} (t - t_{\text{пл}}) dl$. В связи с тем, что

в это выражение входят два переменных значения температур t и $t_{\text{пл}}$ решение уравнения производилось методами численного интегрирования в процессе реализации программы динамической модели.

Расчет состава оксидного расплава

При плавлении рудо-флюсовых шихт первые порции расплава по составу близки к эвтектическому. При своем движении вниз жидкие оксидные пленки стекают по кускам твердых шихтовых материалов, способствуя их растворению и переходу в образующийся расплав. Вероятность распределения шихтовых материалов в объеме печи может быть принята пропорционально объему составляющих частей шихты, а при близости насыпных масс – их массам. Исходя из этого при построении модели принято, что содержание компонентов, образующегося в процессе плавления оксидного расплава, пропорционально их массовой доли в исходной шихте, а состав, формирующегося в момент плавления оксидного расплава, соответствует среднему составу рудно-флюсовой части шихты. Массы соответствующих оксидов в шлаковом расплаве пропорциональны их среднему содержанию в шихте и скорости плавления.

Изменение массы оксидов шлакового расплава по высоте будет определяться разностью между массой расплавленного и восстановленного оксида. При этом принято, что массы CaO в расплаве и прочих оксидов, которые не восстанавливаются, увеличиваются только пропорционально скоростям их плавления.

Масса MnO в шлаковом расплаве на расстоянии l от начала координат будет

$$M(\text{MnO}) = 0,01(\text{MnO})_{\text{шх}} \int_0^l \frac{A}{W} (t - t_{\text{нл}}) dl - \int_0^l m(\text{MnO})_{\text{вос}} dl. \quad (3)$$

Аналогичный вид имеет выражение для определения $M_{(\text{SiO}_2)}$.

Расчет активной поверхности кокса

Реакции восстановления MnO и SiO_2 из жидких оксидных расплавов углеродом кокса являются гетерогенными, и скорость их расходования при восстановлении будет определяться площадью поверхности кусков кокса, на которой протекает реакция. При определении площади поверхности кокса учитывалась его доля в общем объеме шихты. Объемы составляющих шихты принимались равными отношению масс соответствующих ее составляющих к насыпному весу. Убыль объема составляющих рудно-флюсовой шихты считалась пропорциональной переходу твердой части шихты в жидкое состояние. Убыль объема кокса определялась по разности исходного объема и расхода на восстановление.

Формирование состава металла

При анализе возможных физико-химических процессов в зонах плавления-восстановления принято, что восстановление и плавление железо-углеродистого расплава происходит до начала плавления рудно-флюсовой части шихты и восстановления марганца и кремния. Скорость восстановления Mn и Si определяется скоростью расходования углерода на их восстановление. Масса металла на данном горизонте печи является суммой (смесью) масс (порций) металла, восстановленного как равновесный со шлаком на соответствующих вышележащих горизонтах и пришедших к данному горизонту. Масса израсходованного углерода определяется его количеством, которое пошло на восстановление Fe , Mn , Si и растворение углерода в железо-углеродистом и марганецуглеродистом расплавах

$$M_C = 0,218 M_{\text{Mn}} + 0,857 M_{\text{Si}} + 0,214 M_{\text{Fe}} + M_{\text{CFe}} + M_{\text{CMn}} \quad (4)$$

За начальную температуру процесса принята температура начала плавления оксидного расплава.

Результаты моделирования

Скорости восстановления марганца резко возрастают при переходе к коксовому слою и повышением температуры в локальной

зоне. Снижение скорости восстановления марганца в нижних горизонтах коксового слоя связано с понижением содержания MnO в оксидном расплаве и уменьшением его массы.

Изменение относительного расхода углерода (по отношению к массе восстановленного металла) приведено (рис. 1б) показывает, что относительный расход углерода возрастает с повышением температуры, что связано с более высокими скоростями восстановления.

Вывод

Вычислительный эксперимент, проведенный с использованием динамической модели, дает возможность установить основные закономерности формирования состава металла и шлака и кинетику хода плавления-восстановления по высоте печи при выплавке углеродистого ферромарганца. Использование модели позволило выполнить анализ влияния крупности используемых материалов, их состава, температуры, соотношения в шихте различных марганцевых материалов на извлечение марганца. Уточнение зависимости скорости расходования углерода на восстановление позволит точно прогнозировать скоростные возможности процесса, что имеет значение для совершенствования процесса.

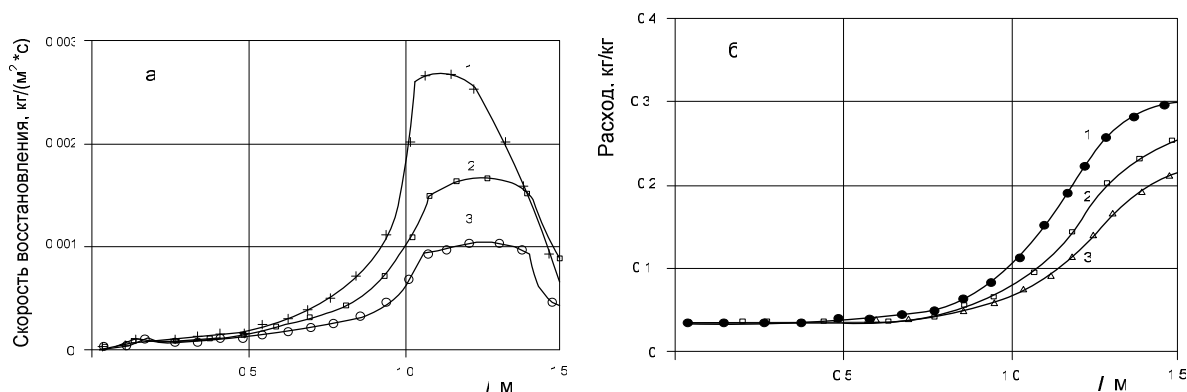


Рис. 1 - Скорость восстановления марганца в зонах конечных температур (а) и относительные расходы углерода (б) в зонах конечных температур: 1700⁰С - 1; 1600⁰С - 2 и 1500⁰С - 3

ЛИТЕРАТУРА

1. Шурыгин П.М., Бороненков В.Н., Крюк В.И., Ревебцов В.В. Кинетика прямого восстановления окислов железа из расплавов //Изв. вузов. Черная металлургия. - 1965. -№ 2.- С. 23-29.

2. Кухтин Б.А., Бороненков В.Н., Есин О.А., Топорищев Г.А. Кинетика восстановления марганца из расплавленных шлаков твердым углеродом //Изв. АН СССР. Металлы. - 1969. - № 1. - С.119-124.
3. Бороненков В.Н., Есин О.А., Лямкин С.Н. Кинетика восстановления металлов из жидких шлаков твердым углеродом // Изв. АН СССР. Металлы. 1972.- № 1.- С. 23-30.
4. Гасик М.И. Марганец –М.: Металлургия. -1992. -668 с.
5. Гасик М.И. Лысенко В.Ф. Металлофизические исследования фазового состава синтетических и промышленных сплавов системы Mn-Fe-Si-С// Восстановительные процессы в производстве ферросплавов: Сб.научн.трудов.- М.: Наука, 1977. - С. 12-15
6. Лапин В.В. Петрография металлургических и топливных шлаков. Труды института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии. Выпуск 2:М.:Изд-во АН СССР.1956.- 326 с.
7. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов/ Г.В.Синярев, Н.А.Ватолин, Б. Г.Трусов, К.М.Моисеев. М.: Наука, 1982. -263 с.
8. Стомба Я.В., Яковлев Ю.Н., Камкина Л.В. Неравновесное состояние системы металл-шлак и реальные коэффициенты распределения элементов между ними в ванне печи при выплавке углеродистого ферромарганца.//Теория и практика металлургии. -1998. -№2. -С.7-9.
9. Камкина Л.В., Яковлев Ю.Н. Состав восстановленного металла при нестационарном состоянии процесса совместного восстановления кремния и марганца из оксидных расплавов углеродом // Теория и практика металлургии. -1998. -№2. –С. 22-25.

Получено 21.03.2008 г.

УДК 669.168

Н.Л. Дорош, А.И. Михалев, М.И. Гасик, В.А. Гладких, М.Г. Кондюк

ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЕ UML

Введение

Металлургия Украины - базовая отрасль народного хозяйства страны. Основой качественной металлургии является ферросплавное производство, в котором в последние 30 лет значительно увеличилась единичная мощность плавильных агрегатов, успешно ведется выплавка большинства многотоннажных ферросплавов: кремнистых, марганцевых, совершенствуются технологии подготовки сырья методом агломерации, брикетирования и окатывания, широко внедряются информационные технологии автоматизации проектирования [1].

Одним из основных направлений развития ферросплавного производства является реструктуризация и автоматизация процессов. При этом первым этапом создания такого производства является этап оптимального проектирования.

На настоящий момент не существует общепризнанных инструментальных средств автоматизированного проектирования предприятий металлургии, которые являлись бы инструментом на всех стадиях проектирования и в то же время соответствовали решению задач создания именно металлургического производства.

Анализ исследований

В научно-технической литературе, с одной стороны, широко представлены общие основы проектирования [2], теория проектирования электросталеплавильных и ферросплавных цехов [1, 3], с другой стороны, - современная методология проектирования [4] на основе объектного анализа с использованием языка UML (Unified Modeling Language) [5]. Язык UML предназначен для описания, визуализации и документирования объектно-ориентированных систем и бизнес-процессов с ориентацией на их последующую программную реализацию.

Формулировка цели

Целью настоящей работы является разработка объектной модели для системы автоматизированного проектирования (САПР) электроферросплавного производства.

Основная часть

Объектная модель с применением UML представляет совокупность диаграмм. При этом модель ферросплавного производства, которое является сложной системой, может быть представлена в некоторой иерархической форме и в определенных проекциях. Элементы модели могут быть организованы в иерархическом порядке. Верхний уровень соответствует диаграмме вариантов использования (use case diagram) (рис.1). Основными элементами диаграммы вариантов использования являются действующие лица (проектировщик), вариант использования (ферросплавный завод), расширение варианта использования и отношения между ними.

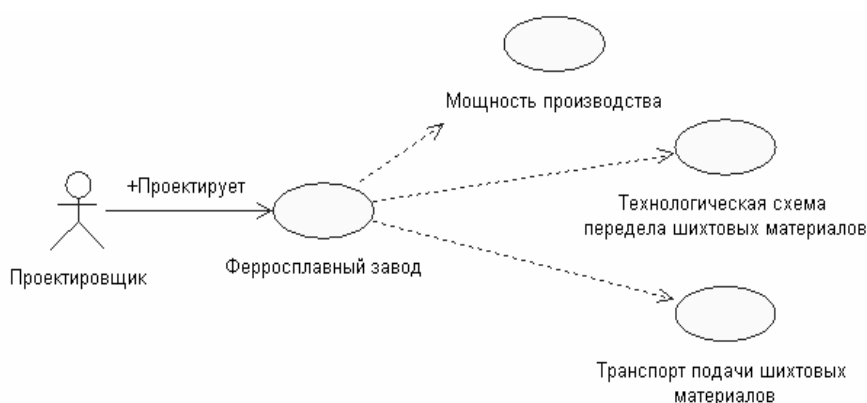


Рисунок 1- Диаграмма вариантов использования

Центральное место при проектировании автоматизированной системы занимает разработка ее логической модели в виде диаграммы классов. На рис.2 представлен пример диаграммы классов объектной модели электроферросплавного производства. Однако полная логическая модель обычно имеет законченный вид на последнем этапе создания объектной модели.

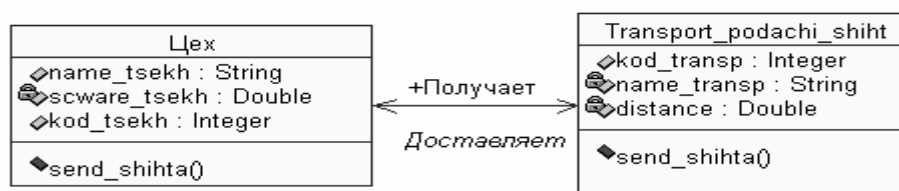


Рисунок 2- Диаграмма классов

Диаграмма последовательности (рис. 3) используется для лучшего понимания особенностей взаимодействия элементов модели – объектов ферросплавного производства – во временной интервале. На этой диаграмме имеется два измерения. Одно - слева направо – в виде

последовательности объектов; второе направлено сверху вниз и соответствует линии жизни объектов. Начальному моменту времени соответствует самая верхняя часть диаграммы. Реализация взаимодействия моделируется посредством сообщений, которые изображаются в виде стрелок между линиями жизни. При этом сообщения, расположенные выше, передаются раньше тех, которые расположены ниже. Объектами представленной диаграммы последовательности являются элементы типовой схемы передела шихтовых материалов [1]. Эти объекты имеют свойства класса «цех».

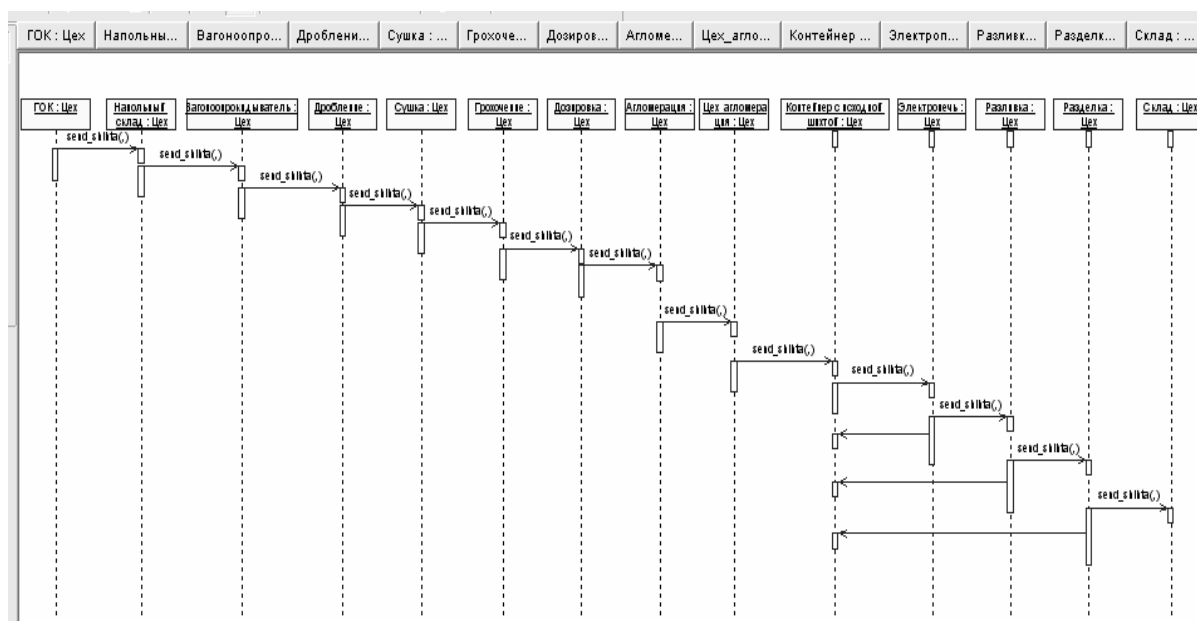


Рисунок 3 - Диаграмма последовательности

Диаграмма последовательности является одной из двух диаграмм взаимодействия. Диаграмма кооперации представляет вторую диаграмму взаимодействия и отображает поток событий между объектами, концентрируя внимание на сообщениях между ними.

В общем случае динамика сложной системы может рассматриваться в нескольких аспектах. Поэтому в UML имеется несколько типов диаграмм для моделирования динамики. Так, диаграмма деятельности может быть использована для представления функциональности объектов ферросплавного производства (рис. 4).

Язык UML основан на базовых понятиях, которые могут комбинироваться и расширяться. Так, в некоторые модели может быть включена диаграмма развертывания. На рис. 5 показана диаграмма развертывания, соответствующая типовой схеме передела шихтовых материалов.

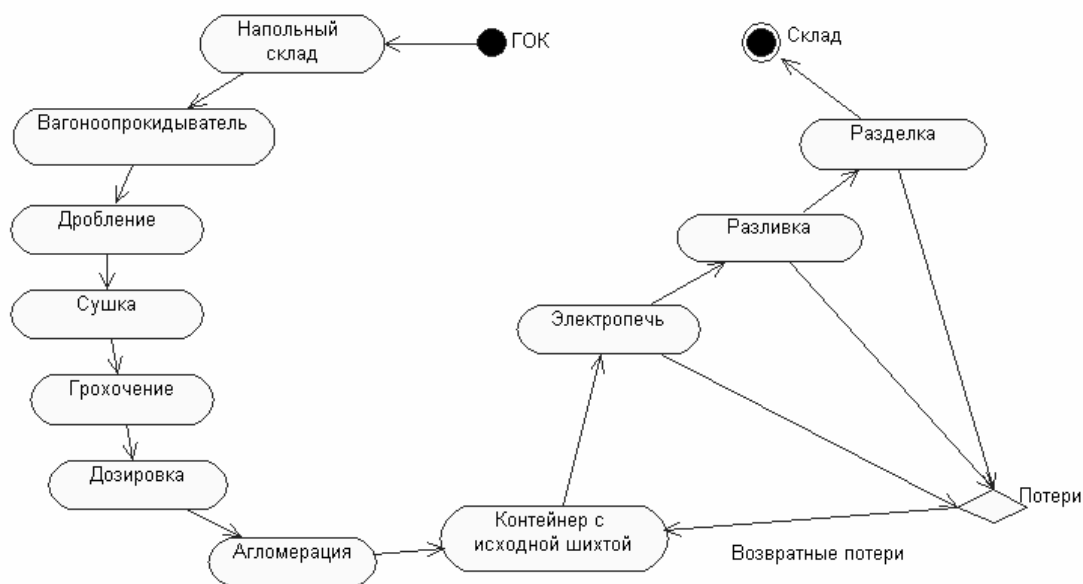


Рисунок 4 – Диаграмма деятельности

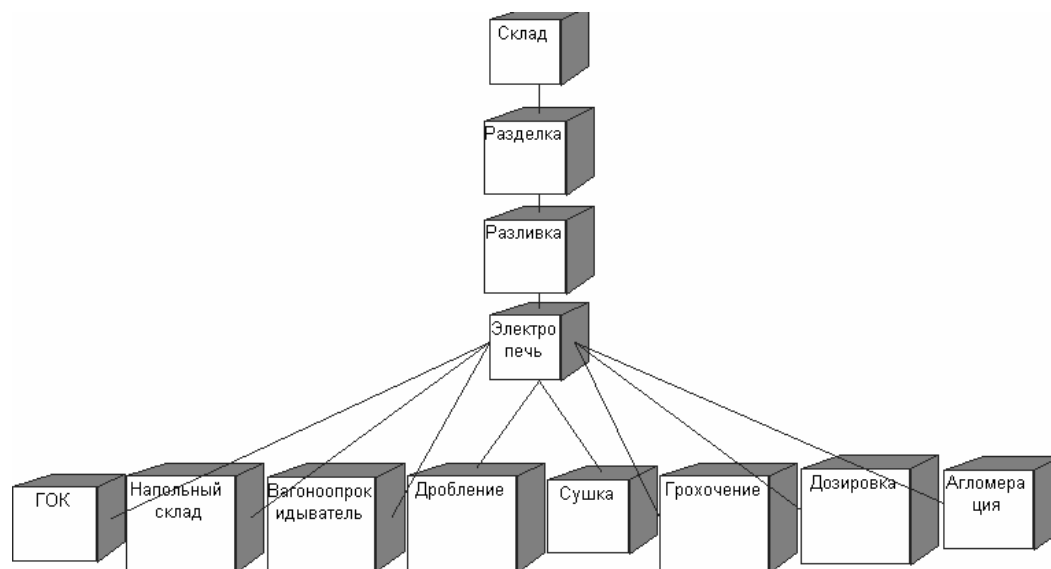


Рисунок 5 – Диаграмма развертывания

Объектная модель является составляющей технического задания для создания автоматизированной системы проектирования электроферросплавного производства.

При разработке проектирования производства решается комплекс задач, в том числе и формирование генерального плана, вид которого определяется совокупностью условий [1]. Для разработки и уточнения генерального плана удобно использовать возможности информационных систем, имеющих в своем составе графический редактор.

Одной из задач проектирования объектов электрометаллургических заводов является расчет баланса шихтовых материалов. Наличие

математического обеспечения САПР позволит провести анализ результатов и выбрать оптимальный вариант по расходу сырьевых ресурсов.

Разработан алгоритм, на основании которого реализована автоматизированная система для проектирования электроферросплавного производства. На рис.6 приведена диаграмма компонентов, которая объединяет средства реализации разработанной системы.

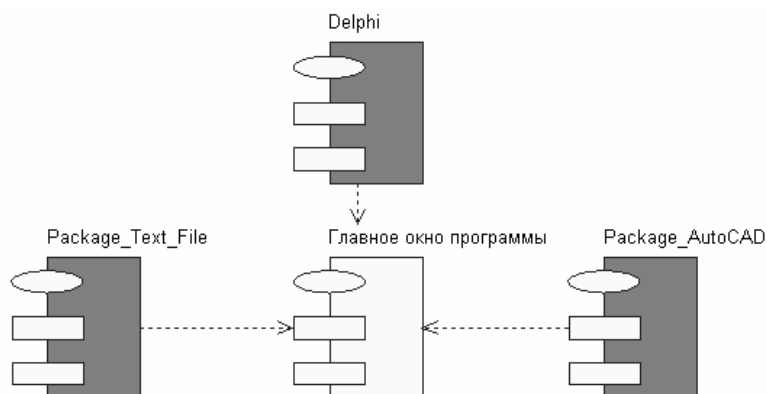


Рисунок 6 – Диаграмма компонентов САПР электроферросплавного производства

Автоматизированная система предназначена для решения следующих задач: расчета баланса шихтовых материалов по методике, приведенной в [3]; анализа результатов расчета; уточнения схемы генерального плана завода в графическом редакторе; оформления текстовых документов. На рис. 7 представлено главное окно автоматизированной системы проектирования электроферро-сплавного производства.

Ферросплавный завод

Введите исходные данные:

Годовая производительность цеха, тыс.т (ММЕ):

Доля в шихте агломерата (NA):

Доля в шихте МФШ (NF):

Содержание элемента, % (EL):

Содержание в шихте, % (PR): Si - кремний

Возвратные потери:

(DL4):

(DB4):

(DC4):

(D5):

(D6):

Безвозвратные потери:

(Y2):

(Y3):

(YL4):

(YB4):

(YC4):

(Y5):

(Y6):

Влажность сырья, % (W):

Результат:

Расчётные запросы сырья, т:

Расчёты

Посчитать

Техническое задание

Генеральный план

Схема передела шихты

Выход

Рисунок 7 – Главное окно системы

Выводы

Представлена объектная модель как техническое задание для разработки САПР.

Разработана автоматизированная система для выполнения работ по проектированию электроферросплавного производства.

Предлагаемая система проектирования может быть использована для: 1) выбора оптимальных параметров сырьевых ресурсов; 2) просмотра и редактирования схемы передела шихты; 3) создания и корректировки генерального плана завода в графическом редакторе; 4) редактирования текстовых документов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование и оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов: Учебник /В.А. Гладких, М.И. Гасик, А.Н. Овчарук, Ю.С. Пройдак. – Днепропетровск. – Системные технологии, 2004. – 736с.
2. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учебник для вузов. 2-е изд.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.- 336с.
3. Основы проектирования электрометаллургических цехов: Учебное пособие / В.А.Гладких, М.И.Гасик, В.Ф.Лысенко, А.Н.Овчарук, Ю.С.Пройдак. - Днепропетровск: Системные технологии, 2003. - 114с.
4. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++, 2-е изд./Пер. с англ. – М.: Издательство Бином, СПб.: Невский диалект, 2000.- 560 с.
5. Ларман Крэг. Применение UML и шаблонов проектирования. 2-е изд./ Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 624 с.

Получено 26.03.2008 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Информационные технологии в процессах получения материалов с заданными свойствами

Бойко М.Н., Ковалев Д.А., Ванюкова Н.Д. Комплексный расчет основных параметров и качества углеродсодержащих окатышей при обжиге на конвейерной машине	3
Величко А.Г., Антонец В.Д. Обезуглероживание расплава окислительной продувкой при вакуумной обработке	9
Денисенко А.И. Структура и свойства металлокомпозитных микрочастиц для инъекционного метода формирования электрода .	17
Денисенко А.И., Цоцко В.И., Спиридонова И.М., Пелешенко Б.Г. Аналитическое моделирование температурного поля одномерного образца в условиях местной термообработки.....	22
Матвеева М.О. Информационные технологии в оценке влияния различных факторов на жидкотекучесть чугунов экономно-легированных хромом.....	30
Павлюченков И.А., Игнатенко Л.А., Болотов В.Ю., Бабенко М.В. Математическое моделирование двумерной задачи плавления тугоплавких тел цилиндрической формы на границе шлак-металл в сталеразливочном ковше.....	35
Светличный Д.С. Фронтальные Клеточные автоматы	42
Стухляк П.Д., Добротвор І.Г. Характеристики динаміки поширення зовнішніх поверхневих шарів епоксикомпозитів з дисперсними наповнювачами	48
Яловая Е.Н., Павлюченков И.А., Болотов В.Ю. Математическое моделирование тепловой работы дуговой сталеплавильной печи с целью разработки оптимальных режимов плавления металлошихты	54
Деревянко А.И., Кавац А.А. Влияние вибровоздействий на структуру металлических сплавов.....	59

Математическое моделирование современных энергосберегающих металлургических процессов

Бобровицкий С.В., Тараканов А.К., Иващенко В.П., Паниотов Ю.С. Математическое моделирование процессов жидкофазного восстановления железа	64
Зайцев В.Г., Чайка А.Л., Швачка А.И., Лукьяненко И.А., Пинчук Д.В. Применение метода векторной оптимизации к выбору	

параметров комбинированного дутья при использовании пылеугольного топлива.....	71
Кветний Р.Н., Машницкий М.О. Моделивання одновимірних об’єктів в просторі	81
Б.Б. Потапов, В.А. Пинчук математическое моделирование затвердевания расплава в валковых охладителях.....	87
Пройдак Ю.С., Козлов В.П. Малые случайные колебания пространственного длинномерного гидротранспортного трубопровода .	93
Форись С.Н., Федоров С.С., Губинский М.В. Математическое моделирование шахтных известково-обжиговых печей	98
Швачка А.И., Лукьяненко И.А., Зайцев В.Г., Чайка А.Л., Нынь С.В. Моделирование режимов форсирования доменной плавки с учетом неопределенности информации.....	105
Яковенко В.О. Математичне моделювання відновлення сипучості металургійної сировини енергією мікрохвильового електромагнітного поля.....	111

Интеллектуальные информационно-управляющие системы

Аксак Н.Г., Новосельцев И.В., Солдатов А.С. Адаптация нейросетевых моделей на высокопроизводительные системы с общей памятью	117
Бісікало О.В. Конструювання образу-рішення для моделі інтелектуального управління	123
Bodyanskiy Ye., Vynokurova O. Robust learning algorithm for wavelet-neural-fuzzy network based on Polywog wavelet.....	129
Вишневецкая Е.Н., Каргин А.А. некоторые динамические свойства ситуационного агента	135
Головко В.И., Верховская А.А., Кукушкин О.Н., Михайловский Н.В., Потапов А.В. Принципы алгоритмической обработки радарных сигналов для определения уровня материала в реакторах и емкостях .	141
Журавлев В.Н. Анализ процессов энергоинформационного обмена в системах маскирования речи.....	145
Кветний Р.Н., Коцюбинський В.Ю. , Кислиця Л.М. Автоматизована система для прийняття експертних рішень з використанням GARCH-моделей.....	150
Кораблев Н.М. Адаптивные системы нечеткого вывода с иммунной настройкой	157

Мазурок Т.Л. Нейросетевой подход к интеграции иерархических структур.....	164
Мазурок И.Е. Формальные онтологии в моделировании интеллектуальных информационно-управляющих систем.....	170
Михалев А.И., Калиберда Ю.О. Математическая модель иммунного ответа на вторжение в компьютерную сеть	175
Михалев А.И., Лысая Н.В., Лысый Д.А. Синергетический синтез многомодельного алгоритма обучения нечетких нейросетей	179
Плисс И.П., Попов С.В., Рыбальченко Т.В. Прогнозирование узловых нагрузок электроэнергетической системы на основе нейронной сети встречного распространения.....	186
Скалозуб В.В. Метод и информационные технологии нечетко-статистического управления.....	191
Тимченко В.Л. Формування керуючих функцій методом структурно-змінних зворотних зв'язків в дискретних системах.....	200
Михалев А.И., Горб В.Г. Влияние динамического разрушения на рост 3D перколяционного кластера	205
Петренко В.Р., Куделіна К.О. Кластеризація часових послідовностей з використанням нейронної мережі кохонена	210
Полищук С.З., Рябко А.И. Построение структуры информационно-математического обеспечения для создания комплексных моделей устойчивого развития территории.....	216
Стовба Я.В., Камкина Л.В. Кинетика восстановления и разработка динамической модели процесса получения высокоуглеродистого ферромарганца.....	222
Дорош Н.Л., Михалев А.И., Гасик М.И., Гладких В.А., Кондюк М.Г. Объектная модель электроферросплавного производства в инструментальной среде UML.....	231

РЕФЕРАТЫ

УДК 622.788:658.012.011.56:519.8

Бойко М.М., Ковальов Д.А., Ванюкова Н.Д. **Комплексний розрахунок основних параметрів і якості обкотишів, що містять вуглець, при випалі на конвеєрній машині** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.3-8.

Створено модель, що дозволяє визначати міцність обкотишів у залежності від початкових параметрів і процесу випалу. Застосування розроблених рівнянь у моделі випалу обкотишів, що містять вуглець, дозволяє створити комплексну систему керування процесом випалу і якістю обкотишів. Визначено максимально допустиму витрату твердого палива на випал (не більш ніж 1 %) при який досягається прийнятна якість обкотишів по усій висоті шару.

УДК 669.046.55

Величко О.Г., Антонец В.Д. **Зневуглецьовування розплаву окис-нювальною продувкою при вакуумній обробці** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.9-16.

Розглядається механізм газовідділення у межах вторинної реакційної зони при окиснювальній продувці розплаву під низьким тис-ком. Запропоновано математичну модель – рівняння, що дозволяють враховувати розміри виникаючих бульбашок монооксиду вуглецю, витрату кисню та положення фурми при визначенні частоти газовід-ділення з вторинної реакційної зони. Розраховані очікувані величини частот газовідділення для процесів вакуумної обробки у агрегатах VOD і DETEM.

Бібл. 10, іл. 1, табл. 1.

УДК 621.793:621.14:620.18

Денисенко О.І. **Структура і властивості металокомпозитних мікрочастинок для інжекційного методу формування електрода** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.17-21.

Для перспективної технології синтезу електродних структур, заснованої на інжекції часток з литированих оксидів металів у приповерхневий шар провідника, отримано рекомендації з оптимізації структури попередньо формованих металокомпозитних мікрочастинок.

Бібл. 5, іл. 3, табл. 1.

УДК 517.9:621.78:669.14

Денисенко О.І., Цоцко В.І., Спиридонова І.М., Пелешенко Б.Г. **Аналітичне моделювання температурного поля одновимірною зразка в умовах місцевої**

термообробки // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.22-29.

В умовах лінійного нагрівання і наступного лінійного охолодження поверхні одновимірної моделі з металу аналітично досліджено температурне поле в глибині зразків у широкому діапазоні швидкостей нагрівання і охолодження. Результати розрахунку були застосовані до низьковуглецевих сталей і можуть бути використані в процесах місцевої термообробки деталей, при дифузійному насиченні поверхневого шару і термоциклюванні.

Бібл. 9, іл. 2.

УДК 627.771.07

Матвєєва М.О. **Інформаційні технології в оцінці впливу різноманітних факторів на рідиноплинність чавунів, що економнолеговані хромом** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.30-34.

У дослідженнях, що наведені проаналізований комплексний вплив економного легування хромом та температури заливання на рідиноплинність чавуну. Рідиноплинність чавуну є функцією багатьох складових, що характеризують метал, форму та умови заливання. Враховуючи складність цих залежностей, вона доки не піддається точному математичному розрахунку. Застосування інформаційних технологій і методів математичної статистики мають допомогти вирішити багатофакторні задачі отримання якісних виливків.

Бібл.5, іл.2, табл.1.

УДК 669.040.26.001.57

Павлюченков І.О., Ігнатенко Л.А., Болотов В.Ю., Бабенко М.В. **Математичне моделювання двувимірної задачі плавлення тугоплавких тіл циліндричної форми на границі шлак–метал у сталерозливочному ковші** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.35-41.

Проведене математичне моделювання двовимірної задачі плавлення тугоплавких тіл циліндричної форми на границі шлак–метал у сталерозливочному ковші. Адекватність запропонованого метода, математичної моделі і алгоритм розрахунків підтверджується порівнянням результатів розрахункового експерименту з раніше опублікованими результатами модельних задач плавлення. Результати розрахункового експерименту дають змогу встановити раціональні режими вводу кускових добавок із різних матеріалів в розплав ковша, які забезпечують найбільш благоприємні умови для розплавлення і усвоєння добавок, які виносяться потоками жидкого металу на границю шлак–метал.

Бібл 3, іл. 4.

УДК 519.713+621.789-034.1

Светлічний Д.С. **Фронтальні кліткові автомати** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.42-47.

Разглянуто теоретичні заглиблення фронтальних кліткових автоматів та їх відмінність від класичних. Запропоновано зміна загального формулювання кліткових автоматів, що дозволяє перейти до дослідження тільки обшару, в котрій заходять зміни. Замінено ролі клітини та її оточення, зреалізовано перехід в визначенню нового стану клітини від залежності від стану клітин, що оточують, до процесу переходу клітини з одного стану в інший. Наведено порівняння витрат на облічення для різних варіантів з класичними та фронтальними клітковими автоматами. Фронтальні автомати можуть бути застосовані для моделювання кристалізації, рекристалізації, фазових перетворень та інших явищ.

УДК 667.64:678.026

Стухляк П.Д., Добротвор И.Г. **Характеристики динамики образования внешних поверхностных слоев эпоксикомпозитов с дисперсными наполнителями** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.48-53.

Проведено моделирование роста внешних поверхностных слоев эпоксикомпозитов с дисперсными наполнителями в непосредственной близости от поверхности зерна наполнителя, соизмеримой с эффективной протяженностью слоев. Выделено два основных временных этапа распространения микроструктур композитных материалов: первый характеризуется преимущественным влиянием потенциального слагающего мгновенной скорости распространения слоев; второй - наличием осциляционного затухающего слагающего.

УДК 669.187.046.7.001.573

Яловая С.М., Павлюченков И.О., Болотов В.Ю. **Математичне моделювання теплової роботи дугової сталеплавильної печі з ціллю розробки оптимальних режимів плавлення металошихти** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.54-58.

Наведена математична модель процесу розплавлення металічної шихти в робочому просторі дугової сталеплавильної печі. Представлено результати обчислювального експерименту по дослідженню кінетики процесу плавлення шихти від тепла електричних дуг та від тепла дуг з використанням газокисневих горілок. Встановлена можливість зниження витрати електричної енергії та тривалості плавки за рахунок застосування газокисневих горілок на окремих стадіях розплавлення металошихти.

Бібл. 4, іл. 1.

Дерев'янюк О.І., Кавац О.О. **Вплив дії вібрації на структуру металевих сплавів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.59-63.

У роботі розглянутий експеримент по оцінці впливу дії вібрації на структуру металевих сплавів. Досліджено, що віброобробка має вплив на затвердіння металевих розплаву змінює макроструктуру.

УДК 669.169

Бобровицький С.В., Тараканов А.К., Іващенко В.П., Паніотів Ю.С. **Математичне моделювання процесів рідкофазного відновлення** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.64-70.

Процеси рідкофазного відновлення (ПРВ) є новою та ефективною альтернативою традиційної коксо-агло-доменної технології виробництва чавуну. До сьогодні всі найбільш ефективні технологічні та конструкційні елементи ПРВ не тільки запропоновані й обґрунтовані, але й пройшли випробування на півпромислових установках. Зараз вже немає сумнівів в працездатності різних варіантів ПРВ. Маючи прикладні математичні моделі, можливо з високим ступенем достовірності прогнозувати технічні та економічні параметри різних версій ПРВ. Розроблені математичні моделі дають можливість вибирати для конкретних умов найбільш ефективні технології, з використанням прийнятих критеріїв оптимізації та накладених обмежень.

Бібл. 7, іл. 6.

УДК 629.162.5

Зайцев В.Г., Чайка А.Л., Швачка О.І., Лукьяненко І.А., Пинчук Д. В. **Використання методу векторної оптимізації до пошука параметрів комбінованого дуття при застосуванні пилевугільного палива** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.71-80.

Розглянуто використання методу уступок для розв'язку лінійної та нелінійної задач оптимізації параметрів дуття при застосуванні пилевугільного палива. Наведено аналіз отриманих результатів та рекомендації використання методу до розв'язання задач за аналогією. Надано паретовські області розв'язку задачі векторної оптимізації.

Бібл. 11, іл.2, табл. 2.

УДК 519.65

Кветный Р.Н., Машницкий М.О. **Моделирование одномерных объектов в пространстве** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.81-86.

Рассматриваются методы моделирования одномерных объектов в пространстве. Предложено подход к моделированию одномерных объектов в пространстве, который, в отличие от классических, дает возможность моделировать одномерные объекты, что заданные в параметрическом виде. Данный подход дал возможность, уменьшить количество операций, которые необходимы для моделирования таких объектов.

Бібл. 5, табл. 1.

УДК 658.567.1

Потапов Б.Б., Пінчук В.О. **Математичне моделювання затвердіння розплаву у валкових охолоджувачах** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.87-92.

Розглянуто фізичну картину затвердіння розплаву шлаку, сформульовані умови теплообміну між шлаком і валковим охолоджувачем і прийняті допущення при моделюванні динаміки затвердіння рідкого шлаку. Приведена модель реалізована у виді комп'ютерної програми і дозволяє виконувати дослідження впливу конструктивних і режимних параметрів на розподіл температур і частку твердої фази в межах зони двофазного стану. Виконано розрахункові дослідження і встановлено вплив конструктивних і режимних характеристик валкових охолоджувачів для сухої грануляції розплаву золи вугілля на величину теплоспоживання і продуктивність установки.

Бібл. 4, іл.2.

УДК 533.6.01.3.42

Пройдак Ю.С., Козлов В.П. **Малі випадкові коливання просторового довгомірного гидротранспортного трубопроводу** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.93-97.

Розроблена математична модель закріпленого за обидва кінці просторового гнучкого гидротранспортного трубопроводу, що здійснює вимушені параметричні коливання, викликані випадковими змінами густини перекачуваної пульпи. Задача лінійної статистичної динаміки вирішене методом статистичних випробувань.

Бібл. 2, іл. 1.

УДК 51-74:669.162-669.181.4

Форись С.М., Федоров С.С., Губинський М.В. **Математичне моделювання шахтних вапняно-випалювальних печей** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.98-104.

Розроблено математичну модель шахтної вапняно-випалювальної печі на газоподібному паливі. У моделі враховані особливості зовнішнього й внутрішнього теплообміну, газодинаміки, конвективного та дифузійного переносу речовини, горіння

палива. Проведено адаптацію, на основі якої обрані розрахункові значення кроку по координатній сітці.

Бібл. 9, іл. 1.

УДК 629.1

Швачка А.И, Чайка А.Л., Зайцев В.Г., Лукьяненко И.А., Нынь С.В. **Моделирование режи-мів форсування доменної плавки з урахуванням невизначеності інформації** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.105-110.

Розглянуто використання спеціальних методів вибору згідно результатам моделювання режимів плавки з урахуванням невизначеності інформації. Наведено аналіз отриманих результатів та рекомендації щодо використання методу до розв’язання задач за аналогією.

Бібл. 8, іл.1, табл. 3.

УДК 536.24

Яковенко В.А. **Математическое моделирование восстановления сыпучести металлургического сырья энергией микроволнового электромагнитного поля** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.111-116.

Построена математическая модель процесса разогрева в микроволновом электромагнитном поле смерзшегося металлургического сырья с учетом фазовых превращений. Решение сформулированной задачи позволяет определить распределение температур в твердой и жидкой фазах, закон движения границы фазового превращения, рабочую частоту электромагнитного поля.

Библ. 7.

УДК 007.001.362

Аксак Н.Г., Новосельцев И.В., Солдатов А.С. **Адаптація нейромережових моделей на високопродуктивні системи із загальною пам'яттю** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.117-122.

Розглядаються способи програмної реалізації нейромережових моделей перцептронного типу. Пропонується метод адаптації розглянутих моделей на високопродуктивні системи із загальною пам'яттю з використанням стандарту Openmp. Проведені обчислювальні експерименти показали високу ефективність запропонованого підходу.

Бібл. 3, іл.3.

УДК 519.876.5:004.81

Басикало О.В. **Конструирование образа-решения для модели интеллектуального управления** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.123-128.

Рассматриваются различные методы решения задач выбора и детализации решения производственных проблем. Предложен новый подход к обоснованию образа-решения на основе моделирования механизма оперативной памяти человека. Ассоциативный образный поиск построен с помощью формализации феноменологических понятий ансамбля образов, вектора эмоций, фокуса внимания, ориентировочного рефлекса. Показана возможность программной реализации данной модели в рамках алгоритма навигации в образном пространстве.

Библ. 10, ил. 2.

УДК 519.7:007.52

Бодянский Е.В., Винокурова Е.А. **Робастный алгоритм обучения для вэйвлет-нейро-фаззи сети на основе вэйвлета POLYWOG** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.129-134.

В статье предложен робастный алгоритм обучения вэйвлет-нейро-фаззи сети с активационными функциями POLYWOG вэйвлет на основе критерия Р. Велша. Предложенный алгоритм обучения позволяет обрабатывать сигналы в условиях выбросов с большой амплитудой.

Библ. 20.

УДК 004.20

Вишневецька О.М., Каргін А.О. **Деякі динамічні властивості ситуаційного агента** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.135-140.

Розглядається математична модель ситуаційного агента. Описується комп'ютерний експеримент з дослідження основних характеристик ситуаційного агента: близькості ситуації прототипу, інформацію про який зберігає агент, та вихідного сигналу агента. Експерименти показали, що запропонована математична модель дозволяє вирішувати завдання ідентифікації моментів часу настання подій, модель яких будується на множині властивостей, що асинхронно змінюються.

Бібл.7, іл. 1, табл. 1.

УДК 621.396.969

Головка В.І, Верховська А.О., Кукушкін О.М., Михайловський Н.В., Потапов О.В. **Принципи алгоритмічної обробки радарних сигналів для визначення рівня матеріалу в реакторах та ємностях** // Системні технології. Регіональний

міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.141-144.

Прорив у рішенні проблеми безконтактного визначення рівня поверхні матеріалу в реакторах та ємностях базується на обробці амплітудно-частотного спектру сигналу радара. Програмно-алгоритмічна обробка засобами обчислювальної техніки виконується у вигляді трьох сигналів по послідовному цифровому інтерфейсу RS-485. Обробка інформації виконується згідно із розробленим алгоритмом побудови спектру отриманого радіосигналу.

Іл. 1.

УДК 621.055.5

Журавлев В.Н. **Анализ процессов энергоинформационного обмена в системах маскирования речи** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.145-149.

Проведен системный анализ энергоинформационного обмена между биологическими и техническими системами в процессе маскирования речи. Сделан вывод о необходимости синергетического подхода при системно – функциональном анализе изменения энтропии систем в процессе информационного обмена.

УДК 336.763.2

Кветный Р.Н., Коцюбинский В.Ю., Кислица Л.Н. **Автоматизированная система для принятия экспертных решений при использовании GARCH-моделей** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.150-156.

В представленной статье изложено методику и этапы разработки автоматизированной системы для принятия экспертных решений на финансовых рынках, основаных на результатах прогнозирования с помощью нелинейных GARCH-методов. Авторами были построены структурная схема ситемы, алгоритм принятия решения и шкалу оценивания отклонений спрогнозированных цен от поточних, с помощью которой система и прринимает экспертное решение. Кроме того в статье представлено анализ практических результатов работы системы в условиях реального финансового рынка, которые доказывают эффективность применения данной методике на практике.

Библ. 3, илл. 3, табл. 2.

УДК 004.89

Корабльов М.М. **Адаптивні системи нечіткого висновку з імунним настроюванням** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.157-163.

Розглядається рішення задач структурної та параметричної адаптації систем нечіткого висновку на основі використання штучних імунних систем. Як базова структура адаптивної системи нечіткого висновку була використана модель Такагі-

Сугено з гаусовими функціями належності нечітких вхідних змінних. Проведені експериментальні дослідження по відновленню нелінійних залежностей показали високу ефективність запропонованих моделей адаптації.

Бібл. 7, іл. 2, табл. 1.

УДК 681.335:004.891

Мазурок Т.Л. **Нейромережевий підхід до інтеграції ієрархічних структур** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.164-169.

На основі моделі інтеграції ієрархічних структур запропоновано нейромережевий підхід до управління формуванням послідовності структури, що інтегрується. Розглянуто практичну реалізацію підходу, що запропоновано, до формування навчальних елементів інтегрованих курсів для автоматизованого навчання.

Бібл. 5, іл. 2

УДК 681.3.016

Мазурок І.Є. **Формальні онтології в моделюванні інтелектуальних інформаційно-керуючих систем** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.170-174.

Розглядаються питання дослідження властивостей змістовної частини інформаційно-керуючих систем. Запропоновано новий підхід до дослідження поведінки великих баз знань на базі особливого алгоритму побудови формальних онтологій за фактичними даними. Показана можливість використання результатів аналізу для прогнозування властивостей інтелектуальних систем керування.

Бібл. 4.

УДК 004.942:004.056.53

Михальов О.І., Калиберда Ю.О. **Математична модель імунної відповіді на вторгнення в комп'ютерну мережу** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.175-178.

Розроблена математична модель імунної відповіді на вторгнення в комп'ютерну мережу, що дозволяє запобігти несанкціонованим діям. Показана ефективність використання розробленої математичної моделі імунної відповіді для захисту комп'ютерних мереж.

Бібл. 3, іл. 2.

УДК 681.518.25

Михалев А.И., Лысая Н.В., Лысый Д.А. **Синергетический синтез многомодельного алгоритма обучения нечетких нейросетей** // Системні технології.

Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.179-185.

Предложен метод настройки параметров нечеткой нейросети, основанный на комбинированной стратегии, сочетающей в себе адаптивные свойства градиентных процедур обучения с вариабельностью синергического подхода. Показано, что использование многомодельного подхода в сочетании с синергической стратегией настройки параметров моделей позволяет существенно повысить не только скорость сходимости известных процедур настройки параметров нечетких нейросетей, но и точность аппроксимации и предсказания в целом.

УДК 004.032.26

Пліс І.П., Попов С.В., Рибальченко Т.В. **Прогнозування вузлових навантажень електроенергетичної системи на основі нейронної мережі зустрічного поширення** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.186-190.

Вирішено задачу оперативного й короткострокового прогнозування вузлових навантажень електроенергетичної системи на основі концепції зворотного нейромережевого моделювання. В основу прогнозуючої системи покладено штучну нейронну мережу зустрічного поширення, запропоновану Р. Хехт-Нільсеном. Перевагою підходу, що розвивається, є чисельна простота й можливість одночасного вирішення завдань прямого й зворотного моделювання електроенергетичної системи.

Бібл. 9, іл. 1.

УДК 629.4

Скалозуб В.В. **Метод та інформаційні технології нечітко-статистичного управління** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.191-199.

Запропоновано метод та інформаційну технологію управління за даними спостережень, які поєднують нечіткі і статистичні властивості складних динамічних процесів.

Бібл. 3, іл. 2.

УДК 681.5

Тимченко В.Л. **Формирование управляющих функций методом структурно-переменных обратных связей в дискретных системах** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.200-204.

В статье рассматривается применение метода структурно-переменных обратных связей для синтеза управляющих функций в дискретных системах различного вида, который не требует непосредственного измерения соответствующих разностей фазовых координат на выходе объекта управления и обеспечивает управление с помощью специальных структур обратных связей.

Библ. 6

УДК 004.942:539.24:539.422

Михальов О.І., Горб В.Г. **Вплив динамічного руйнування на зростання 3D перколяційного кластеру** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.205-209.

Досліджена динаміка руйнування 3D перколяційного кластера для наступного виявлення надійності та довговічності матеріалів. Проаналізована математична модель виникнення й росту перколяційного кластера, коли вузли 3D решітки блокувались за допомогою генератора випадкових чисел.

Бібл. 4, іл. 1.

УДК 519.86: 004.032.26

В. Р. Петренко, К.А. Куделина. **Кластеризация временных последовательностей с использованием нейронной сети Кохонена** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.210-215.

В статье рассмотрено применение кластеризации для определения совокупности временных последовательностей, имеющих близкие значения вероятностных характеристик, с последующим описанием этой совокупности одной и той же моделью с целью снижения трудоемкости моделирования. Показана возможность применения нейронной сети Кохонена для решения этой задачи. Приведены результаты применения предложенного подхода для кластеризации совокупности временных последовательностей, сгенерированных с использованием АРСС-моделей при различных наборах значений параметров.

Библ. 7, рис. 2, табл. 1.

УДК 502.36: 533.6.011+62.192

Полищук С.З., Рябко А.И. **Построение структуры информационно-математического обеспечения для создания комплексных моделей устойчивого развития территории** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.216-221.

Изложен подход к построению информационного и математического обеспечения при построении социально-эколого-экономических моделей с позиций системного анализа. Приведен набор параметров и зависимостей необходимых для формирования основных компонентов модели. Описана иерархическая структура критериев предлагаемая для использования в системах принятия решений.

Библ.6.

УДК 669.15`74-198:536.755

Стовба Я.В., Камкіна Л.В. **Кінетика відновлення і розробка динамічної моделі процесу отримання високовуглецевого феромарганцю** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.222-230.

Обробкою кінетичних даних одержаний вираз для розрахунку швидкості витрати вуглецю на процес сумісного відновлення оксидів, з використанням якого розроблена динамічна модель процесу отримання високовуглецевого феромарганцю. У зв'язку з тим, що параметри системи змінюються по висоті печі, то нестационарність стану процесів в печі розглядалася як функція висоти, а не часу. Виказані міркування про якісну модель фізико-хімічних взаємодій при формуванні металу у ванні феросплавної печі. Обчислювальний експеримент, проведений з використанням динамічної моделі, дає можливість встановити основні закономірності формування складу металу і шлаку і кінетику ходу плавлення-відновлення по висоті печі при виплавці вуглецевого феромарганцю та проаналізувати вплив крупності матеріалів, їх складу, температури, співвідношення різних марганцевих матеріалів, що використовуються в шихті, на вилучення марганцю.

УДК 669.168

Дорош Н.Л., Михальов О.І., Гасик М.І., Гладких В.А., Кондюк М.Г. **Об'єктна модель електроферосплавного виробництва в інструментальному середовищі UML** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 2. – Дніпропетровськ, 2008. – С.231-236.

Розроблено об'єктну модель системи автоматизованого проектування електроферосплавного виробництва із застосуванням мови візуального моделювання UML. Об'єктну модель було використано як технічне завдання для розробки автоматизованої системи проектування електроферосплавного виробництва. Розроблено автоматизовану систему для виконання ряду робіт із проектування електроферосплавного виробництва.

Бібл. 5, іл. 7.

UDC 622.788:658.012.011.56:519.8

Boyko M.M., Kovalev D.A., Vanyukova N.D. **The complex calculation main parameter and quality pellets with carbon under burning on conveyor machine** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.3-8.

New model has been done for controlling of the burning process of the self reducing pellets on the indurating machine. Let us calculate depends quality of the burnt pellets vs. content of carbon and corresponding temperature. The maximum consumption of the solid fuel on burning process (1%) was determined. Herewith acceptable quality of pellets is reached on the whole height layer.

UDC 669.046.55

Velichko A.G., Antonets V.D. **Vacuum decarburization of melt under oxygen blowing** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.9-16.

Consider the mechanism of gas generation from the second reactionary zone at time of oxygen blowing to melt under rough vacuum. Propose mathematical model – equation with due regard for generated bubbles of carbon monoxide, expenditure of oxygen and position of blow pipe for determine frequency of gas generation from the second reactionary zone. There are valuation expecting frequency of gas generation for VOD-process and DETEM-process.

Bibl. 10, ill. 1, tabl. 1.

UDC 621.793:621.14:620.18

Denysenko O.I. **Structure and features of metal composite microparticles for injection method of cathode formation** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.17-21.

There have been received recommendations on optimization of structure of preliminarily formed metal composite microparticles for the purpose of prospective technology of synthesis of metal composite electrode structures based on injection of particles from lihiated metal oxides into the conductor near-surface layer.

Libr. 5, ill. 3. table 1.

UDC 517.9:621.78:669.14

Denysenko O.I., Tsotsko V.I., Spiridonova I.M., Peleshenko B.I. **Analytikal modeling of one-dimensional sample temperature field in condinions of local thermal treatment** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.22-29.

In the conditions of linear heating and subsequent linear cooling of one-dimensional model of metal the temperature field in the depth of samples in the wide range of heating and cooling speeds has been analytically examined. The calculation results were applied to low-carbon steels and can be used in the processes of thermal treatment of parts at diffusion saturation of surface layer and thermal cycling.

Libr. 9, ill. 2.

UDC 627.771.07

Matveeva M.O. **Information's of technology in appraisal influence deferens factors on castubility of economy-alloying chromium cast-iron** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.30-34.

In present investigating analyses complex influence economy-alloying chromium and temperature of pouring castubility of cast-iron. Castubility of cost-iron be of functions many of conditions pouring. View as complication of this dependence, she not defy until precision mathematical calculation. Application importations technology's and methods mathematical of statistics maybe help solve many-factures technology's problems receive qualitative casting.

UDC 669.040.26.001.57

Pavlyuchenkov I.A., Ignatenko L.A., Bolotov V.Y., Babenko M.V. **Mathematical modelling of a bidimensional problem of fusion of refractory bodies of the cylindrical form on border slag–Metal in a ladle** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.35-41.

With. Mathematical modelling a bidimensional problem of fusion of refractory bodies of the cylindrical form on border slag-metal in a ladle is lead. Adequacy of the offered method, mathematical model and algorithm of calculation proves to be true comparison of results of computing experiment with earlier published results of modelling problems of fusion. Results of computing experiment will allow to establish rational modes of input of lumpy additives from various materials in расплав a ladle, providing optimum conditions for fusion and услоения additives, streams of liquid metal on border slag-metal.

UDC 519.713+621.789-034.1

Svyetlichnyy D.S. **Frontal cellular automata** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.42-47.

In the paper a theoretical basis of frontal cellular automata deals with, as well as it difference from the classical ones. A changes of general formulation of cellular automata is proposed, that allows to cross over to research of the space of CA, where changes occure. Roles of the cells and their neighborhood are replaced; a new state of the cell is not determed by the states of neighboring cells, but by the changing of their states from the initial to the final. Comparison of computation costs of different variant of classic and frontal cellular automata is attached. Frontal cellular automata can be used for simulation of such fenomena as solidification, crystallization, recrystallization, phase ptansformathion and so on.

Publ. 14.

UDC 667.64:678.026

Stuhljak P.D., Dobrotvor I.G. **Dynamics formation characteristics of epoxycomposites external layers with disperse fillers** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.48-53.

There made external layers formation modelling of the epoxycomposites with dispers fillers in nearness of fillers grain surfase. Two main time intervals of epoxycomposites microstructures spreading were distinguished: the first is characcterized with mainly influence of the instant layers spreading velocity potentiale; second with existance of oscillatory member.

UDC 669.187.046.7.001.573

Yalovaya E.N., Pavlyuchenkov I.A., Bolotov V.Y. **Mathematical modeling of electric arc furnace heat regeems by development of rational scrap melting system technologies** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.54-58.

There is a mathematical model of melting's process of metal charge in the arc steel-making furnace's working space given. Results of calculating experiment on research of kinematics of charge's melting process from electric arc's heat and from electric arc's heat with use of gas-oxygen burners are presented. A possibility to decrease the rate of electric energy and of melting's duration due to the use of the gas-oxygen burners is established.

Lit.4, il. 1.

Derevyanko A.I., Kavac A.A. **Influence of vibration on the structure of metallic alloys** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.59-63.

In work an experiment is considered as evaluated by influence of vibration on the structure of metallic alloys. It is probed, that vibration of zatverdevayushchego metallic fusion changes his makrostrukturu.

UDC 669.169

Bobrovitskiy S., Tarakanov A., Ivaschenko V., Paniotov Yu. **Simulation of the smelting reduction processes** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.54-58.

Smelting reduction processes are the new and effective alternative to the traditional coke-agгло-blast furnace technology.

To date, all the most effective technological and constructional elements of smelting reduction processes are not only proposed and grounded, but also tested on pilot scale. There are not by now doubts in function ability of a great number of smelting reduction processes.

Having the applicable mathematical models and computer programs, it is possible with sufficient trustworthiness to forecast technical and economic parameters of diverse versions of liquid-phase reduction processes.

The mathematical models and computer programs, which have been worked up, make the opportunity to choose in particular conditions the most effective technology, proceeding from the definite criteria of optimization and assigned limitations.

UDC 629.162.5

Zaytsev V.G., Chayka A.L., Schvachka A.I., Lykhanenko I.A., Pinchyk D. B. **Application of a method vector optimization choose of parameters of blasting is considered at use dust coal fuel** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.54-58.

Application of a method of concessions for the decision of linear and nonlinear problems of optimization of parameters of blasting is considered at use dust coal fuel. The analysis of the received results and use of the specified method for the decision of similar problems is given. Are resulted Pareto areas of the decision of a problem vector optimization.

Bibl. 11, ill.2, tabl.2.

UDC 519.65

Kvetnyy R.N., Mashnitsky M.A. **Modeling of one-dimensional objects in the space** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.54-58.

Modeling methods of one-dimensional objects in the space were described. A new approach for modeling of one-dimensional objects in the space was represented. Unlike classical approaches, our approach allows to model one-dimensional objects, which are represent by parametric form. It allows decrease number of iterations, which are necessary for modeling such objects.

Bibl. 5, tabl. 1

UDC 658.567.1

Potapov B.B., Pinchuk V.A. **Mathematical modeling of hardening melt in roller coolers** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.54-58.

The physical picture of hardening melt of slag is considered, the conditions of heat exchange between slag and roller cooler and accepted assumptions are formulated at modeling dynamics of hardening of liquid slag. The given model is realized as the computer program and allows to carry out researches of influence of constructive and regime parameters on distribution of temperatures and share of a firm phase within the limits of a zone of a biphasic condition. The settlement researches are executed and the influence of the constructive and regime characteristics roller coolers for dry granulation of melt of ashes coal on quantity of the collected heat and productivity of installation is established.

UDC 533.6.01.3.42

Proydak Y.S, Kozlov V.P. **Small-amplitude random vibration of a spatial long hydrotransport pipeline** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.54-58.

A mathematical model of a fastened by both ends of a spatial flexible hydrotransport pipeline, which carries out the forced parametric vibration, caused by random variations of conveying pulp density, has been developed. The problem of linear statistical dynamics has been solved by the method of statistical tests.

Bibl. 2, ill. 1.

UDC 51-74:669.162-669.181.4

Foris S.N., Fedorov S.S., Gubinsky M.V. **The mathematical modeling of shaft limekilning furnaces** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.54-58.

The mathematical model of gas shaft limekilning furnace was created. The model takes account of outside and inside heat exchange, fluid dynamics, convection and diffusion substance transfer, fuel combustion. The adaptation of model was carried out. The calculation steps of coordinate scale were chosen.

Bibl. 9, il. 1.

UDC 629.1

Scvachka A.I., Chaika A.L., Zaytsev V.G., Lykyanenko I.A., Nun C.B. **Modelling of modes of speeding up domain swimming trunks in view of uncertainty of the information** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.54-58.

Modelling of modes of speeding up domain swimming trunks in view of uncertainty of information Modelling of modes of speeding up domain swimming trunks in view of uncertainty of the information Is considered application of special methods of a choice by results of modelling modes swimming trunks in view of uncertainty of the information. The analysis of the received results and use of the specified method for the decision of similar problems is given.

Bibl. 8, ill.1, tabl.3.

UDC 007.001.362

Axak N.G., Novoseltsev I.V., Soldatov A.S. **Neural network models adaptation for high-efficiency systems with shared memory** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.117-122.

In this work the methods of adaptation neural networks models for high-efficiency systems with shared memory are considered. These methods used OpenMP standard for operation parallelization such as a matrix to vector multiplication. Application performance increasing, using considered methods are shown.

Ref. 3, Fig.3.

UDC 519.876.5:004.81

Bisikalo O.V. **Designing of image-decision for intellectual model of control** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.123-128.

The different methods of solving tasks of choice and working out in detail of decision of production problems are examined. A new approach substantiating the image-decision on the basis of designing a mechanism of the human operative memory is offered. The associative image search is developed by means of the formalization of phenomenon-logical concepts of images ensemble, vector of emotions, focus of attention, and reference reflex. The possibility of programmatic implementation of this model is demonstrated within the framework of navigation algorithm in the imaging space.

Ref.: 10 items, Fig. 2.

UDC 519.7:007.52

Bodyanskiy Ye., Vynokurova O. **Robust learning algorithm for wavelet-neural-fuzzy network based on Polywog wavelet** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.129-134.

In this paper a robust learning algorithm of the wavelet-neural-fuzzy network with POLYWOG wavelet activation function based on R. Welsh criterion is proposed. Proposed learning algorithm allows signals processing under outliers.

Ref. 20.

UDC 004.20

Vishnevetskaya E.N., Kargin A.A. **Some of the dynamic properties of a situational agent** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.135-140.

The mathematical model of a situational agent is considered. The computer experiment in research of basic characteristics of a situational agent is described. The basic characteristics of a situational agent are: the nearness of a situation to a prototype, that agent keeps, and output signal of an agent. The experiments showed that the proposed model allows to solve the identification problem of points of time when events come. The model of that events is based on a set of properties, that are volatile.

UDC 621.396.969

Golovko V.I., Verhovskaja A.A., Kukushkin O.N., Mihajlovskij N.V., Potapov A.V. **Principles of radar signals algorithmic processing for substance level measurement in reactors and capacities** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.141-144.

Break in the decision of a problem of contactless definition of a level of a surface of a material in reactors and capacities is based on processing of a amplitude-frequency spectrum of a signal of a radar. Program-algorithmically processing by means of computer facilities is carried out as three signals on the consecutive digital interface of RS-485. Processing of the information is made according to the developed algorithm of construction of a spectrum of the accepted radio signal.

Pic. 1.

UDC 621.055.5

Zhuravlev V.N. **The analysis of energy-information exchange process in speech masking systems** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.145-149.

The system analysis of energy-information exchange between biological and technical systems during speech masking process is realized. The conclusion as to necessity of synergetic method during system-function analysis of systems' entropy changes during information exchange process is made.

UDK 336.763.2

Kvetniy R.N., Kotsubinskiy V.Y., Kislitsa L.N. **Automated system for expert decision making by use of GARCH-models** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.150-156.

In the given article a method and stages of automated system design is expounded for expert decisions making on financial markets, which are based on the results of prediction by nonlinear GARCH-methods. Authors built system structure scheme, decision-making

algorithm and scale of evaluation of rejections of predicted prices and stream-handling ones, by which system makes expert decision. In addition in the article analysis of practical results of system work is presented in the conditions of the real financial market, which proves efficiency of application given method in practice.

Bibl. 3, pic. 3, tabl. 2

UDC 004.89

Korablyov N.M. **Adaptive fuzzy inference system with immune adjustment** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.157-163.

In the given work the solving of a problem of structural and parametric adaptation of fuzzy inference systems based on artificial immune systems is regarded. As base structure of adaptive fuzzy inference system the Takagi-Sugeno model with Gaussian membership functions of fuzzy input variables is used. Experimental researches on reconstructing nonlinear dependencies have shown the high efficiency of the proposed adaptation models.

Ref. 7, fig. 2, table 1.

UDC 681.335:004.891

Mazurok T. **Neural networks approach to integration of hierarchical structures** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.164-169.

On the basis of model of integration of hierarchical structures neural networks approach is offered to the management forming of sequence of the integrated structure. Practical realization offered approach is considered to forming of educational elements of the integrated courses for the e-learning.

Ref. 5, il. 2

UDC 681.3.016

Mazurok I.E. **Formal ontology in design of the intellectual information-management systems** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.170-174.

Analysis questions of the content part properties in the informatively-managing systems are considered. A new approach to the knowledge bases behavior research on the basis of the special algorithm of the formal ontology development from actual data is offered. Possibility of using analysis results for prognostication of properties of the knowledge based management system is retained.

Bibl. 4.

UDC 004.942:004.056.53

A.I. Mikhalyov, Y.O. Kaliberda. **Mathematical model of the immune answer to intrusion into a computer network** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.175-178.

The mathematical model of the immune answer to negative influence in the computer network is developed, allowing to prevent not authorized actions. Efficiency of use of the developed mathematical model of the immune answer for protection of computer networks is shown.

Ref.: 3 items, Fig. 2.

UDC 681.518.25

Mikhalev A.I., Lysa N.V., Lisiy D.A. **Synergetic sintesis of multimodel algorithm for fuzzy-neuro net learning** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.179-185.

The algorithm that use multimodel and synergy approach for prediction of the nonlinear processes is proposed, that is characterized with faster learning and high prediction quality.

UDC 004.032.26

Pliss I.P., Popov S.V., Rybalchenko T.V. **Load forecasting for nodes of electric systems based on counterpropagation neural network** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.186-190.

The problem of short-term electric load forecasting for nodes of an electric system is solved using reverse neural network modeling. The forecasting system is based on counterpropagation neural network introduced by R. Heht-Nielsen. The advantages of the proposed approach are in computational simplicity and ability to simultaneously solve both problems of direct and inverse modeling of an electric system.

Ref. 9, fig. 1.

UDC 629.4.

Skalozub V.V. **Method and information technology of fuzzy-statistical control** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.191-199.

A method and information technology of control is offered from data of supervisions which connect fuzzy and statistical properties of dynamic processes.

Bibl. 3, il. 2.

UDC 681.5

Timchenko V.L. **The formation of control functions by structural variable feedback method in discrete systems** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.200-204.

The application of structural variable feedback method for synthesis of control functions in discrete systems of different types, which doesn't require the direct measurement of corresponding variations of phase coordinates at output of control object and provides control due to special feedback structures has been considered in the paper.

Bibl. 6

UDC 004.942:539.24:539.422

A.I. Mikhalyov, V.G. Gorb. **Influence of dynamic destruction on growth of 3D percolation cluster** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.205-209.

The dynamics destruction of 3D percolation cluster is probed for the subsequent exposure of reliability and longevity of surface materials. The mathematical model of origin and growth of percolation cluster is analysed, when the knots of 3D grate were blocked by the random generator of numbers.

Ref.: 4 items, Fig. 1.

UDC 519.86: 004.032.26

Petrenko V.R., Kudelina C.O. **Time sequences clustering with the Kohonen Neural Network usage** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.210-215.

The article reviews the clustering application for sequences aggregate definition that had close probabilistic characteristic values with same model set for the purpose of its modeling laboriousness decreasing.

Possibility of Kohonen Neural Network usage for this task solution is shown. It provides the introduced approach application results for time sequences aggregate clustering that was generated by ARMA-models with different parameter value sets.

Ref.: 7 items, Fig. 2. Tabl. 1.

UDC 502.36: 533.6.011+62.192

Polishuk S.Z., Ryabko A.I. **Construction of structure of the information-mathematical providing for creation of complex models of sustainable development of territory** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.216-221.

In the article is stated the approach to information and mathematic subsystems in social - ecological- economic models building from positions of the system analysis. The set of parameters and dependences of basic components, necessary for formation of model is given. The hierarchical structure of criteria offered for using in systems of decisions making is described.

Bibl.6.

UDC 669.15`74-198:536.755

Stovba Ya.V., Kamkina L.V. **Kinetics of renewal and development of dynamic model of process of receipt of high-carbon ferromanganese** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.222-230.

The kinetic data processing gets expression for the calculation of speed of expense of carbon on the process of joint renewal of oxides, which the dynamic model of process of receipt of high-carbon ferromanganese is developed with the use of. In connection with that the parameters of the system change on the height of stove, the unstationary of the state of

processes in a stove was examined as function of height, instead of time. Considering about the high-quality model of physical and chemical co-operations at forming of metal in bath of ferro-alloy stove is outspoken. The calculable experiment conducted with the use of dynamic model enables to set basic conformities to the law of forming of composition of metal and slag and kinetics of motion of melting-renewal on the height of stove at smelting of carbon ferromanganese. The use of model allowed to execute the analysis of influencing of largeness of the used materials, their composition, temperature, correlation in the charge of different manganese materials on extraction of manganese.

UDC 669.168

Dorosh N.L., Mikhalyov A.I., Gasik M.I., Gladkich V.A., Kondjuk M.G. **Objective Model of electroferroalloy manufacturing in instrumental environment UML** // System Technologies. – N 3(56), vol.2. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.231-236.

The objective model of the automated designing system of electroferroalloy manufacturing with application of visual modelling language UML is developed. The objective model is used as the technical project for development of the automated system for electroferroalloy manufacturing designing. The automated system for performance of some works on electroferroalloy manufacturing designing is developed.

Biblio. 5, pic. 7.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Аксак Наталия Георгиевна – к.т.н., доцент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники.

Антонец Валерий Дмитриевич – старший преподаватель кафедры Технологии машиностроения, Национальной металлургической академии Украины.

Бабенко Михаил Владимирович - к.т.н., доц., ДГТУ.

Бісікало Олег Володимирович - к.т.н., доцент, Вінницький державний аграрний університет.

Бобровицкий Сергей Викторович - младший научный сотрудник кафедры металлургии чугуна Национальной металлургической академии Украины.

Бодянский Евгений Владимирович – д.т.н., профессор кафедры Искусственного интеллекта, научный руководитель Проблемной научно-исследовательской лаборатории АСУ Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Бойко Максим Николаевич - кафедра металлургии чугуна, НМетАУ.

Болотов Вадим Юрьевич – к.т.н., доцент, начальник научно-исследовательской части Днепропетровского государственного технического университета.

Ванюкова Наталья Дмитриевна - д.т.н., профессор кафедры металлургии чугуна, НМетАУ.

Величко Александр Григорьевич – д.т.н., профессор кафедры Металлургии стали, ректор Национальной металлургической академии Украины.

Верховская Алина Александровна - аспирант кафедры Автоматизации технологических процессов, НМетАУ.

Винокурова Елена Анатольевна – к.т.н., с.н.с., с.н.с. Проблемной научно-исследовательской лаборатории АСУ, доцент кафедры Безопасности информационных технологий Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Вишневецкая Елена Николаевна – аспирант, ассистент кафедры компьютерных технологий, Донецкий национальный университет.

Гасик Михаил Иванович – д.т.н., академик НАН Украины, НМетАУ.

Головко Вячеслав Ильич - д.т.н., профессор кафедры Автоматизации технологических процессов, НМетАУ.

Горб Валерий Геннадиевич – аспирант, ассистент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Губинский Михаил Владимирович – д.т.н., проф., зав.каф. «Промышленная теплоэнергетика», Национальная металлургическая академия Украины.

Денисенко Александр Иванович – к.т.н., научный руководитель НИЛ “Материаловедения и технологий тонкопленочных процессов” НМетАУ, доцент кафедры физики.

Добротвор Ігор Григорович – к.ф.-м.н., доц., Тернопільський державний технічний університет ім.І.Пулюя.

Дорош Наталья Леонидовна – к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Журавлев Владимир Николаевич - к.т.н., доцент, Киевский национальный технический университет Украины «КПИ».

Зайцев Вадим Григорьевич - к.ф.-м.н., доц. ФПМ, ДНУ, г. Днепропетровск.

Игнатенко Людмила Анатольевна - аспирантка ДГТУ.

Кавац Алена Александровна - ассистент кафедры Информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Калиберда Юрий Олегович – аспирант, ассистент информационных технологий и систем, НМетАУ.

Камкина Людмила Владимировна – д.т.н., профессор, зав. кафедрой теории металлургических процессов и физической химии Национальной металлургической академии Украины.

Каргин Анатолій Алексеевич - д.т.н., профессор, декан физического факультета, зав.кафедры компьютерных технологий, Донецкий национальный университет.

Кветний Роман Наумович – д.т.н., проф., завідувач кафедри АІВТ. Вінницький національний технічний університет.

Кислиця Людмила Миколаївна – магістр, здобувач кафедри АІВТ. Вінницький національний технічний університет.

Ковалев Дмитрий Арсентьевич - д.т.н., профессор кафедры металлургии чугуна, НМетАУ.

Козлов Владимир Петрович - к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

Кораблев Николай Михайлович – к.т.н., доцент кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Коцюбинський Володимир Юрійович – к.т.н, доцент кафедри АІВТ. Вінницький національний технічний університет.

Куделіна Каріна Олександрівна – аспірант кафедри «Інформаційні технології проектування» Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління, старший викладач кафедри «Інформаційні технології проектування» КУЕІТУ.

Кукушкин Олег Николаевич - д.т.н., профессор кафедры Автоматизации технологических процессов, НМетАУ.

Лукьяненко Игорь Анатольевич – начальник доменной лаборатории, ОАО комбинат им «Ильича», г. Мариуполь.

Лысая Наталья Викторовна – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Лысый Дмитрий Анатольевич – ст. преп. кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Мазурок Игорь Евгеньевич – к.т.н., доцент, заместитель директора института математики, экономики и механики, декан факультета прикладной математики и информационных технологий, Одесский национальный университет имени И.И.Мечникова.

Мазурок Татьяна Леонидовна - к.т.н., доцент, докторант кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Одесского национального политехнического университета.

Матвеева Марина Олеговна – к.т.н., доцент кафедры литейного производства, НМетАУ.

Матвеева Марина Олеговна – к.т.н., доц., кафедры литейного производства, НМетАУ.

Машницкий Максим Александрович – аспирант, ВНТУ, г. Винница.

Михайловский Николай Владимирович - к.т.н., доцент кафедры Автоматизации технологических процессов, НМетАУ.

Михалев Александр Ильич – д.т.н., профессор, зав. кафедрой информационных технологий и систем, НМетАУ.

Новосельцев Игорь Валериевич – соискатель, Харьковский национальный университет радиоэлектроники.

Нынь Сергей Витальевич – технолог аглодоменного производства ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог»;

Павлюченков Игорь Александрович – д.т.н., проф., ректор Днепропетровского государственного технического университета

Паніотів Юрій Сергійович - профессор кафедры металургії сталі Національної металургійної академії України.

Пелешенко Борис Игнатьевич – к.ф.-м.н., профессор кафедры высшей математики Днепропетровского государственного аграрного университета.

Петренко Василь Радіславович – к.т.н., доцент, проректор з наукової роботи, завідувач кафедри «Інформатика» Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління.

Пинчук Валерия Александровна - к.т.н., доцент, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики, Национальная металлургическая академия Украины.

Пинчук Денис Валерьевич - начальник доменного цеха № 1, ОАО «Арселор Миттал Кривой Рог», г. Кривой Рог.

Плисс Ирина Павловна - к.т.н., с.н.с., Харьковский национальный университет радиоэлектроники, ведущий научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории автоматизированных систем управления.

Полищук Сергей Зиновьевич - заведующий отделом «Системного анализа и моделирования процессов природопользования», Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины.

Попов Сергей Витальевич - к.т.н., с.н.с., Харьковский национальный университет радиоэлектроники, старший научный сотрудник Проблемной научно-исследовательской лаборатории автоматизированных систем управления.

Потапов Александр Васильевич - к.т.н., зав. отделением НПО "Исток".

Потапов Борис Борисович - к.т.н., доцент, профессор кафедры промышленной теплоэнергетики, Национальная металлургическая академия Украины.

Пройдак Юрий Сергеевич – д.т.н., профессор, проректор по научной работе Национальной металлургической академии Украины.

Рыбальченко Тарас Вячеславович - заместитель технического директора, ООО «Хартэп».

Рябко Андрей Иванович - ведущий инженер отдела «Системного анализа и моделирования процессов природопользования», Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины.

Светличный Дмитрий Светозарович – д.т.н. Украины, доктор хабилитованный Польши, профессор Горно-металлургической академии в Кракове (Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie).

Скалозуб Владислав Васильевич - д.т.н., профессор, зав. кафедрой компьютерных информационных технологий, Днепропетровский Национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна.

Солдатов Антон Сергеевич - студент, Харьковский национальный университет радиоэлектроники.

Спиридонова Ирина Михайловна – д.т.н., профессор, зав. отделом динамической металлофизики Днепропетровского национального университета.

Стовба Яна Валериевна - ассистент кафедры инженерной экологии и охраны труда Национальной металлургической академии Украины.

Стухляк Петро Данилович – д.т.н., проф., зав.каф. Комп’ютерно-інтегрованих технологій, Тернопільський державний технічний університет ім.І.Пулюя.

Тараканов Аркадій Костянтинович - завідувач кафедри металургії чавуну Національної металургійної академії України.

Тимченко Віктор Леонідович - к.т.н., доцент, зам. проректора з наукової роботи Національного університету кораблебудування ім.адм. Макарова, м. Миколаїв.

Федоров Сергій Сергеевич – к.т.н., доцент каф. «Промышленная теплоэнергетика», Национальная металлургическая академия Украины.

Форись Светална Николаевна – ассистент каф. «Промышленная теплоэнергетика», Национальная металлургическая академия Украины.

Цоцко Виталий Иванович – старший преподаватель кафедры физики и материаловедения Днепропетровского государственного аграрного университета.

Чайка Александр Леонидович - к.т.н., с.н.с., ИЧМ НАН Украины, г. Днепропетровск.

Швачка Алексей Иванович - асп., ДУХТУ, г. Днепропетровск.

Яковенко Вадим Александрович – к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры информационных систем и технологий, Академия таможенной службы Украины.

Яловая Екатерина Николаевна - аспирант кафедры ПЗОТ, Днепродзержинский государственный технический университет.