

Міністерство освіти і науки України

Системні технології

З (68) 2010

Регіональний міжвузівський збірник наукових праць

Засновано у січні 1997 року.

У випуску:

- **ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЦЕСАХ ОДЕРЖАННЯ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**
- **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ**

Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (68). - Дніпропетровськ, 2010.
ISSN 1562-9945.

Редакційна колегія випуску:

Величко О.Г. – д.т.н., проф. (відп. редактор)
Ванюкова Н.Д. – д.т.н., проф.
Сливинський В.І. – д.т.н., проф.
Стухляк П.Д. – д.т.н., проф.
Павлюченков І.О. – д.т.н., проф.
Тогобицкая Д.Н. -д.т.н., проф.
Камкина Л.В. -д.т.н., проф.

Інформаційні
технології в
процесах
одержання
матеріалів із
заданими
властивостями

Михальов О.І. – д.т.н., проф. (відп. редактор)
Кукушкин О.М. – д.т.н., проф.
Любчик Л.М. – д.т.н., проф.
Скалозуб В.В. – д.т.н., проф.
Бодянский Є.В. – д.т.н., проф.

Інтелектуальні
інформаційно-
управляючі
системи

Збірник друкується за рішенням Вченої Ради
Національної металургійної академії України
від 26.01.2010 р., № 1

Адреса редакції: 49635, Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4
Національна металургійна академія України, кафедра
Інформаційних технологій та систем.
Тел. 8-056-7135256
E-mail: st@dmegi.dp.ua
<http://nmetau.edu.ua/st/>

© Національна металургійна академія України,
кафедра Інформаційних технологій та систем, 2010

УДК 621. 373: 62-231. 311

П.И. Штыцко, А.П. Иванова, Н.В. Каряченко

ВЛИЯНИЕ УГЛА ДАВЛЕНИЯ НА КПД КРИВОШИПНО - ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА СТАНА ХПТ

Получены выражения для определения коэффициентов потерь и полезного действия кривошипно-шатунного механизма стана ХПТ.

Полезные нагрузки в крайних положениях клетки исключены.

Вышеприведенные результаты позволяют сделать вывод, что для повышения КПД механизма повода рабочей клетки необходимо, чтобы величина угла давления в рабочей зоне приближалась к 90° .

Актуальность проблемы. Одной из основных величин, определяющих экономичность стана, является коэффициент полезного действия. Поэтому необходимо стремиться к тому чтобы при проектировании, реконструкции и ремонте станов эта величина имела бы наибольшее значение.

На коэффициент полезного действия стана в целом оказывают значительное влияние коэффициенты полезного действия его основных механизмов, и поэтому одним из главных требований, которые предъявляются к синтезу этих механизмов, является получение наибольших возможных значений КПД [1], [3, 4]. Так как этот коэффициент будет тем больше, чем меньше будет работа сил вредных сопротивлений, по сравнению с работой сил, производящих полезную работу. При проектировании механизмов следует стремиться к тому, чтобы силы полезных сопротивлений были, возможно большими, по сравнению с силами вредных сопротивлений, величина которых должна быть возможно меньшей.

Постановка задачи. Определить зависимость между коэффициентом полезного действия и величиной угла давления в кривошипно-шатунном механизме.

Методика исследования. В кривошипно-шатунном механизме [1] (рис. 1) работа движущих сил затрачивается, как на производство полезной работы (деформация заготовки при прокатке), так и на преодоление трения в кинематических парах.

Момент трения в кинематической паре 1 - 4 будет равен:

$$M_1 = \mu_1 \cdot F_{14} \cdot \frac{d_1}{2},$$

где μ_1, F_{14}, d_1 - соответственно приведенный коэффициент трения, давление и диаметр цапфы в кинематической паре 1 - 4.

Аналогично для кинематических пар 1 - 2 и 2 - 3:

$$M_{1-2} = F_{12} \cdot \mu_2 \cdot \frac{d_2}{2}, \quad M_{2-3} = F_{23} \cdot \mu_3 \cdot \frac{d_3}{2}.$$

Сила трения при поступательном движении клетки будет [2]: $F_{\text{отд}} = \mu_4 \cdot N$

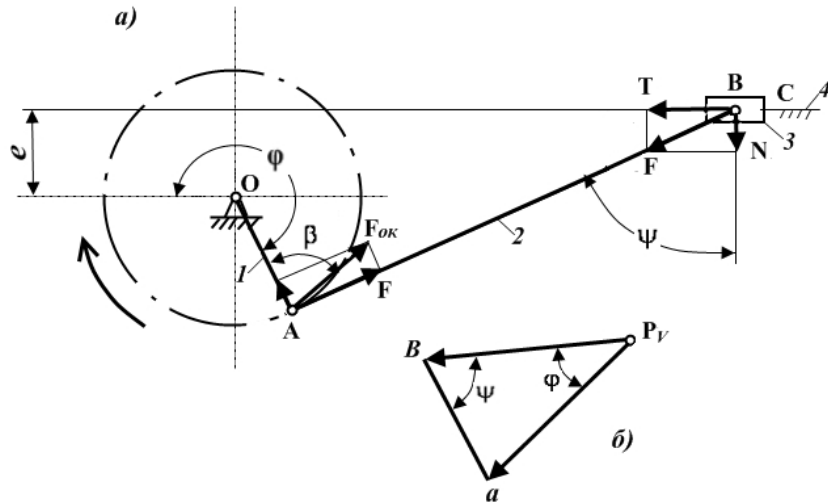


Рисунок 1 – Кривошипно-шатунный механизм привода клетки трубопрокатного стана: а) кинематическая схема; б) план скоростей

Без значительной погрешности можно принять (при больших углах давления) $F_{14} \approx F_{12} \approx F_{23} \approx F$,

где $F = \frac{T}{\cos(90^\circ - \psi)} = \frac{T}{\sin \psi}$ и так как $N = \frac{T}{\tan \phi}$, то :

$$M_{14} = \mu_1 \cdot \frac{T_1}{\sin \psi} \cdot \frac{d_1}{2}; \quad M_{1-2} = \mu_2 \frac{T}{\sin \psi} \cdot \frac{d_2}{2}; \quad M_{2-3} = \mu_3 \frac{T}{\sin \psi} \cdot \frac{d_3}{2};$$

$$F_{\text{отд}} = \mu_4 \frac{T}{2\psi}.$$

В выражениях моментов и силы трения $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ коэффициенты трения и диаметры шарниров d_1, d_2, d_3 в кинематических парах 1 - 4, 1 - 2, 2 - 3, 3 - 4, соответственно.

Мгновенная мощность сил трения в механизме будет [2]:

$$D_{\text{отд}} = M_{14} \cdot \omega_1 + M_{12}(\omega_1 + \omega_2) + M_{23} \cdot \omega_2 + F_{\text{отд}} \cdot V,$$

где ω_1 , ω_2 и V соответственно абсолютные угловые частоты кривошипа, шатуна и скорость клетки.

Внося в полученное выражение для мгновенной мощности найденные ранее значения M_{14} , M_{12} , M_{23} и F_{TP} получим:

$$D_{\dot{O}D} = \left(\frac{\mu_1 \cdot d_1 + \mu_2 \cdot d_2}{2} \cdot \omega_1 + \frac{\mu_2 \cdot d_2 + \mu_3 \cdot d_3}{2} \cdot \omega_2 + \mu_3 \cdot V \cdot \cos \psi \right) \cdot \frac{T}{\sin \psi}.$$

Построив план скоростей (рис. 1, а) нетрудно найти зависимость ω_2 и V от ω_1 . Из плана скоростей получим:

$$\frac{V}{\sin(\psi + \varphi)} = \frac{\omega_1 \cdot \ell_1}{\sin \psi},$$

откуда

$$\begin{aligned} V &= \omega_1 \cdot \ell_1 \cdot \sin(\psi + \varphi) \frac{1}{\sin \psi} = \omega_1 \cdot \ell_1 \cdot \frac{\sin \psi \cos \varphi + \cos \psi \sin \varphi}{\sin \psi} = \\ &= \omega_1 \cdot \ell_1 \cdot (\cos \varphi + \operatorname{ctg} \psi \sin \varphi). \end{aligned}$$

Относительная скорость точки В по отношению к точке А определена из уравнения $\frac{V_{\hat{A}\hat{A}}}{\sin \varphi} = \frac{\omega_1 \cdot \ell_1}{\sin \psi}$, откуда $V_{BA} = \omega_1 \cdot \ell_1 \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin \psi}$.

Тогда угловая скорость шатуна по отношению к стойке 4 будет равна: $\omega_2 = \omega_1 \cdot \frac{\ell_1}{\ell_2} \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin \psi}$. Или, обозначив $\frac{\ell_1}{\ell_2} = \lambda$, получим

$$\omega_2 = \lambda \cdot \omega_1 \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin \psi}.$$

После преобразований силу трения можно определить по формуле:

$$\begin{aligned} D_{\dot{O}D} &= \left(\frac{\mu_1 \cdot d_1 + \mu_2 \cdot d_2}{2\ell_1} + \frac{\mu_2 \cdot d_2 + \mu_3 \cdot d_3}{2\ell_2} \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin \psi} + \mu_3 \cdot \cos \varphi \cdot \cos \psi + \mu_3 \frac{\sin \varphi}{\sin \psi} \right) \times \\ &\times F \cdot \ell_1 \cdot \omega. \end{aligned}$$

Мгновенная мощность движущих сил будет: $P_{\hat{A}\hat{A}} = F \cdot \ell_1 \cdot \omega_1 \cdot \sin \beta$,

Следовательно, коэффициент потерь определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{P_{\dot{O}D}}{P_{\hat{A}\hat{A}}} = \frac{\mu_1 \cdot d_1 + \mu_2 \cdot d_2}{2\ell_1 \sin \beta} + \frac{\mu_2 \cdot d_2 + \mu_3 \cdot d_3}{2\ell_1 \sin \beta} \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin \psi} + \\ &+ \mu_4 \cdot \frac{\cos \varphi}{\sin \beta} \cos \psi + \mu_4 \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin \beta \sin \psi}. \end{aligned}$$

Из полученного выражения видно, что для уменьшения коэффициента потерь необходимо стремиться к получению возможно больших значений для углов давления передачи механизма.

Так как КПД равен $\eta = 1 - \varphi$, то с увеличением угла давления передачи коэффициент полезного действия увеличивается.

Приведенная к клетки сила вредных сопротивлений определяется из уравнения:

$$F_{\text{ОД}} = \frac{P_{\text{ОД}}}{V}$$

Так как

$$D_{\text{ОД}} = \left(\frac{\mu_1 \cdot d_1 + \mu_2 \cdot d_2}{2} \omega_1 + \frac{\mu_2 \cdot d_2 + \mu_3 \cdot d_3}{2} \cdot \omega_1 + \mu_4 \cdot V \cdot \cos \psi \right) \cdot \frac{T}{\sin \psi},$$

$$\text{то } F_{\text{ОД}} = \left(\frac{\mu_1 \cdot d_1 + \mu_2 \cdot d_2}{2} \cdot \frac{\omega_1}{V} + \frac{\mu_2 \cdot d_2 + \mu_3 \cdot d_3}{2} \cdot \frac{\omega_2}{V} + \mu_4 \cdot \cos \psi \right) \cdot \frac{T}{\sin \psi}.$$

Учитывая, что скорость точки А:

$$V_A = \omega_1 \cdot \ell_1,$$

а относительная скорость точки А при вращении вокруг точки В – $V_{\hat{A}\hat{A}} = \omega_2 \cdot \ell_2$.

Из плана скоростей (рис. 1 а) можно записать:

$$\frac{\omega_1 \cdot \ell_1}{\sin \psi} = \frac{V_B}{\sin(\varphi + \psi)} = \frac{\omega_2 \cdot \ell_3}{\sin \varphi}.$$

Откуда

$$\frac{\omega_1}{V_{\hat{A}}} = \frac{1}{\ell_2} \cdot \frac{\sin \psi}{\sin(\varphi + \psi)}; \quad \frac{\omega_2}{V_{\hat{A}}} = \frac{\omega_2}{\ell_3} \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin(\psi + \varphi)} = \frac{\lambda}{\ell_1} \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin(\psi + \varphi)}.$$

Тогда

$$F_{\text{ОД}} = \left[\frac{\mu_1 \cdot d_1 + \mu_2 \cdot d_2}{2\ell_1} \cdot \frac{\sin \psi}{\sin(\psi + \varphi)} + \frac{\mu_2 \cdot d_2 + \mu_3 \cdot d_3}{2\ell_1} \cdot \lambda \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin \psi} + \mu_4 \cos \psi \right] \frac{T}{\sin \psi}$$

, [2] или, рассматривая выражение в скобках, как приведенный коэффициент трения, зависящий от положения клетки $\mu_x = f(x)$, можно выражение для $F_{\text{ОД}}$ представить в виде:

$$F_{\text{ОД}} = \mu_x \cdot \frac{T}{\sin \psi}.$$

Если из всего двойного хода клетки 2Н рабочий процесс происходит на участках $H_1 - H_2$ и $H_3 - H_4$ (в крайних положениях клетки переднем и заднем, соответствующих углу поворота кривошипа

30° прокатка не производится) то работа сил трения за один оборот кривошипа может быть представлена в виде:

$$A_{\text{от}} = \int_{H_1}^{H_2} \mu_x \cdot \frac{T}{\sin \varphi} \cdot dH + \int_{H_2}^{H_3} \mu_x \cdot \frac{T}{\sin \varphi} \cdot dH.$$

Заключение. Получены выражения для определения коэффициентов потерь и полезного действия кривошипно-шатунного механизма стана ХПТ. Полезные нагрузки в крайних положениях клетки исключены. Коэффициент полезного действия кривошипно-шатунного механизма привода рабочей клетки трубопрокатного стана увеличивается с увеличением угла давления.

Вышеприведенные результаты позволяют сделать вывод, что для повышения КПД механизма привода рабочей клетки необходимо, чтобы величина угла давления в рабочей зоне приближалась к 90°.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гребенник В. М., Шведченко А. А, и др. Механическое оборудование трубных цехов. Никополь. Никопольская городская типография Днепропетровского обл. управления по делам издательства, полиграфии и книжной торговли, 1974 - 202 с.
2. Озол О. Г. Теория механизмов и машин. М. : Наука 1984. - 429 с.
3. Зельдович Я. Б., Мышкин А. Д. Элементы прикладной математики. М.: Наука, 1967. – 646 с.
4. Иванова А. П. Динамика кривошипно - шатунного механизма, нагруженного переменной силой сопротивления // Системні технології: Регіональний міжвуз. зб. наук. праць. – Д.: НМетАУ.– 2005. – №3(38). – С. 46 - 52.

УДК 622.788 004.942

В.В. Быковец, Е.Н. Власова, А.И. Михалев

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕРМОУПРОЧНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы построения информационной технологии моделирования процессов термоупрочнения железорудных окатышей. Разработаны требования к программному обеспечению и его структура для моделирования и процесса программного обучения.

Ключевые слова: информационная технология, окатыши, обжиговая машина, xml.

Введение

Металлургия является одной из важнейших отраслей экономики Украины, ориентированной на внутренние сырьевые и топливно-энергетические ресурсы. В этих условиях доменная плавка до сих пор является одним из основных способов получения чугуна. В свою очередь, производство железорудных окатышей является одним из важнейших этапов в этом процессе. В то же время при их получении необходимо обеспечить требуемое качество при минимальных энерго- и материало- затратах. В связи с этим актуальным является разработка информационных технологий для моделирования процесса термоупрочнения железорудных окатышей.

Постановка задачи

Целью данной работы является создание новой информационной технологии, которая позволит решать задачи моделирования процессов производства железорудных окатышей, выбрать оптимальные технологические режимы, создавать новые конфигурации обжиговых печей с новыми технологическими параметрами. Кроме того, ставится задача интеграции в программное обеспечение специального модуля для обучения и тестирования персонала обжиговых машин.

Основная часть

К программному обеспечению предъявляются следующие требования:

1) Программное обеспечение должно позволять создавать модель конвейерной обжиговой печи с необходимым количеством зон и параметрами в этих зонах.

2) Должна существовать возможность расширения функциональности системы без изменения ее ядра.

3) В программном режиме обучения должна иметься возможность добавления новых тестов, неизвестных или не реализованных в основной части программы.

4) Программное обеспечение должно обеспечивать возможность моделирования различных конфигураций обжиговых машин с учетом их индивидуальных параметров.

5) Программное обеспечение должно быть простым в изучении и эксплуатации интерфейсом пользователя.

6) Кросс-платформенность реализации.

7) Запись данных в формате доступном для дальнейшей обработки в других программных средствах.

Математическое моделирование процесса термоупрочнения окатышей включает в себя комплекс уравнений, описывающих тепло- и массообмен в слое окатышей, с учетом физико-химических процессов, протекающих при обжиге.

В общем виде модель представлена следующей системой уравнений [1,2]:

$$\begin{cases} L_{H_2O} \rho_{ок} (1-\xi) \frac{\partial W_{H_2O}}{\partial \tau} = -\alpha_v (t_{ок} - t_{исп}), \\ \rho_{ок} (1-\xi) C_{ок} \frac{\partial t_{ок}}{\partial \tau} = -\alpha_v (t_z - t_{ок}) + Q_1 - Q_2 + Q_3, \\ \rho_z C_z W_z \frac{\partial t_z}{\partial x} = \alpha_v (t_{ок} - t_z) \end{cases} \quad (1)$$

где:

$\rho_{ок}$ - плотность концентрата;

ξ - пористость слоя окатышей;

$t_{ок}$ - температура окатышей;

τ - время;

α_v - коэффициент теплопроводности (от газа к окатышам) ;

t_g - температура газа;

Q_1 - теплота окисления магнетита;

Q_2 - теплота разложения известняка;

Q_3 - теплота окисления углерода.

Решение системы (1) проводилось методом конечных разностей по явной схеме.

Структура программного обеспечения представлена на рисунке 1. В качестве представления данных был выбран XML [3], обладающий рядом достоинств:

- в формате XML могут быть описаны основные структуры данных — такие как записи, списки и деревья;
- самодокументируемый формат, который описывает структуру и имена полей также, как и значения полей;
- имеет строго определённый синтаксис и требования к анализу, что позволяет ему оставаться простым, эффективным и непротиворечивым;
- широко используется для хранения и обработки документов;
- формат, основанный на международных стандартах;
- иерархическая структура XML подходит для описания практически любых типов документов;
- представляет собой простой текст, свободный от лицензирования и каких-либо ограничений;
- не зависит от платформы;

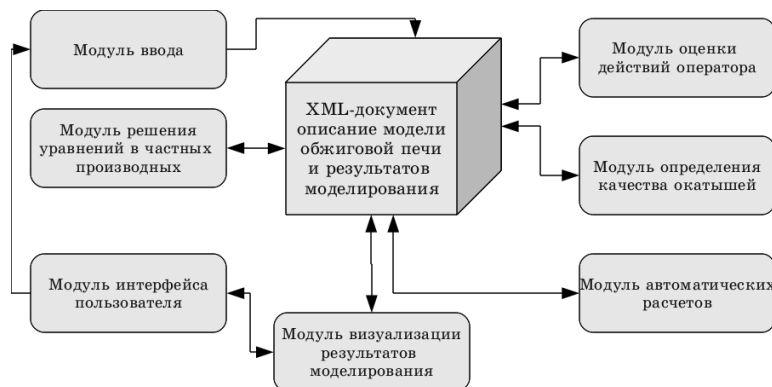


Рисунок 1 - Структура программной реализации информационной технологии

Программное обеспечение выполнено на языке программирования C++ с использованием библиотеки Qt, что

позволило добиться кросс-платформенности и высокой скорости выполнения программ.

В тоже время модуль оценки действий оператора обжиговой машины потребовал использования иного подхода к проектированию. Использование в нем жестко (на этапе компиляции) встраиваемого кода нецелесообразно, так как возможные ограничения и проверки на входные и выходные данные и их сочетание в общем случае неизвестны (допустимая температура в определенной зоне конкретной обжиговой машины, максимальная скорость движения палет и т.д.). С учетом этих особенностей модуль оценки действий оператора обжиговой машины был разработан в виде интерпретатора, позволяющего выполнять специальные программы на языке JavaScript [4] для выполнения задач проверки входных данных и оценки допустимых действий.

Входными параметрами являются:

1. Температура исходных окатышей.
2. Доля влаги в исходных окатышах.
3. Доля магнетита в исходных окатышах.
4. Доля известняка в исходных окатышах.
5. Доля углерода в исходных окатышах.
6. Доля бентонита в исходных окатышах.
7. Пористость окатыша.
8. Порозность слоя окатышей.
9. Плотность окатышей.
10. Высота слоя шихты.
11. Скорость движения обжиговых тележек.

Для каждой зоны обжиговой машины задается длина зоны, температура, скорость и состав газа.

В результате моделирования получены:

1. Температура слоя окатышей в горне;
2. степень разложения известняка;
3. степень окисления магнетита;
4. влагосодержание;
5. температура газа в слое;
6. степень выгорания углерода
7. прочность окатышей.

Примеры результатов расчета приведены на рисунках 2-4.

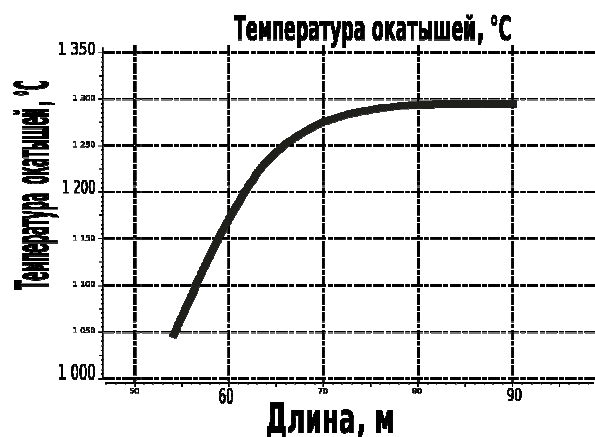


Рисунок 2 - Изменение температуры окатышей по длине обжиговой машины

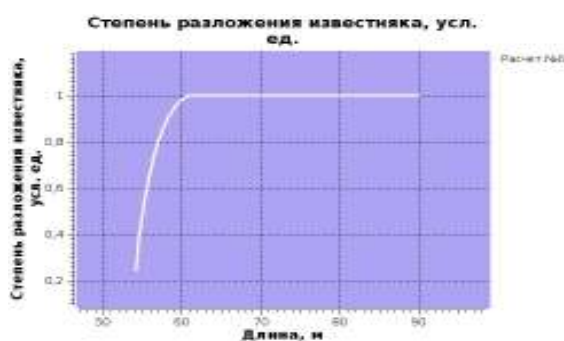


Рисунок 3 - Степень разложения известняка по длине обжиговой машины

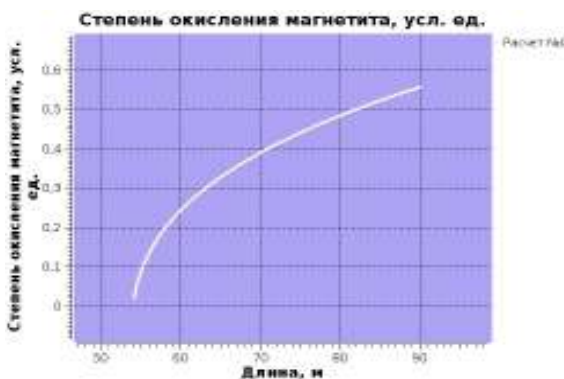


Рисунок 4 - Степень окисления магнетита по длине обжиговой машины

Выводы

Разработана информационная технология, позволяющая:

- создавать модели конвейерных обжиговых машин различных конфигураций.

- моделировать процессы термической обработки железорудных окатышей.
- проводить тестирование и обучение персонала обжиговых машин.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Бережний М.М., Мовчан В.П. Збагачення та окускування сировини. –Кривий Ріг., 2000.- 367 с.
2. Hybrid Pelletized Sinter Process for Blast Furnace Burden / G.G. Efimenko, S.E. Sulimenko, N.V. Ignatov, A.I. Mikhalyov, V.V. Bikovets //7-th International Symposium of Croatian Metallurgical Society “Materials and Metallurgy” (SHMD’2006, June, 18-22, 2006). – Metallurgy. –Vol. 45. – N 3, 2006. – Section B, 7. (ISSN 0543-5846).
3. Дэвид Хантер, Джефф Рафтер и др. XML. Базовый курс. — М.: Вильямс, 2009. — 1344 с.
- 4.<http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-262.htm>

УДК 629.7.023

О.А. Карпикова, В.И. Сливинский, Г.В. Ткаченко
**СОТОВЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ИЗ АЛЮМИНИЕВОЙ ФОЛЬГИ
С РЕГУЛИРУЕМЫМИ МЕХАНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Аннотация. Рассмотрены возможности изменения физико-механических характеристик сотов от геометрических параметров ячейки и свойств материала. Получены аналитические зависимости плотности, пределов прочности и модулей упругости при сдвиге для сотового заполнителя с ячейкой обобщенной формы.

Ключевые слова: сотовый заполнитель, трехслойная сотовая конструкция, физико-механические характеристики, ячейка обобщенной формы.

В ряде отраслей промышленности широкое применение получили трехслойные конструкции с сотовым заполнителем (СЗ). Применение таких конструкций – эффективное весовое совершенствование изделий.

В связи с этим создание СЗ с регулируемыми физико-механическими характеристиками (ФМХ) является актуальным.

В изделиях превалируют СЗ с ячейкой в виде правильного шестигранника [1-3]. Такая форма ячейки имеет фиксированное соотношение модулей сдвига в ортогональных направлениях, т.е. $G_{xz}/G_{yz} = \text{const}$ (G_{xz} и G_{yz} – модуль свига в сильном и слабом направлениях соответственно).

В [4] приведен сотовый заполнитель с ячейкой, отличной от шестигранной формы, имеющий одинаковую прочность на сдвиг в направлениях главных осей.

Жесткая фиксация соотношений модулей сдвига в ортогональных направлениях снижает возможности регулирования несущей способности сотовых конструкций (СК) при различных спектрах силовых воздействий.

Проведены исследования по созданию СЗ с ячейкой обобщенной формы, позволяющей регулировать соотношения его сдвиговых характеристик в широком диапазоне.

На рис.1 показана ячейка обобщенной формы, где a_s – размер стороны ячейки; k , c – коэффициенты формы ячеек; δ , δ_k – толщина материала СЗ и толщина клея; β – угол раскрытия ячейки.

Придавая различные численные значения параметрам a_s , k , c , δ , δ_k , β можно в широких пределах регулировать (изменять) ФМХ СЗ в соответствии с эксплуатационными воздействиями на СК.

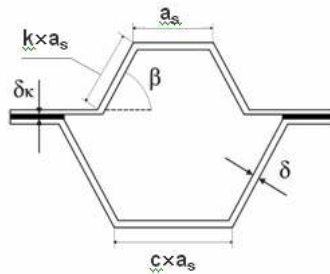


Рисунок 1 - Ячейка обобщенной формы

С целью определения влияния формы ячейки СЗ на его ФМХ из фольги АМг2-Н толщиной 30 мкм изготовлены образцы трех типов ячеек (рис.2).

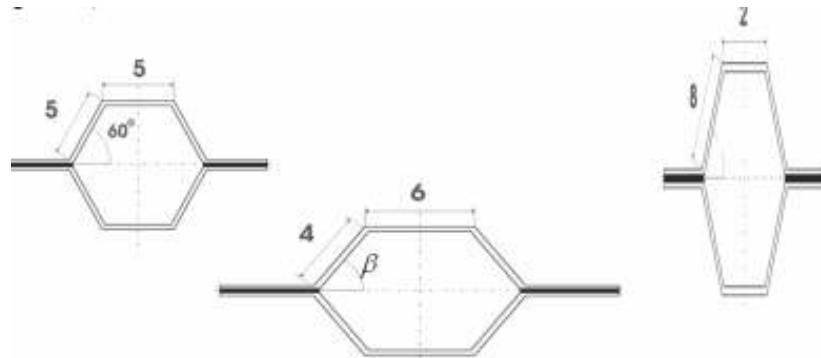


Рисунок 2 - Ячейки 3-х типов: I – правильный шестигранник; II – шестигранник с удлиненной сдвоенной гранью; III – шестигранник с удлиненной одинарной гранью.

Форма ячейки I получена в результате нанесения на рулонную фольгу методом глубокой печати полос клея шириной a с шагом t , последующего набора длиномерного материала в пакет со смещением на половину шага полос клея в шахматном порядке (рис. 3).

С целью получения СЗ минимальной массы определен оптимальный угол раскрытия ячейки по формуле

$$\beta_{opt} = \arccos \frac{\sqrt{(1+c)^2 + 32k^2} - (1+c)}{8k}. \quad (1)$$

В случае правильного шестигранника $\beta_{\text{опт}}=60^\circ$ и коэффициенте формы ячейки $k=1$.

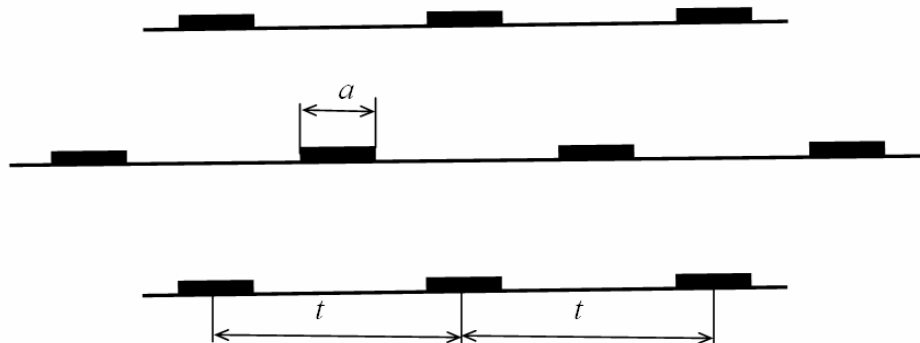


Рисунок 3 - Формирование сотопакета

В таблицах 1, 2 приведены абсолютные и удельные ФМХ СЗ для ячеек трех типов.

Таблица 1

Абсолютные физико-механические характеристики СЗ

Тип ячейки	Плотность γ , кг/м ³	Прочность при сдвиге, МПа		Модуль упругости при сдвиге, МПа	
		τ_{xz}	τ_{yz}	G_{xz}	G_{yz}
I	27,0	0,5	0,4	103	84
II	34,0	0,8	0,4	184	105
III	21,5	0,3	0,3	83	51

Таблица 2

Удельные физико-механические характеристики СЗ

Тип ячейки	Плотность γ , кг/м ³	Удельная прочность при сдвиге, км		Удельный модуль упругости при сдвиге, км	
		τ_{xz}/γ	τ_{yz}/γ	G_{xz}/γ	G_{yz}/γ
I	27,0	1,63	1,33	382	311
II	34,0	2,22	1,11	536	307
III	21,5	1,95	1,23	385	235

Анализ результатов, приведенных в таблицах 1, 2, показал, что изменяя соотношение между размерами склеенных и одинарных граней ячейки можно увеличить плотность сотов на 26% (тип ячейки II) или уменьшить ее на 20% (тип ячейки III). Базовыми для

сравнения объемной массы и механических характеристик служат ячейки I типа.

Следует отметить, что изменения геометрических параметров рассмотренных ячеек позволяют варьировать прочностью при сдвиге τ_{xz} – от -29,6% до +71,1%; τ_{yz} – от -26,2% до +5,8%; модулем упругости при сдвиге G_{xz} – от -19,6% до +77,1%; G_{yz} – от -39,98% до +24,3%. Соотношения G_{xz}/G_{yz} изменяются от 1,23 до 1,75, а соотношения τ_{xz}/τ_{yz} – от 1 до 2.

Проведенный эксперимент демонстрирует возможности регулирования (изменения) ФМХ СЗ за счет изменения соотношения между двойными (сдвоенными) и одинарными гранями ячейки.

Кроме того, изменять ФМХ СЗ можно варьируя размером ячейки, коэффициентом формы ячейки k , толщиной и маркой материала основы СЗ.

Получены аналитические зависимости для СЗ с ячейкой обобщенной формы от геометрических параметров ячейки СЗ, толщины материала и его свойств. ФМХ СЗ от входящих параметров выражены формулами (1) – (5):

$$G_{yz} = 0,75 \frac{k \delta G \sin \beta}{a_s (1 + k \cos \beta)}; \quad G_{xz} = 0,75 \frac{\delta G (1 + k \cos^2 \beta)}{k a_s \sin \beta (1 + k \cos \beta)}; \quad (2) \quad (3)$$

$$\tau_{yz} = 0,3 \frac{\delta \sigma}{a_s (1 + k \cos \beta)}; \quad \tau_{xz} = 0,3 \frac{\delta \sigma (1,15 + k \cos \beta)}{k a_s \sin \beta (1 + k \cos \beta)}; \quad (4) \quad (5)$$

где G , τ – прочность и модуль при сдвиге материала СЗ, σ – прочность при растяжении материала СЗ.

Плотность (γ) СЗ – одна из важнейших весовых характеристик.

В аналитической зависимости плотности СЗ с ячейкой обобщенной формы реальный наполнитель заменяется на условный, эквивалентный по массе реальному, представляющий собой сплошное по объему ортотропное тело.

Такой подход позволяет получить зависимость плотности СЗ с ячейкой обобщенной формы от свойств исходных материалов, геометрических и технологических параметров.

$$\gamma = \frac{\delta \rho (1 + k)}{k a_s \sin \beta (1 + k \cos \beta)}, \quad (6)$$

где ρ – плотность материала СЗ.

Плотность СЗ является функцией угла раскрытия ячейки $\gamma=f(\beta)$ и имеет минимум (рис. 4).

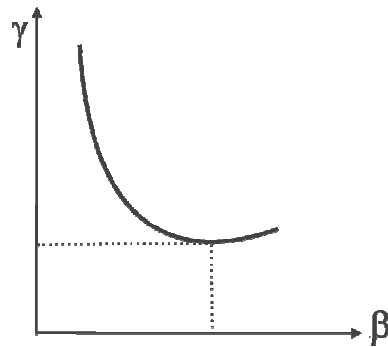


Рисунок 4 - Зависимость плотности СЗ от угла раскрытия

На рис.5 приведена серия графиков для определения оптимального угла раскрытия ячейки $\beta_{опт}$ от коэффициентов формы ячейки k и c , изменяющихся в пределах: k – от 1 до 4; c – от 1 до 7.

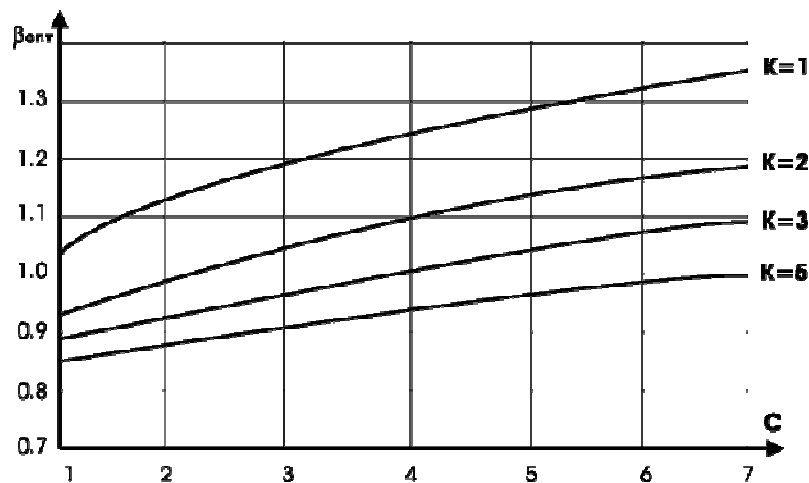


Рисунок 5 - Номограмма зависимости оптимального угла раскрытия ячейки от коэффициентов формы ячейки

Выводы

Проведенные исследования показали возможность регулирования ФМХ сотов из фольги за счет изменения соотношения одинарных и склеенных граней ячеек.

Показана возможность изменения в нужном направлении в СЗ упругих характеристик, плотности, соотношений G_{xz}/G_{yz} и τ_{xz}/τ_{yz} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Панин В.Ф., Гладков Ю.А. Конструкции с заполнителем: Справочник. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.
2. Иванов А.А., Кашин С.М., Семенов В.И. Новое поколение сотовых заполнителей для авиационно-космической техники. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 436 с.
3. B.T. Astrom. Sandvich Manufacturing: Past, Present and Future/ Ed. J.R. Vincon: Rubl. Company-Stockholm, 1999. – 198 p.
4. Пат. №3563840 США, МКИ В 32 В 3/12 Honeycomb heving equal shear strength properties/Walter E. Stine.

УДК 519.24:681

В.П. Малайчук, Н.А. Лысенко, А.В. Кошулян
КОНТРОЛЬ ОБЪЕКТОВ СО СЛУЧАЙНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Проведено исследование принятия ошибочных решений 1-го и 2-го рода о состоянии технических объектов, контролируемые параметры которых являются случайными величинами, измеряются с ошибками и не должны выходить за пределы интервала допуска.

Ключевые слова: контроль, случайные параметры, ошибки 1-го и 2-го рода, интервал допуска.

Постановка задачи

Теоретической базой формирования решающих правил контроля состояния технических объектов по результатам измерений их параметров является статистическая теория распознавания. Предполагается, что известны вероятности и параметры, характеризующие их состояния, известны законы распределения вероятностей измерений, выбраны стоимости принятия ошибочных решений. На основе этих знаний определяются оптимальные алгоритмы обработки измерений проконтролированных объектов и формируются решающие правила [1].

Рассмотрим задачу контроля однотипных объектов, у которых измеряемые информативные параметры, характеризующие их состояния, являются случайными величинами со своими статистическими закономерностями. Их случайность порождается нестабильностью технологических процессов производства и неконтролируемыми изменениями окружающей среды. Статистические закономерности описываются плотностью распределения вероятностей $W(H)$ информативного параметра H и условной плотностью $W(\bar{x}/H)$ его оценки $\bar{x}$ по выборке измерений $x_1, x_2, \dots, x_m$. Объект контроля считается в норме, если информативный параметр не выходит за пределы допуска в интервале $H_1 \leq H \leq H_2$. По результатам контроля решение о том, что состояние объекта в норме принимается, если оценка $\bar{x}$ информативного параметра удовлетворяет условию $H_1^* \leq \bar{x} \leq H_2^*$, где пороги сравнения H_1^* и H_2^*

выбираются из условия минимума математического ожидания стоимости принятия ошибочных решений

$$M[C] = C(N\bar{N}^*)P(N\bar{N}^*) + C(\bar{N}N^*)P(\bar{N}N^*), \quad (1)$$

где $C(N\bar{N}^*)$ и $C(\bar{N}N^*)$ стоимости ошибочных решений (изделие в норме N принимается за брак $\bar{N}^*$ и бракованное изделие $\bar{N}$ принимается за нормальное N^*), $P(N\bar{N}^*)$ и $P(\bar{N}N^*)$ вероятности этих сложных событий.

Ожидаемая стоимость принятия ошибочных решений о состоянии объектов контроля зависит от объема измерений контролируемого параметра, допусков качества H_1 и H_2 и неизвестных порогов сравнения H_1^* и H_2^* . Будем считать, что модели статистических закономерностей $W(H)$ и $W(\bar{x}/H)$ известны. Исследуем влияние порогов H_1^* и H_2^* на вероятности принятия ошибочных решений.

Основная часть

Ошибочные решения $N\bar{N}^*$ (перебраковка) и $\bar{N}N^*$ (пропуск брака) являются сложными случайными событиями. Их вероятности равны

$$P(N\bar{N}^*) = P(N)P(\bar{N}^* / N) = P(N)[1 - P(N^* / N)] = P(N) - P(NN^*), \quad (2)$$

$$P(\bar{N}N^*) = P(N^*)P(\bar{N} / N^*) = P(N^*)[1 - P(N / N^*)] = P(N^*) - P(NN^*). \quad (3)$$

Вероятность поступления на контроль объекта в норме $P(N)$ и вероятность принятия решения, что проконтролированные объекты находятся в норме $P(N^*)$, равны

$$P(N) = \int_{H_1}^{H_2} W(H) dH, \quad (4)$$

$$P(N^*) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{H_1^*}^{H_2^*} W(H) W(\bar{x}/H) d\bar{x} dH = \int_{H_1^*}^{H_2^*} W(\bar{x}) d\bar{x}. \quad (5)$$

Вероятность $P(N)$ характеризует эффективность технологии производства, так как $P(B) = 1 - P(N)$ - это вероятность брака. Вероятность $P(N^*)$ зависит от порогов сравнения H_1^* и H_2^* и точности измерений контролируемого параметра (дисперсия σ_x^2) и косвенно характеризует эффективность контроля.

Вероятность принятия правильного решения $P(NN^*)$ определяется по формуле

$$P(NN^*) = \int_{H_1}^{H_2} \int_{H_1^*}^{H_2^*} W(H) W(\bar{x}/H) d\bar{x} dH. \quad (6)$$

Если принять, что распределения $W(H)$ и $W(\bar{x}/H)$ гауссовы, их математические ожидания $M[H] = H_T$, $M[\bar{x}/H] = H$ и дисперсии $D[H] = \sigma_T^2$, $D[\bar{x}/H] = \sigma_x^2$ известны, то $M[\bar{x}] = H_T$, $D[\bar{x}] = \sigma_x^2 + \sigma_T^2$ и для вероятностей $P(N)$, $P(N^*)$, $P(NN^*)$ получим расчетные формулы

$$P(N) = \int_{H_1}^{H_2} W(H) dH = \Phi\left(\frac{H_2 - H_T}{\sigma_T}\right) - \Phi\left(\frac{H_1 - H_T}{\sigma_T}\right), \quad (7)$$

$$P(N^*) = \Phi\left(\frac{H_2^* - H_T}{\sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_x^2}}\right) - \Phi\left(\frac{H_1^* - H_T}{\sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_x^2}}\right), \quad (8)$$

$$P(NN^*) = \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2\pi}} \int_{H_1}^{H_2} \left[\Phi\left(\frac{H_2^* - H}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{H_1^* - H}{\sigma_x}\right) \right] \exp\left(-\frac{(H - H_T)^2}{2\sigma_T^2}\right) dH, \quad (9)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ - интеграл вероятности Гаусса.

Введем обозначения $\Delta H_1 = H_T - H_1$, $\Delta H_2 = H_2 - H_T$, $\Delta x_1 = H_T - H_1^*$, $\Delta x_2 = H_2^* - H_T$ и преобразуем выражения (7), (8), (9) следующим образом

$$P(N) = \Phi\left(\frac{\Delta H_2}{\sigma_T}\right) - \Phi\left(\frac{-\Delta H_1}{\sigma_T}\right) = \Phi\left(\frac{\Delta H_2}{\sigma_T}\right) + \Phi\left(\frac{\Delta H_1}{\sigma_T}\right) - 1, \quad (10)$$

$$P(N^*) = \Phi\left(\frac{\Delta x_2}{\sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_x^2}}\right) - \Phi\left(\frac{-\Delta x_1}{\sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_x^2}}\right) = \Phi\left(\frac{\Delta x_2}{\sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_x^2}}\right) + \Phi\left(\frac{\Delta x_1}{\sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_x^2}}\right) - 1, \quad (11)$$

$$P(NN^*) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\Delta H_1 / \sigma_T}^{\Delta H_2 / \sigma_T} \left[\Phi\left(\frac{z\sigma_T + \Delta x_1}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{z\sigma_T - \Delta x_2}{\sigma_x}\right) \right] e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (12)$$

Исследуем частный случай контроля, когда $\Delta H_1 = \Delta H_2 = \Delta H$ и $\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x$ (симметричные законы распределения вероятностей контролируемых параметров и их оценок). Выражения (10), (11), (12) запишутся в виде

$$P(N) = 2\Phi\left(\frac{\Delta H}{\sigma_T}\right) - 1, \quad P(N^*) = 2\Phi\left(\frac{\Delta x}{\sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_x^2}}\right) - 1, \quad (13)$$

$$P(NN^*) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\Delta H / \sigma_T} \left[\Phi\left(\frac{z\sigma_T + \Delta x}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{z\sigma_T - \Delta x}{\sigma_x}\right) \right] e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (14)$$

Вероятности ошибочных решений вычислим по формулам (2) и (3).

Представим (13), (14) в следующем виде

$$P(N) = 2\Phi\left(\frac{\Delta H}{\sigma_T}\right) - 1, \quad P(N^*) = 2\Phi\left(\frac{\frac{\Delta x - \Delta H}{\sigma_T} + \frac{\Delta H}{\sigma_T}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_T}\right)^2}}\right) - 1, \quad (15)$$

$$P(NN^*) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\Delta H / \sigma_T} \left[\Phi\left(\frac{z + \frac{\Delta x - \Delta H}{\sigma_T} + \frac{\Delta H}{\sigma_T}}{\frac{\sigma_x}{\sigma_T}}\right) - \Phi\left(\frac{z - \frac{\Delta x - \Delta H}{\sigma_T} - \frac{\Delta H}{\sigma_T}}{\frac{\sigma_x}{\sigma_T}}\right) \right] e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (16)$$

Построим зависимости вероятности ошибочных решений от разности $\frac{\Delta x - \Delta H}{\sigma_T}$. На рис.1 показаны эти графики для различных отношений σ_x / σ_T и двух вероятностей $P(N)=0.9$ и $P(N)=0.95$, характеризующих качество производства. Проанализируем полученные результаты. Если обозначить $\frac{\Delta x - \Delta H}{\sigma_T} = v$, то пороги сравнения H_1^* и H_2^* можно определить по формулам

$$H_2^* = H_2 + v\sigma_T; \quad H_1^* = H_1 - v\sigma_T. \quad (17)$$

Из анализа графиков на рис.1 следуют такие выводы:

- 1) если $v < 0$, то вероятность перебраковки значительно превышает вероятность пропуска брака $P(N\bar{N}^*) > P(\bar{N}N^*)$;
- 2) если $v > 0$, то имеет место обратное неравенство $P(N\bar{N}^*) < P(\bar{N}N^*)$.

Из выражений (2) и (3) с учетом (13) будем иметь формулу для анализа разности вероятностей ошибочных решений

$$\Delta P = P(N\bar{N}^*) - P(\bar{N}N^*) = 2 \left[\Phi\left(\frac{\Delta H}{\sigma_T}\right) - \Phi\left(\frac{\Delta x}{\sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_x^2}}\right) \right]. \quad (18)$$

Если разность ΔP задана, то можно определить $\Delta x = H_T - H_1^* = H_2^* - H_T$ и пороги сравнения H_1^* и H_2^* , при которых будет иметь место неравенство $P(\bar{N}\bar{N}^*) > P(\bar{N}N^*)$ как возможный показатель эффективности контроля.

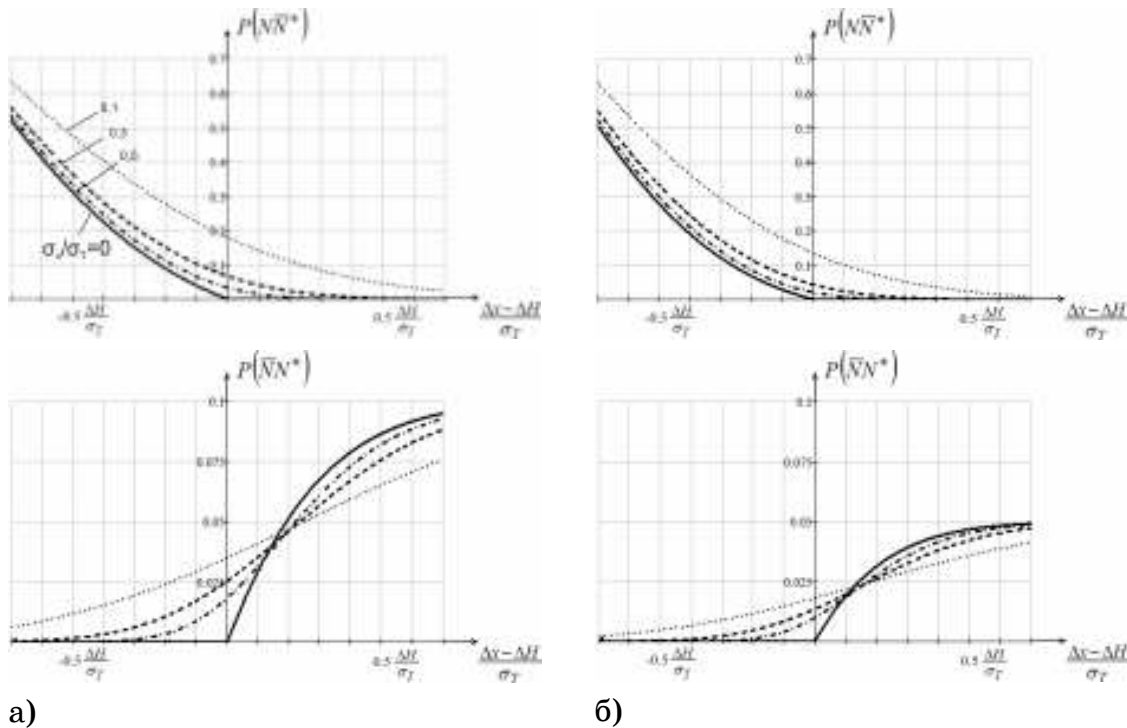


Рисунок 1 - Вероятности принятия ошибочных решений в зависимости от выбора величины порога Δx ; а) $P(N)=0.9$;

б) $P(N)=0.95$

Если воспользоваться известной аппроксимацией обратной функции распределения Гаусса в виде [2] $\Psi(P) = 4,91(P^{0,14} - (1-P)^{0,14})$, то для оценки $\Delta x / \sigma_T$ получим формулу

$$\frac{\Delta x}{\sigma_T} = 4,91 \sqrt{1 + \frac{\sigma_x^2}{\sigma_T^2}} \left[\left(\frac{1 + (P(N) - \Delta P)}{2} \right)^{0,14} - \left(\frac{1 - (P(N) - \Delta P)}{2} \right)^{0,14} \right]. \quad (19)$$

На рис.2 представлены графики для определения $\Delta x / \sigma_T$, если заданы $P(N)$, σ_x^2 / σ_T^2 и ΔP .

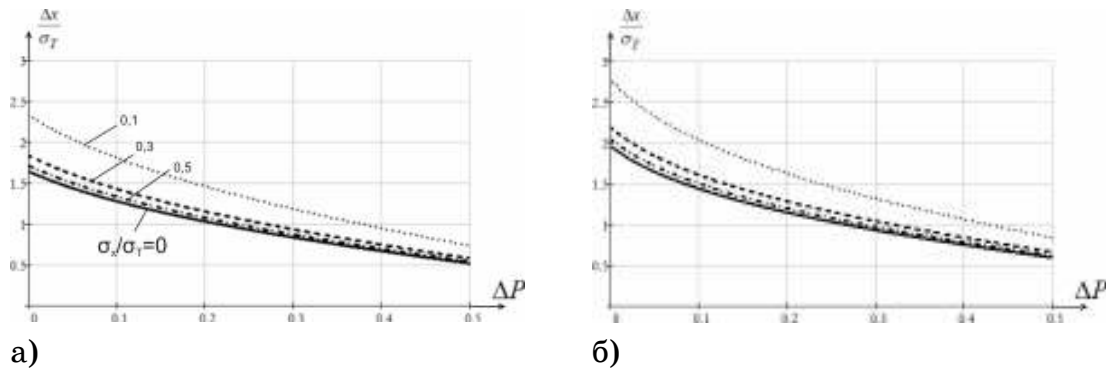


Рисунок 2 - Графики для оценки порогов сравнения H_1^* и H_2^* ;

а) $P(N)=0.9$; б) $P(N)=0.95$

Выводы и направления дальнейших исследований

1. Исследованы вероятности принятия ошибочных решений контроля в зависимости от выбора значений порогов, по которым принимаются решение о состоянии объектов со случайными параметрами. Эти знания позволяют обосновано выбирать пороги сравнения по заданным значениям разностей вероятностей принятия ошибочных решений.

2. Учитывая, что плата за пропуск бракованных изделий значительно превышает плату за перебраковку, пороги сравнения должны выбираться из условия $P(\bar{N}N^*) < P(N\bar{N}^*)$ и при этом должны учитываться ошибки измерения неконтролируемого параметра.

3. Оптимальные значения порогов сравнения могут быть получены из условия минимума стоимости принятия ошибочных решений, т.е. по критерию минимума среднего риска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малайчук, В.П. Математическая дефектоскопия: Монография / В.П.Малайчук, А.В.Мозговой.-Д.:Системные технологии, 2005. - 180 с.
2. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика/ А.И.Кобзарь.-М.:Физматлит, 2006.- 816 с.

УДК 621. 192

Е.С. Переверзев

**ИНФОРМАЦИОННО-ЭНТРОПИЙНЫЕ МЕТОДЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ
ПОЛЯМИ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ИХ ФИЗИКО-
МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Обсуждаются вопросы применения энтропийных методов при исследовании сложных систем, в частности, при выборе режимов воздействия энергетическими полями на конструкционные материалы с целью возбуждения в них самоорганизационных процессов.

Ключевые слова: энтропия, самоорганизационные процессы, термодинамическая сила, термодинамический поток, необратимые процессы, стационарное состояние, коэффициенты корреляции, долговечность материалов.

Энтропийные методы широко применяются при исследовании сложных систем [1], при управлении качеством и разработке методов оценки надежности [2,3]. Но особенно эффективно применение энтропийных методов при построении теории процессов самоорганизации, закономерности которых изучает новая научная дисциплина синергетика [4-7]. Различают термодинамическую энтропию S и информационную H . Кратко рассмотрим методы термодинамической энтропии при изучении эволюционных процессов и динамики иерархических систем. Изменение термодинамической энтропии dS определяется как [8]

$$dS = \frac{\Delta Q}{T}, \quad (1)$$

где ΔQ – изменение теплоты в процессе; T – абсолютная температура.

В общем случае приращение энтропии dS можно представить в виде суммы двух слагаемых

$$dS = dS_e + dS_i, \quad (2)$$

где dS_e – изменение энтропии, обусловленное обменом с окружающей средой; dS_i – приращение энтропии, вызванное необратимыми изменениями внутри системы.

В соответствии с законами термодинамики dS_e может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Приращение же dS_i в соответствии со вторым законом термодинамики может быть только положительным. Для изолированной системы $dS_e = 0$, и в такой системе энтропия может только возрастать. Величину $\Theta = \frac{dS_i}{dt}$ называют производством энтропии. Эта величина характеризует скорость накопления необратимых изменений. В термодинамике необратимых процессов полагают [8]

$$\Theta = \sum_j X_j J_j, \quad (3)$$

где X_i – термодинамическая сила; J_i – термодинамический поток, вызванный действием силы X_i .

Методы нахождения термодинамических сил и потоков основаны на анализе законов сохранения энергии и вещества. Термодинамическими силами обычно являются температура, химический потенциал, тензор напряжений и т.д. Термодинамическими потоками являются тепловой поток, скорость химической реакции, тензор скорости деформации и др.

Термодинамическая энтропия для одного моля идеального газа может быть вычислена по формуле Больцмана

$$S = -R \int_{-\infty}^{\infty} \ln f(v) f(v) dv, \quad (4)$$

где R – универсальная газовая постоянная; $f(v)$ – плотность распределения скоростей движения молекул газа.

В последнее время развивается теория самоорганизационных процессов, при построении которой особенно эффективно применение информационной энтропии H . Для произвольной случайной величины X энтропия H вычисляется по формуле

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} \ln g(x) g(x) dx, \quad (5)$$

где $g(x)$ – плотность распределения случайной величины X .

Из сравнения выражений (4), (5) видно, что они отличаются только постоянным множителем, поэтому у них много общих свойств. Например, в равновесном состоянии соблюдается принцип максимума

энтропии. Исходя из этого принципа, можно обосновать вид закона распределения изучаемых случайных величин. Например, если известны только конечные пределы изменения случайной величины, то максимальная энтропия у равномерного распределения. При заданном математическом ожидании максимальная энтропия у экспоненциального распределения, при заданной дисперсии максимальная энтропия у нормального распределения. Вот почему, исходя из принципа максимума энтропии, распределения скоростей движения молекул идеального газа описываются нормальным законом.

В общем случае необходимо учитывать одновременно изменение термодинамической и информационной энтропии. В этом случае при решении вариационных задач функция Φ , подлежащая исследованию на экстремум, записывается так

$$\Phi = S + BH, \quad (6)$$

либо

$$\Phi = H + bS. \quad (7)$$

Между коэффициентами B и b должно выполняться соотношение

$$bB = 1. \quad (8)$$

В самоорганизационных процессах скорость $\frac{dH}{dt}$ принимает отрицательные значения.

В большинстве случаев основные свойства энтропии рассматриваются для независимых систем. Исследуем, как влияет на изменение энтропии зависимость элементов системы. Рассмотрим систему, состояние которой описывается многомерным нормальным вектором X . Информационная энтропия в этом случае вычисляется по формуле [9]

$$H = \log \left[(2\pi e)^n |K| \right]^{1/2}, \quad (9)$$

где n – мерность вектора; $|K|$ – определитель корреляционной матрицы.

Для удобства рассмотрим систему, у которой все компоненты имеют одинаковые дисперсии σ^2 . Тогда

$$|K| = \sigma^{2n} \Delta, \quad (10)$$

где Δ – определитель нормированной корреляционной матрицы

$$\Delta = \begin{vmatrix} r_{11}, r_{12} \dots r_{1n} \\ r_{21}, r_{22} \dots r_{2n} \\ \dots \dots \dots \\ r_{n1}, r_{n2} \dots r_{nn} \end{vmatrix}, \quad (11)$$

где r_{ij} , $i, j = \overline{1, n}$ – коэффициенты корреляции между отдельными случайными величинами.

При таком представлении

$$H = \log \left[(2\pi e)^n \sigma^{2n} \Delta \right]^{1/2}. \quad (12)$$

Исследуем влияние коэффициентов корреляции на величину H при $r_{ij} \geq 0$. С уменьшением значений коэффициентов корреляции энтропия увеличивается и при $r_{ij} = 0$ достигает максимального значения $H_{\max}$. При $r_{ij} = 0$ определитель $\Delta = 1$ и соответственно

$$H_{\max} = \log \left[2\pi e \sigma^2 \right]^{n/2}. \quad (13)$$

С увеличением значений коэффициентов корреляции энтропия H уменьшается, при $r_{ij} \rightarrow 1$ определитель $\Delta \rightarrow 0$ и $H \rightarrow -\infty$. Физически реализовать системы со всеми коэффициентами корреляций компонентов, равными единице, по-видимому, невозможно.

Представляет интерес определить значения коэффициентов корреляции, при которых энтропия достигает нулевого значения. Определитель Δ в этом случае вычисляется из равенства

$$(2\pi e)^{n/2} \Delta^{1/2} \sigma^n = 1. \quad (14)$$

Приведем выражения для Δ для конкретных значений $n = 2, 3, 4$; соответствующие определители обозначим $\Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$.

Для $n = 2$ имеем

$$\Delta_2 = 1 - r_{12}^2. \quad (15)$$

Соответственно для $n = 3$

$$\Delta_3 = 1 - r_{12}^2 - r_{13}^2 - r_{23}^2 + r_{12}r_{13}r_{23}. \quad (16)$$

Для краткости выражение для определителя Δ_4 приводится ниже для частного случая $r_{ij} = 1$.

Для удобства анализа предельных случаев положим все коэффициенты корреляции одинаковыми, т.е. $r_{ij} = r$, $i, j = \overline{1, n}$.

В этом случае

$$\Delta_3 = 1 - 3r^2 + 2r^3, \quad (17)$$

$$\Delta_4 = 1 - 6r^2 + 8r^3 - 3r^4. \quad (18)$$

При $r = 1$ соответственно имеем

$$\Delta_2 = \Delta_3 = \Delta_4 = 0. \quad (19)$$

Из приведенных выражений находим значения r , при которых энтропия равна нулю.

Для $n = 2$ получим

$$r = \sqrt{1 - \frac{1}{(2\pi e)^2}}. \quad (20)$$

Для $n = 3$ необходимое значение r определяется из выражения

$$(2\pi e)^3 \sigma^3 (1 - 3r^2 + 2r^3) = 1, \quad (21)$$

соответственно для $n = 4$ r находится из выражения

$$(2\pi e)^4 \sigma^4 (1 - 6r^2 + 8r^3 - 3r^4) = 1. \quad (22)$$

Анализ приведенных выражений показывает, что при заданных значениях коэффициентов корреляции с увеличением n определитель Δ_n уменьшается. Так при $r = 0,5$ имеем:

$$\Delta_2 = 0,75; \quad \Delta_3 = 0,5; \quad \Delta_4 = 0,3125. \quad (23)$$

Нами исследовалось изменение энтропии от степени связи между элементами для многомерного нормального вектора. Покажем, что и для произвольных распределений с увеличением связи между ее элементами энтропия системы уменьшается. В [10] приведено следующее приближенное выражение для произвольных многомерных распределений

$$G_n(x) = \eta G_1(x) + (1 - \eta) G_1^n(\eta), \quad (24)$$

где η – параметр, учитывающий степень зависимости между случайными величинами; $G_1(x)$ – одномерная функция распределения; $G_n(x)$ – многомерная функция распределения.

Параметр η изменяется от нуля до единицы. При $\eta = 0$ случайные величины независимы и

$$G_n(x) = G_1^n(x). \quad (25)$$

В этом случае энтропия системы H равна сумме энтропий отдельных элементов. Для одинаковых элементов

$$H = nh, \quad (26)$$

где h – энтропия отдельного элемента.

При $\eta = 1$ между случайными величинами наибольшая зависимость и

$$G_n(x) = G_1(x). \quad (27)$$

В этом случае энтропия системы равна энтропии элемента

$$H = h. \quad (28)$$

Из сравнения выражений (26) (28) следует, что в предельном случае при $\eta = 1$ имеет место соотношение

$$H_{зав} = \frac{H_{нез}}{n}, \quad (29)$$

где $H_{зав}$, $H_{нез}$ – соответственно энтропии систем с зависимыми и независимыми элементами.

Можно предположить, что и при значениях $0 < \eta < 1$ приближенно будет выполняться соотношение (29). Таким образом, для систем с зависимыми элементами повышение сложности системы приводит к уменьшению энтропии. Из изложенного следует, что для уменьшения информационной энтропии реальных систем необходимо находить конструктивные методы увеличения зависимости между составляющими элементами, а для систем с независимыми элементами – методы повышения их сложности за счет увеличения числа элементов (для конструкционных материалов создавать более мелкозернистую структуру).

В Институте технической механики НАНУ и НКАУ проводятся исследования по обработке конструкционных материалов различными энергетическими полями с целью возбуждения в них самоорганизационных процессов, которые приводят, на наш взгляд, к уменьшению информационной энтропии и улучшению некоторых физико-механических характеристик. Разработаны способы повышения показателей долговечности конструкционных материалов за счет возбуждения в них самоорганизационных процессов при комбинированном энергетическом нагружении путем воздействия полями различной природы (электромагнитных, ультразвуковых, магнитных, тепловых и силовых). Выбраны режимы нагружения, которые существенно повышают их долговечность. На образцах из

алюминиево-магниевого сплава АМг6М достигнуто увеличение среднего времени до разрушения в условиях ползучести более чем в 30 раз.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем / А. Дж. Вильсон. – М.: Наука, 1978. – 246 с.
- 2 Завальнюк П. А. Термодинамическая концепция управления качеством / П. А. Завальнюк П. А. – Тверь: Изд-во Твер. у-та, 1992. – 149 с.
- 3 Воробьев В. Л. Термодинамические основы диагностики и надежности микроэлектронных устройств / В. Л. Воробьев. – М.: Наука, 1989. – 160 с.
- 4 Митюгов В. В. Физические основы теории информации / В. В. Митюгов. – М.: Сов. радио, 1976. – 216 с.
- 5 Коган И. М. Прикладная теория информации / И. М. Коган. – М.: Радио и связь, 1981. – 216 с.
- 6 Поплавский Р. П. Термодинамика информационных процессов / Р. П. Поплавский. – М.: Наука, 1981. – 255 с.
- 7 Шамбадаль П. Развитие и приложения понятия энтропии / П. Шамбадаль. – М.: Наука, 1967. – 278 с.
- 8 Базаров И. П. Термодинамика: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп./ И. П. Базаров. – М.: Высш. шк., 1983. – 344 с.
- 9 Пугачев В. С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления / В. С. Пугачев. – М.: Физматгиз, 1960. – 883 с.
- 10 Переверзев Е.С. Вероятностные распределения и их применение/ Е.С. Переверзев, Ю.Ф. Даниев. – Днепропетровск, НАН Украины и НКА Украины, Институт технической механики, 2004. – 418 с.

УДК 621.771.2:54.06:681.3.003.12.

Э.В. Приходько, Д.Н. Тогобицкая, А.С. Козачёк, В.Г. Раздобреев,
Л.А. Головко

ИНФОРМАЦИОННО – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СВОЙСТВА ГОТОВОГО ПРОКАТА

Аннотация. Рассматривается методика оценки влияния примесных тугоплавких компонентов, попадающих в сталь с шихтой в комплексе с легирующими элементами. Предлагается новый подход к решению поставленной задачи путем построения карт поверхностей.

Ключевые слова. Состав, свойства, прокат, интегральные параметры, карта поверхности.

Состояние вопроса

Эффективность решения стратегических задач обеспечения конкурентноспособности металлопродукции в конкретных промышленных условиях в значительной степени определяется степенью компьютеризации научно-технических служб и производственных участков, наличием работоспособных информационно-аналитических систем комплексного анализа текущих производственных данных.

При анализе влияния состава сталей и сплавов на их свойства все возрастающее значение приобретает выявление роли малых концентраций легирующих, микролегирующих и примесных элементов. В число новых компонентов входят как традиционно вредные примеси, так и полезные добавки, причем отнесение компонентов к той или иной категории (полезных или вредных) может изменяться в зависимости от общего состава микродобавок и соотношения между их концентрациями. При этом в случае многокомпонентных сталей и сплавов для теории и практики наибольший интерес представляют эффекты комплексного легирования и микролегирования, заключающиеся в изменении свойств сплавов за счет взаимодействия легирующих элементов между собой и с примесями. Это изменение, как свидетельствует

© Приходько Э.В., Тогобицкая Д.Н., Козачёк А.С., Раздобреев В.Г.,
Головко Л.А., 2010

опыт, вполне может быть сопоставимо с суммой эффектов в результате парных взаимодействий легирующих элементов с основой сплава. Однако попытки численно оценить эти эффекты до сих пор не предпринимались.

В связи с этим разработка полуэмпирических описательных моделей сохраняет актуальность в прикладной теории легирования. Для создания упомянутых описательных моделей принципиальное значение имеет разработка физико-химических и термодинамических критериев, позволяющих обобщать информацию о составе многокомпонентных сплавов и снижать параметричность описательных моделей, обеспечивая требуемую их точность. Перспективными представляются методы физико-химического моделирования, суть которых заключается во вводе в связь между составом и свойствами сплавов промежуточного звена – комплекса интегральных модельных параметров, характеризующих химическое и структурное состояние исследуемого материала [1, 2].

Постановка задачи

Создание методики определения оптимального содержания в стали сортового проката дефицитных легирующих элементов (марганца, хрома, никеля, меди) в зависимости от сочетания концентраций присутствующих в стали попутных (содержащихся в шихтовых материалах) тугоплавких компонентов (титана, ванадия, ниобия и молибдена). Учет компенсирующего влияния этих микродобавок позволяет обеспечивать сохранение заданного уровня свойств за счет понижения (в пределах марочных составов) расхода дефицитных легирующих компонентов.

Метод решения задачи

Существующие подходы к оптимизации химического состава стали, обеспечивающего требуемые механические свойства сталей, как правило, базируются на статистических моделях состав-свойство, не отражающих физико-химические аспекты поведения многокомпонентного расплава на заключительных стадиях технологии получения готовой продукции (фазовые превращения, механизм упрочнения и т.д.) Применяемый нами комплексный поиск оптимального состава микролегированных конструкционных сталей базируется на двух принципиальных методических подходах.

Первый связан с решением проблемы снижения размерности задач прогнозирования на основе теории направленной химической связи [1], рассматривающий металлический расплав, как химически единую систему, и факторного анализа. Второй – с генерацией моделей оптимальной структуры. Поскольку фазовые превращения являются следствием межатомного взаимодействия в многокомпонентном расплаве на первом этапе осуществляется «свертка» химического состава через интегральные параметры зарядового (Z^Y) и структурного (d) состояний, которые рассчитываются как результат попарного взаимодействия всех его m компонент путем решения системы нелинейных $m^2 - m + 1$ уравнений:

$$\begin{cases} a - f(\Delta e'_{ij}) = 0, \\ a - f(\Delta e''_{ij}) = 0, & i = 1, 2, \dots, m-1, j = i+1, \dots, m, \\ 4 \cdot ZX(a, \Delta e') + ZY(d, \Delta e'') = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $\Delta e'_{ij}$ – количество электронов, которые берут участие в образовании связи $i-j$ на расстоянии a (по диагонали ОЦК или ГЦК-решеток), $\Delta e''_{ij}$ – на расстоянии $d = 0,866 \cdot a$ по грани, $\Delta e' = (\Delta e'_{12}, \Delta e'_{13}, \Delta e'_{ij}, \Delta e'_{m-1,m})$, $\Delta e'' = (\Delta e''_{12}, \Delta e''_{13}, \Delta e''_{ij}, \Delta e''_{m-1,m})$.

В результате решения указанной нелинейной системы уравнений определяются $a, \Delta e'_{ij}, \Delta e''_{ij}, i = 1, \dots, m-1, j = i+1, \dots, m$.

Параметр Z^Y определяется путем усреднения эффективных зарядов всех типов связей $i-j$ с длиной связи d :

$$Z^Y = \sum_{k=1}^m \frac{\lg Ru_k^o - \lg(d/2)}{\lg \alpha_k} \cdot n_k^2 + 2 \cdot \sum_{k=1}^{m-1} \sum_{l=k+1}^m n_k \cdot n_l \cdot \Delta e''_{kl}, \quad (2)$$

где n_k – мольная доля, Ru_k^o – радиус неполяризованного атома, $\lg \alpha_k$ – параметр, который характеризует изменение электронной плотности при ионизации атома k -того компонента. Использование интегральных параметров Z^Y и d в качестве «свертки» химического состава многокомпонентного расплава позволяет увеличить информационную мощность моделей и снизить их параметричность.

Реализация процедур «свертки» химического состава многокомпонентных железоуглеродистых расплавов по предложенной методике осуществляется в программном модуле «Металл».

На основе факторного анализа [3] с учетом выделенных интегральных факторов и соответствующей группировки компонентов по их факторным нагрузкам (рис.1) многокомпонентная система структурируется на подсистемы:

- а) матричная подсистема - включает углерод, марганец, кремний;
- б) легирующая подсистема - включает хром, никель, марганец и др;
- г) примесная подсистема - включает как вредные примеси (серу, фосфор, азот), так и полезные тугоплавкие металлы, например ванадий, молибден, ниобий и титан.

При таком подходе влияние примесно-легирующей и матричной подсистемы оценивается комплексно через физико-химические критерии (химические эквиваленты).

На рисунке 1 представлен пример результатов структуризации химического состава стали 16MnCrS5, выплавляемой в условиях РУП «БМЗ».

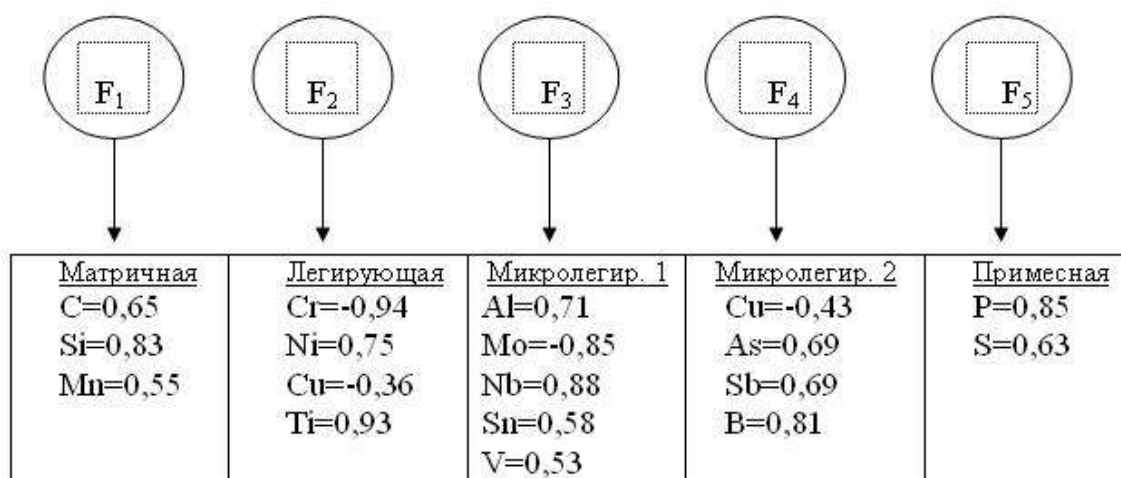


Рисунок 1 – Значения нагрузки на интегральные факторы

Поскольку задачи оптимизации химического состава многокомпонентных сталей являются многокритериальными, то методика «свертки» позволяет путем целенаправленного проецирования определить диапазоны изменения параметров

зарядового (Z^Y), структурного (d) и электрохимического ($\lg \alpha$) состояния, которые обеспечивают требуемое качество стали.

Возможность обобщения информации о составе многокомпонентных сплавов в виде сочетания указанных выше интегральных модельных параметров позволяет использовать методику картирования [4,5] для определения оптимальной концентрации как отдельных компонентов состава сплавов, так и составов, обеспечивающих благоприятное для потребительских свойств металлопроката сочетание его прочностных и пластических свойств.

Построение картограмм осуществляется на основе геолитического изображения топографии аппроксимирующей поверхности, рассчитанной по методу наименьших квадратов или методу Тихонова [6]. Предложенная методика представлена в программном комплексе “POLE”.

Пример реализации алгоритма построения трехмерных картограмм иллюстрирует рисунок 2. На нем представлена карта поверхности σ_T в координатах – электронный химический эквивалент микролегирующей подсистемы, включающей вносимые с шихтой в качестве попутных примесей Ti , V , Nb и Mo и легирующего компонента – Mn . Анализ показал, что дополнительное включение в состав этой группы хрома и алюминия неоправдано, т.к. не повышает точность аналитического обобщения данных о свойствах, хотя оба этих элемента являются активными карбидо- и нитридообразующими компонентами.

По сравнению с традиционными методами математического моделирования подобные картограммы имеют неоспоримое преимущество: наглядность представления сложных нелинейных зависимостей в форме, удобной для решения задач прогнозирования следствий изменения состава. В частности, при конкретном значении электронного эквивалента микролегирующей подсистемы (Z_{ml}^Y), определяемого по составу перед доводкой стали в ковше, изменением содержания марганца можно регулировать соотношение прочностных и пластических свойств (численный уровень изучаемого свойства отображается на картограмме разным цветом).

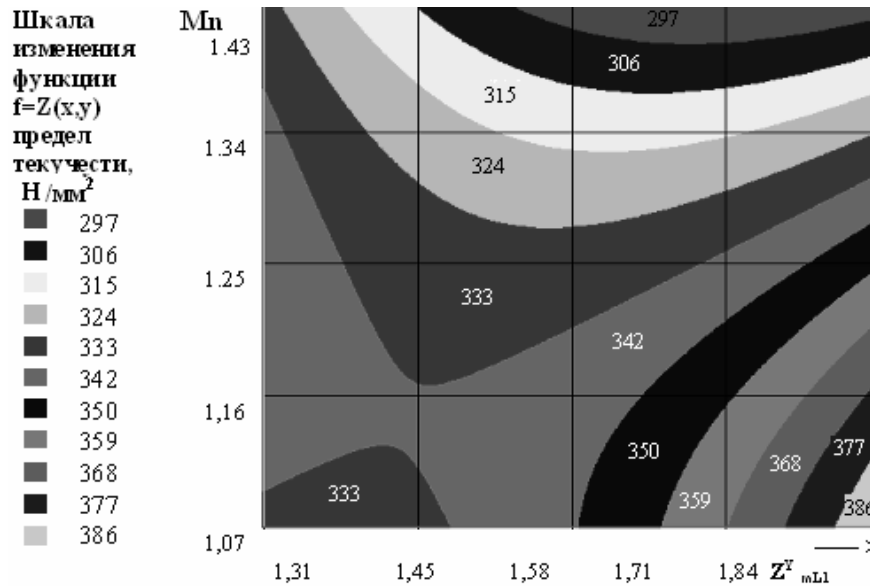


Рисунок 2 – Карта поверхности для предела текучести на массиве из 3-х сталей (16MnCrS5, S355J2, 20Г2)

Предложенный метод также предоставляет решение обратной задачи и реализован в программном модуле «Оптимизация», которая осуществляется путем оптимизации функционала при ограничениях:

$$z(x) \rightarrow \min_x \quad (3)$$

$$\begin{cases} g_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, l, \\ g_i(x) = 0, i = l + 1, 2, \dots, L \end{cases} \quad (4)$$

где $z(x), g_i(x)$ - некоторые функции от входных параметров процесса x_i ($i = 1, 2, \dots, L$), например ограничения на интегральные «свертки» химического состава и соответствующих ограничений ТУ.

Результаты проведенных по такой схеме обширных расчетно-аналитических исследований показали, что наиболее актуально для практических целей использовать в качестве одной из координатных осей электронный эквивалент Z^Y_{ml} для выбранного сочетания концентраций микропримесей Ti, V, Nb и Mo , а для другой - легирующий компонент, содержание которого необходимо скорректировать. В частности, из сочетания этих параметров (рис. 2) следует, что чем больше значение параметра Z^Y_{ml} , тем целесообразней для повышения значений σ_b и σ_t снижение концентраций марганца. Для производственных условий эта рекомендация означает, что в

зависимости от сочетания микроконцентраций титана, ванадия, ниобия и молибдена в расплаве перед доводкой легирование марганцем целесообразно вести с технологией, ориентированной на нижний предел марочного состава. По такой же (как в случае с марганцем) схеме может быть уточнено влияние любого другого легирующего элемента – хрома, никеля, меди.

Вывод

Представлена методика оценки сложного нелинейного влияния примесных тугоплавких компонентов, попадающих в сталь с шихтой, на свойства сортового проката. Учет влияния «остаточных» элементов поможет найти резервные способы для повышения качества проката.

Использование предлагаемой методики позволяет определить эффективные пути снижения расхода дефицитных легирующих элементов без ухудшения качества металлопроката.

Предлагаемая методика позволит оценивать роль влияния конкретного легирующего элемента в комплексе с основным составом на свойства проката.

Реализация данного подхода предоставляет возможность решения обратной задачи по корректировке химического состава стали для требуемых механических свойств проката.

ЛИТИРАТУРА

1. Приходько Э.В. Металлохимия многокомпонентных систем. –М.: металлургия. -1995. -320 с.
2. Э.В. Приходько. Эффективность комплексного легирования стали и сплавов.- Киев: Наукова думка.-1995.-292 с.
3. Иберла К. Факторный анализ. Пер. с нем. Ивановой В.М. -М.: Статистика. -1980. -399 с.
4. Тогобицкая Д.Н., Григянец Р.Б. Системное, прикладное и проблемное программное обеспечение банка данных «Металлургия»// известия АНССР. Металлы.- 1991. - №4. – С.217-220.
5. Тогобицкая Д.Н. Система анализа и выбора рациональных режимов работы металлургических агрегатов на ЭВМ //Черная металлургия. Наука –Технология – Производство. МЧМ СССР. –М.: Металлургия .-1989.- С.384-390.
6. Тихонов А.Н. О регуляризации некорректно поставленных задач // Доклады АН СССР. – 1963. – Т.153.- №1. – С.49-52.

УДК 622.73

Н.С. Прядко, Т.М. Буланая, Л.Ж. Горобец, Ю.Г. Соболевская,
Н.П. Сироткина

**ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ СТРУЙНЫМ
ИЗМЕЛЬЧЕНИЕМ**

Разработана информационная технология процесса газоструйного измельчения на основе акустического мониторинга. Используются базы экспериментальных данных записей акустических сигналов зоны измельчения. Технология позволяет совершенствовать акустический мониторинг и регулировать процесс измельчения.

Для подготовки полезных ископаемых к производству строительных материалов, изделий порошковой металлургии, взрывчатых веществ, твердых топлив и др. широко используют дробление и измельчение. Тонкоизмельченные продукты составляют основу для производства разнообразных видов продукции. При этом достигаются различные цели: увеличение удельной поверхности материала, повышение реакционной способности порошков, разделение полезных минералов и пустой породы. Цена реализуемых на рынках сбыта тонкодисперсных порошков (редкометалльные концентраты циркона, дистена, концентраты вольфрама, молибдена, марганца, железа и др. металлов, порошки синтетических алмазов, абразивные порошки карбида кремния и электрокорунда, технический мел, микротальк, диоксиды циркония и титана и др.) задается в первую очередь тониной помола (удельная поверхность, максимально допустимый и средний размер частиц, фракционный состав) и качеством порошка (отсутствие примесей, чистота, белизна, форма частиц, физико-химические свойства поверхности, реакционная способность вещества).

Для повышения гидравлической активности и дисперсности материалов используют их измельчение в различных мельницах: барабанных шаровых, стержневых, паро- и газоструйных. Однако исследованиями показано, что получение очень высокой дисперсности

© Прядко Н.С., Буланая Т.М., Горобец Л.Ж., Соболевская Ю.Г.,
Сироткина Н.П., 2010

в барабанных и шаровых мельницах практически невозможно из-за пластичных свойств материалов, снижения производительности мельницы и роста удельных энергозатрат на измельчение [1].

Газоструйный способ измельчения обеспечивает термодинамическую обработку частиц при использовании энергии сжатого рабочего газа (воздуха, продуктов сгорания газообразного топлива) с температурой до 600°C. Термоциклическое высокоскоростное воздействие струй энергоносителя (термоудары) на измельчаемые частицы способствует разупрочнению и разуплотнению (за счет смены деформаций сжатия и растяжения) гетерогенного вещества по межзеренным границам с преимущественным сохранением целостности полезных минералов. Таким образом, достигается эффективное раскрытие ценных минералов без их избыточного переизмельчения, и этот фактор обуславливает повышение качества обогащенного концентрата. В этой технологии измельчение также успешно совмещают с термической обработкой (сушкой, прокалкой, удалением реагентов с поверхности), классификацией по крупности, гравитационным обогащением газовзвеси. [2].

В связи с высокой энергоемкостью процесса струйного измельчения в области получения высокодисперсных порошков (более 0,6 -1 м²/г) актуальной проблемой является поиск и поддержание оптимального режима измельчения в различных режимах загрузки струй измельчаемым материалом [3]. Для этого используется акустический мониторинг процесса измельчения [4]. В ходе исследований определены наиболее информативные акустические характеристики, установлена их взаимосвязь с технологическими параметрами измельчения, накоплен большой объем экспериментальных данных струйного измельчения материалов различных свойств [5-7].

Целью данной работы является создание информационной технологии процесса газоструйного измельчения сыпучих материалов на основе акустического мониторинга.

Экспериментальные исследования проводились на противоточной газоструйной измельчительной установке лабораторного типоразмера производительностью 2 – 30 кг/ч, энергоноситель – сжатый воздух среднего давления.

Производительность мельницы рассчитывалась на основе взвешивания готового продукта, осажденного в циклоне после классификатора. На рис. 1 приведена общая схема измельчительного комплекса с указанием места установки датчиков, регистрирующих акустические сигналы в процессе измельчения, и аппаратура для проведения акустического мониторинга. Более подробно устройство экспериментальной установки описано в [8].

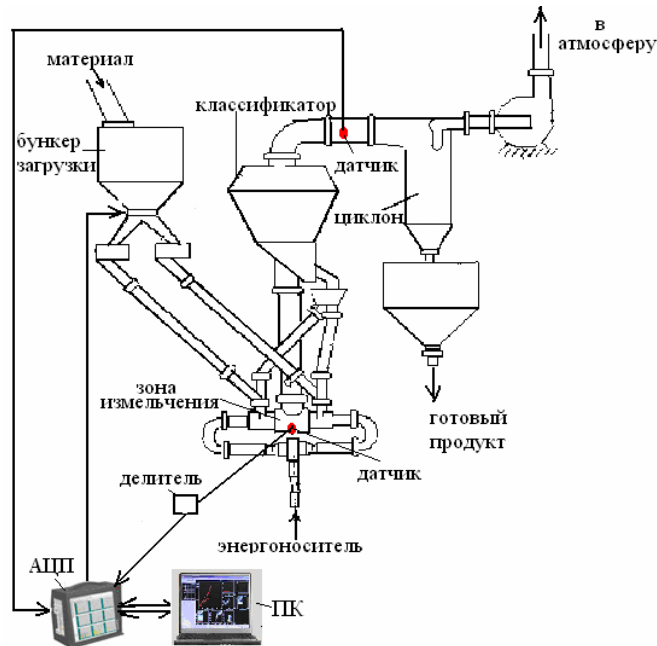


Рисунок 1

При установленных режимных параметрах струйного измельчения производительность мельницы зависит от наполнения струй материалом. В процессе измельчения выделяется три стадии работы мельницы – загрузка струй материалом, рабочий режим и разгрузка струй [9]. Экспериментальные исследования позволили установить, что величина амплитуды АС изменяется в зависимости от технологической стадии измельчения и крупности частиц, содержащихся в струе [10]. На рис.2 показана кинетика амплитуд акустических сигналов на различных стадиях измельчения (а) – загрузка, б) – рабочий режим, в) – разгрузка)

Проведенные исследования показали, что основными акустическими характеристиками при мониторинге струйного измельчения является кинетика счета и амплитуды АС [9], а технологическими характеристиками – кинетика производительности при заданной дисперсности продукта, параметрах энергоносителя и

режима классификации. В ходе измельчения различных материалов записывались акустические сигналы с датчиков, установленных в зоне помола и после классификации, создавалась база данных.

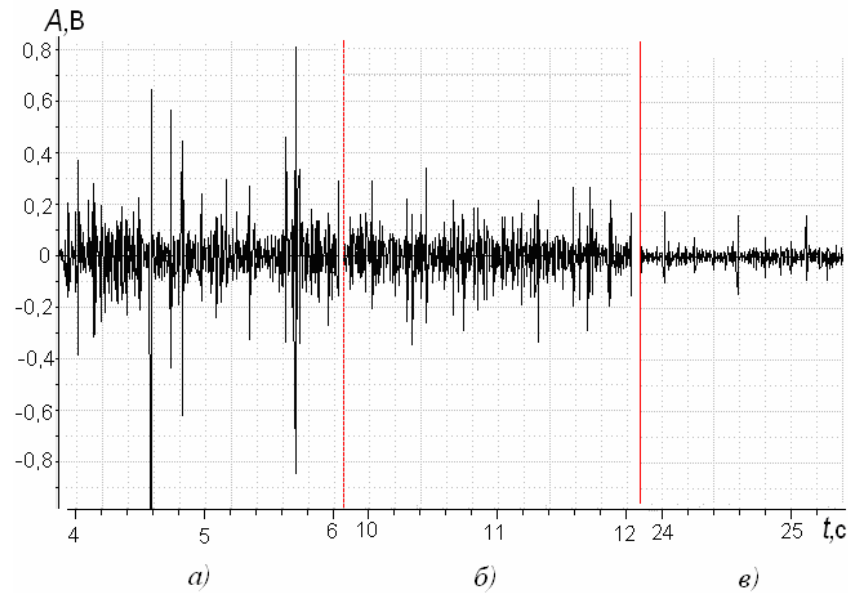


Рисунок 2

Установленные закономерности и полученные экспериментальные данные позволили разработать информационную технологию процесса струйного измельчения (ИТСИ) на основе мониторинга указанных акустических параметров. Для создания ИТСИ использовался комплексный подход, включающий несколько этапов: формирование баз данных и баз знаний, планирование и подготовка акустического мониторинга, интеллектуальный анализ результатов, выбор стратегии измельчения. Общая схема этих этапов показана на рис.3.

Основу ИТСИ образуют разработанные базы данных, в которых хранится информация о результатах измельчения на экспериментальной установке, разделенная на трех группы:

- закодированные названия всех материалов, подвергающихся измельчению, с указанием источника и региона получения или добычи его;
- технологические параметры процесса измельчения, включающие давление и температуру энергоносителя, показатели режима классификации (число оборотов ротора классификатора);
- записи акустических сигналов зафиксированных датчиками в зоне помола и области после классификации.

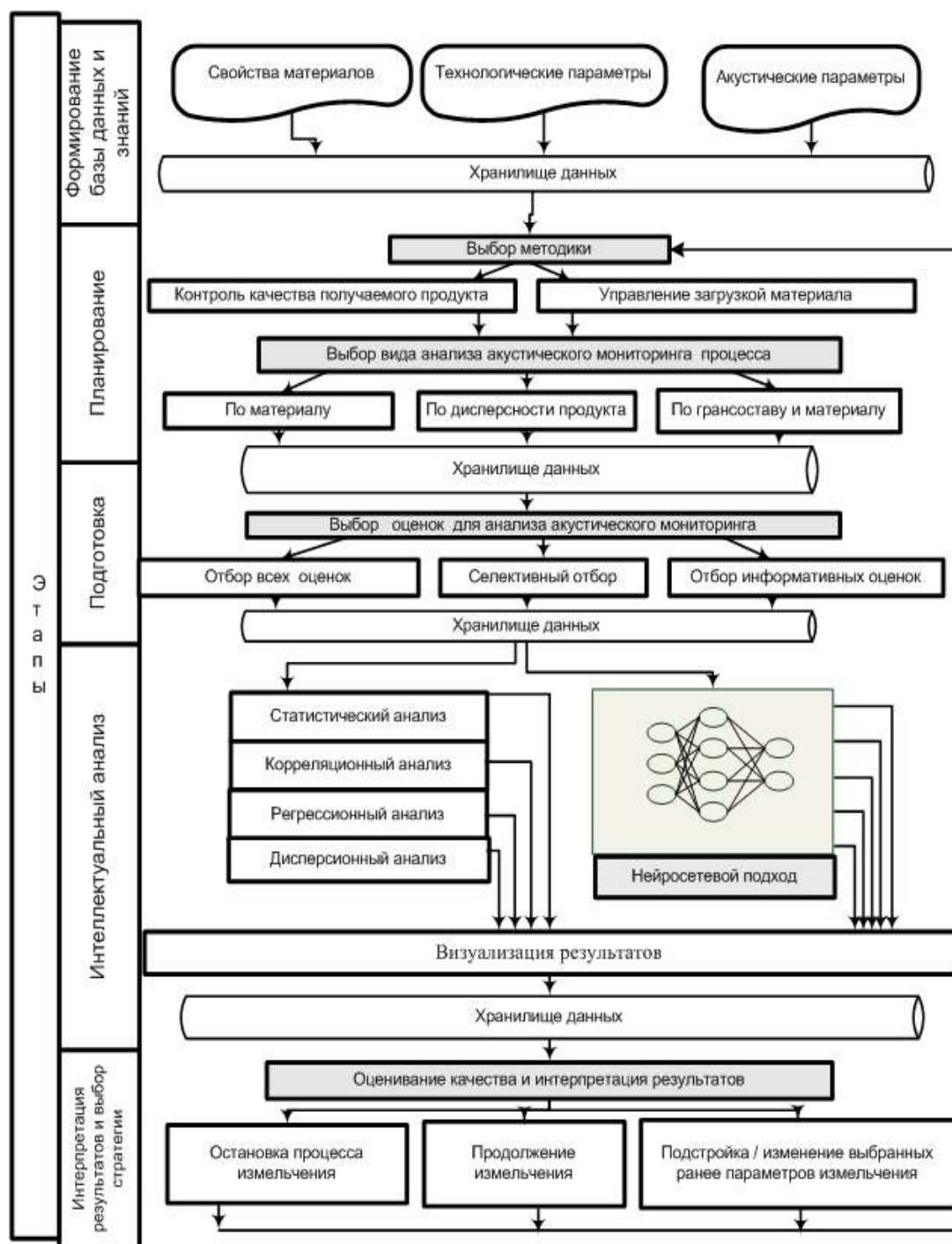


Рисунок 3

Сведения, наполняющие базы данных, сохранялись в необходимом формате и были взаимосвязаны. На основании баз данных создаются базы знаний, хранящие образцы сигналов определенных стадий процесса измельчения различных материалов при соответствующих режимных параметрах.

При обращении к ИТСИ по заданному материалу выбираются необходимые параметры из баз данных и баз знаний, затем в соответствии с техническим заданием или требованиями к получаемому продукту измельчения определяется режим мониторинга, его оценки (параметры). Таким образом, после стадии планирования и подготовки мониторинга выбирается вид дальнейшего интеллектуального анализа.

Нейросетевой анализ показателей и оценок в ИТСИ для мониторинга процесса измельчения и оценки качества измельчения включает следующие этапы:

- предпроцессинг данных;
 - кодирование входов-выходов нейросети;
 - нормировка данных;
- подбор структуры нейронной сети;
- обучение нейронных сетей с различной архитектурой (результат обучения зависит, как от размеров сети, так и от её начальной конфигурации);
- отбор сетей, которые дадут наименьшую ошибку предсказания на тестовых данных;
- оценка адекватности нейросетевой модели.

Нейросетевой анализ ИТСИ позволяет строить нейронные сети вида: многослойный перцептрон, логистическая регрессия, вероятностная нейронная сеть, каскадная корреляция и сеть теории адаптивного резонанса. [12]. ИТСИ позволяет проводить оптимизацию параметров сети на основе генетического алгоритма и оценивать адекватность модели при помощи Receiver Operator Characteristic – анализа.

На последнем этапе ИТСИ осуществляется анализ результатов, на основе которого выдаются рекомендации по дальнейшему ходу процесса измельчения – продолжать измельчение, добавлять материал в струи, корректировать параметры измельчения или полностью прекращать процесс.

Вывод. Разрабатываемая ИТСИ сочетает в себе большой объем экспериментальных данных измельчения различных материалов, преимущества акустического мониторинга процесса, позитивные качества интеллектуального анализа результатов исследования, а также позволяет совершенствовать методику акустического

мониторинга и принимать решения по повышению эффективности и качества струйного измельчения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Струйная технология измельчения металлургических шлаков / Пилов П. И., Бовенко В. Н., Горобец Л. Ж., Прядко Н. С., Стрельников Г. А. // Материалы международного научно-практического семинара памяти Олевского В. А. –Ставрополь. – 2007. – С. 1 – 3.
2. Влияние измельчения минерального сырья в нагретых струях на показатели его обогащения / П. И. Пилов, Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко, В. В. Гаевой, И. А. Шуляк, Б. Ф. Бевзенко // Сб. материалов VI конгресса обогатителей стран СНГ (28 – 30 марта 2007). – Москва. – 2007. – С. 182 – 184.
3. О критериях акустического мониторинга струйного измельчения / Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко, И. А. Шуляк, Б. Ф. Бевзенко // Техническая механика. – 2009. – № 3. – С. 116 – 121.
4. Акустическое исследование измельчаемости материалов / П. И. Пилов, В. Н. Бовенко, Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко // Збагачення корисних копалин. – НГУ. – Дн-ск, 2008. – № 34 (75). – С. 67 – 74.
5. An acoustic monitoring of the sizes changes of grinded particles / P. Pilov, L. Gorobets, V. Bovenko, N. Pryadko // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 6. – С. 23 – 26.
6. Peter Pilov Research of acoustic monitoring regularities in a jet grinding process / Peter Pilov, Larisa Gorobets, Natalya Pryadko // Ach.Min.Sci., Vol.54 (2009), No 4, p. 841 – 848.
7. Акустические и технологические характеристики процесса измельчения в струйной мельнице // П. И. Пилов, В. Н. Бовенко, Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко // Известия вузов. Горный журнал. – 2009. – № 4. – С. 117 – 121.
8. Об износе разгонных трубок при газоструйном измельчении / Н. С. Прядко, Н. Д. Коваленко, Г. А. Стрельников, В. А. Грушко, Н. Ю. Пясецкий, Н. П. Сироткина // Техническая механика. – 2009. – № 4. – С. 94 – 110.
9. Интенсификация процесса струйного измельчения на основе анализа акустических параметров / Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко, И. А. Шуляк, Ю. Г. Соболевская // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 2(54). – С. 15 – 19.
10. О повышении эффективности процесса струйного измельчения с использованием акустического мониторинга / П. И. Пилов, Л. Ж. Горобец, В. Н. Бовенко, Н. С. Прядко, И. В. Верхоробина // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков. – 2009. – Вып. 25. – С. 74 – 82.
11. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с.

УДК 621.774.35 (075.8)

С.Р. Рахманов

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ

Аннотация. Решена задача о прессовании биметаллических труб путем математического моделирования динамики процессов и движения слоев биметалла и металла в кольцевом зазоре очага деформации, между матрицей и оправкой. Выявлены некоторые особенности формирования слоев биметалла и металла в очаге деформации. Определены изменения энергосиловых и динамических параметров очага деформации при прессовании биметаллических труб с учетом формы рабочей поверхности технологического инструмента.

Ключевые слова. Динамика, деформация, биметаллическая труба, матрица, оправка прессование.

Введение. Приоритет в области производства бесшовных биметаллических труб из сочетания различных материалов (стали и их сплавы) определен рядом преимуществ технико-экономических показателей современных технологических процессов прессования [1,2].

Необходимо отметить, что широкое применение в мировой практике находит процесс горячего прессования биметаллических труб. Данный процесс часто применяется при производстве многослойных труб из малопластичных и труднодеформируемых материалов.

Целью работы. Целью данной работы является получение рекомендаций по выбору рациональных параметров процесса и динамической модели для наиболее распространенных схем прессования биметаллических труб: "оправка – биметалл – металл – матрица" и "оправка – металл – биметалл – матрица".

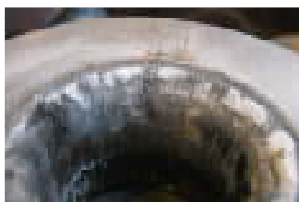
Постановка задачи. Повышение эффективности производства биметаллических труб совершенствованием технологии прессования и прессового оборудования, выдвигает весьма перспективные задачи по принятию кардинальных решений, связанных с оптимальным управлением качеством выпускаемой продукции [3, 4].

Прогнозирование показателей качества биметаллических труб и

биметаллических соединений, а так же повышение эксплуатационной стойкости технологических инструментов (матриц и игл) и надежности функционирования оборудования, в данных условиях, занимает передовое место.

Анализ литературных источников. Отработка существующих и разработка новых технологических процессов производства биметаллических труб, в рамках поставленной задачи, определенно указывает на создание корректных математических моделей, а иногда и привлечение нетрадиционных реологий [5, 6]. Создание адекватной модели современного технологического процесса прессования биметаллических труб выдвигает определенные предпосылки для достаточно полной и всесторонней отработки влияния различных факторов, параметров и режимов прессования на соответствующих этапах процессов прессования труб.

Условия формирования энергосиловых параметров очага деформации при прессовании биметаллических труб вызывают тяжелонагруженные режимы нагружения и преждевременный износ технологических инструментов (матрицы, иглы, контейнера). При прессовании биметаллических труб для уменьшения сил трения в очаге деформации из компонентов различных сталей и их сплавов, преимущественно, используется специальная технологическая смазка [6, 7]. Следовательно, высокое качество поверхности прессованных биметаллических труб из малопластичных материалов и износостойкость технологического инструмента обеспечивается также применением различных способов подачи и вариаций технологических смазок. В промышленных условиях для этой цели чаще всего применяют специальные порошки, смазочные шайбы, жидкую или стекловидную смазку (рис. 1).



а)



б)

Рисунок 1 - Картины износа матрицы а) и иглы б) профильного пресса

Помимо всего, на передний план выдвигается проблема выбора

устойчивых параметров процесса прессования, что неразрывно связано с решением задачи о формировании необходимого биметаллического слоя между металлом и рабочими инструментами (иглой и матрицей).

Возможности прессования биметаллических труб с относительно высокими темпами деформации, без нарушения их требуемых геометрических размеров и без разрушения сплошности биметаллического изделия при выходе из очага деформации, обуславливают разработку принципиально новых реологий прессуемых материалов, математических и нетрадиционных физических моделей технологического процесса (рис. 2).

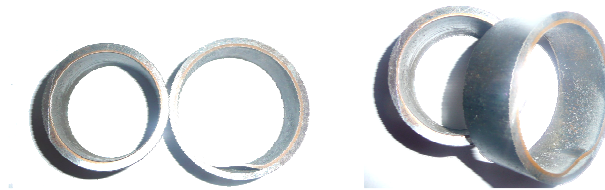


Рисунок 2 - Тимплеты прессованных биметаллических труб с некоторыми нарушениями сплошности биметаллического слоя

Несмотря на это, при разработке и анализе конкретных задач, требующих учета динамических особенностей реальных процессов прессования биметаллических труб и физико-механических свойств материалов биметаллических соединений, на базе фундаментальной теории пластичности возникает ряд трудностей математического характера.

Отметим, что рядом исследователей, несколько в иной постановке, в работах [2, 4], рассмотрены некоторые частные задачи технологии производства биметаллических труб. Необходимо отметить, что в существующей литературе отсутствуют однозначные обобщающие рекомендации по определению рациональных режимов прессования и выбору параметров очага деформации. Особенно сложным является учет динамических особенностей движения двухслойного биметаллического потока металла в ограниченном объеме очага деформации и кольцевом зазоре между технологическими инструментами

Необходимо углубление знаний о процессах совместной деформации разнородных металлов и природе их совместного функционирования в очаге деформации. Ниже, в работе, сделана попытка получить относительно корректную динамическую модель

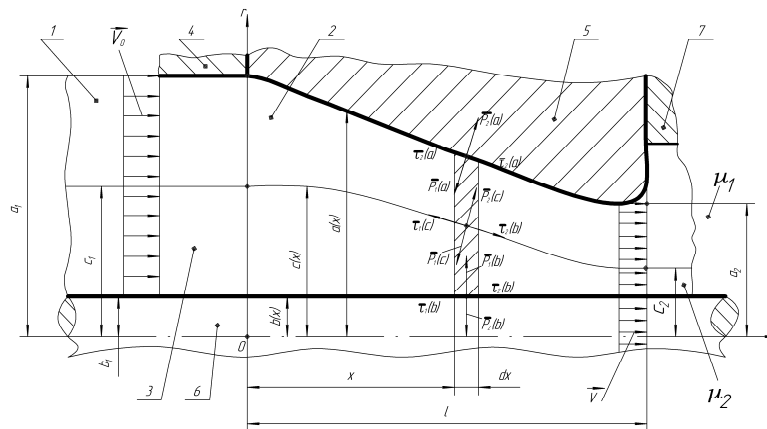
процесса прессования биметаллических труб на базе гидродинамической аналогии, и приведены некоторые выкладки по данному вопросу.

При этом, процесс прессования биметаллических труб рассматривается в уточненном виде, что соответствует выбранной вязкопластической реологии модели, физическим и динамическим граничным условиям очага деформации в рамках поставленной задачи.

Решение задачи. Физические представления, заложенные в основу реологии прессуемых материалов и обобщенной гидродинамической модели, характерны режимам прессования и адекватны условиям стесненного очага деформации. В частности это имеет место при производстве двухслойных труб из труднодеформируемых материалов в сочетании с биметаллом в условиях выбранной расчетной схемы (рис. 3).



а)



б)

Рисунок 3 - Тимплеты биметаллических заготовок а) и расчетная схема процесса прессования из биметаллической заготовки б): 1 – пресс-штемпель; 2 – биметаллический слой; 3 – металлический слой; 4 – контейнер; 5 – матрица; 6 – игла (оправка); 7 – матрицaдержатель

Процесс прессования двухслойных биметаллических труб на

профильном прессе преимущественно выполняется в следующем порядке. Под действием пресс-штемпеля 1, движущегося вдоль оси прессования с заданной скоростью V_0 , биметалл 2 "вязкости" μ_1 , и металл 3, "вязкости" μ_2 , впрессовывается из контейнера 4 в кольцевой зазор, образованный матрицей 5 и цилиндрической иглой (оправкой) 6, формируется в цилиндрическую биметаллическую трубу (гильзу), заданных геометрических размеров.

Следовательно, в рамках нетрадиционной реологии, гидродинамической модели очага деформации и принятой расчетной схемы, рассмотрим осесимметричное двухслойное течение биметалла и металла, с соответствующими коэффициентами "вязкости", в кольцевом зазоре, между матрицей и оправкой. Соответствующие коэффициенты "вязкости" биметалла и металла определяются графическим дифференцированием механических характеристик материалов слоев [8].

Для исследования динамических процессов при прессовании биметаллических труб, в рамках поставленной задачи, выбираем гидродинамическую двухслойную модель, что позволяет, в дальнейшем, воспользоваться системой дифференциальных уравнений Навье – Стокса с известными предположениями и допущениями, согласно [9, 11, 12]. Отметим, что, при строгости соблюдения осесимметричности процесса движения слоев металла и биметалла (рабочих сред) в очаге деформации, в указанной постановке задачи, имеем следующую систему уравнений

$$\frac{\partial p_1}{\partial x} = \mu_1 \left(\frac{\partial^2 v_{x1}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_{x1}}{\partial r} + \frac{\partial^2 v_{x1}}{\partial x^2} \right), \quad \frac{\partial p_2}{\partial x} = \mu_2 \left(\frac{\partial^2 v_{x2}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_{x2}}{\partial r} + \frac{\partial^2 v_{x2}}{\partial x^2} \right). \quad (1)$$

Из анализа системы дифференциальных уравнений (1) следует, что градиент давления в рассматриваемом сечении очага деформации является только функцией выбранного переменного, координаты x . Следовательно, при этом, уравнения неразрывности следует составить в виде интегральных законов сохранения расходов, соответственно, слоев биметалла и металла в кольцевом зазоре очага деформации. Тогда, из закона сохранения секундных расходов слоев биметалла и металла в кольцевом зазоре между инструментами, и условий неразрывности очага деформации в процессе прессования биметаллических двухслойных труб, запишем

$$2\pi \int_{b(x)}^{c(x)} v_{x1}(x, r) r dr = Q_1, \quad 2\pi \int_{c(x)}^{a(x)} v_{x2}(x, r) r dr = Q_2. \quad (2)$$

Предположим плавное изменение площади поперечного сечения очага деформации, занятого металлом и биметаллом. Несмотря на строгость зависимости $v_{x1,2}$, как от координаты x , так и от радиальных размеров очага деформации, учтем незначительное влияние изменения скорости по соответствующей радиальной координате. Очевидно, в данном случае, пренебрегая производной $\frac{\partial^2 v_{x1,2}}{\partial x^2}$ по сравнению с другими слагаемыми правой части, преобразуем систему дифференциальных уравнений (1). Откуда следует, что рассматриваемую динамическую модель процесса, для характерного двухслойного течения рабочих сред, в кольцевом зазоре сечения очага деформации, можно представить как квазистационарное течение.

В рамках гидродинамической аналогии задачи, для процесса прессования биметаллических труб, имеем адаптированную систему дифференциальных уравнений, в виде преобразований

$$\frac{\partial p_1}{\partial x} = \mu_1 \left(\frac{\partial^2 v_{x1}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_{x1}}{\partial r} \right), \quad \frac{\partial p_2}{\partial x} = \mu_2 \left(\frac{\partial^2 v_{x2}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_{x2}}{\partial r} \right). \quad (3)$$

Решение системы дифференциальных уравнений (3), исходя из гидродинамической аналогии процесса течения металла и биметалла, в силу вышеизложенного, представим, согласно [7, 8], в виде

$$v_{x1}(x, r) = \frac{1}{4\mu_1} \left(\frac{\partial p_1}{\partial x} \right) r^2 + A_1 \ln r + B_1, \quad v_{x2}(x, r) = \frac{1}{4\mu_2} \left(\frac{\partial p_2}{\partial x} \right) r^2 + A_2 \ln r + B_2. \quad (4)$$

Уравнения (4) характеризуют скорости сопряженного гидродинамического течения слоев металла и биметалла, в очаге деформации, в процессе прессования. Кинематические и граничные условия для определения постоянных $A_{1,2}$ и $B_{1,2}$ – есть характерные условия прилипания биметалла и металла к технологическим инструментам. Соответственно, на матрице радиуса $r = a(x)$, и внутренней оправке (игле) радиуса $r = b(x)$, и условия равенства энергосиловых параметров на сопряженных границах контакта слоев будут представлены, в виде

$$v_{x1} = v_{x2} = u(x), \text{ при } r = c(x).$$

Здесь $u(x)$ – скорость движения сопряженных границ биметалла и металла в рассматриваемом сечении x очага деформации, радиус которого равен $c(x)$.

Необходимо отметить, что неизвестными являются как скорость движения границ $u(x)$, так и радиус границы $c(x)$, в рассматриваемом сечении очага деформации, в пределах сопряженных зон, при прессовании биметаллической трубы. Тогда, из системы уравнений (4), с учетом граничных условий задачи для сопряженных зон металла и биметалла, скорости движения слоев в очаге деформации, соответственно, определяются, в виде

$$v_{x1}(x, r) = \frac{1}{4\mu_1} \frac{\partial p_1}{\partial x} (r^2 - b^2) + A_1 \ln \frac{r}{b}; \quad (5)$$

$$v_{x2}(x, r) = \frac{1}{4\mu_2} \frac{\partial p_2}{\partial x} (r^2 - a^2) + A_2 \ln \frac{r}{a}. \quad (6)$$

Следовательно, путем несложных преобразований из системы уравнений (5) и (6), соответственно, находим A_1 и A_2 . С учетом действительных условий процесса прессования, и особенностей двухслойного течения металла и биметалла, на границе раздела сопряженных зон металла и биметалла радиуса $c(x)$, имеем

$$A_1 = \frac{u - \frac{1}{4\mu_1} \cdot \frac{\partial p_1}{\partial x} (c^2 - b^2)}{\ln \frac{c}{b}}; A_2 = \frac{-u - \frac{1}{4\mu_2} \cdot \frac{\partial p_2}{\partial x} (a^2 - c^2)}{\ln \frac{a}{c}}; B_1 = 0; B_2 = 0. \quad (7)$$

Из условия неразрывности потока металла и биметалла находим действительные расходы слоев через поперечные сечения очага деформации. Очевидно, для слоев металла и биметалла, соответственно, на границах их раздела, получим следующее

$$Q_1 = 2\pi \int_b^c v_{x1} r dr = \frac{f_1}{\mu_1} \cdot \frac{\partial p_1}{\partial x} + g_1 u, \quad (8)$$

$$Q_2 = 2\pi \int_b^c v_{x2} r dr = \frac{f_2}{\mu_2} \cdot \frac{\partial p_2}{\partial x} + g_2 u, \quad (9)$$

где

$$f_1 = \frac{\pi}{8} (c^2 - b^2) \frac{c^2 - b^2 - (c^2 + b^2) \ln \frac{c}{b}}{\ln \frac{c}{b}}, \quad f_2 = \frac{\pi}{8} (a^2 - c^2) \frac{a^2 - c^2 - (a^2 + c^2) \ln \frac{a}{c}}{\ln \frac{a}{c}},$$

$$g_1 = \frac{\pi}{\ln \frac{c}{b}} \left[c^2 \ln \frac{c}{b} - \frac{1}{2} (c^2 - b^2) \right], \quad g_2 = \frac{\pi}{\ln \frac{a}{c}} \left[\frac{1}{2} (a^2 - c^2) - c^2 \ln \frac{a}{c} \right].$$

Если скорость движения прессового инструмента (пресс-штемпеля) $\vec{V}_0$ задана и известна толщина биметалла под пресс-штемпелем $(a_1 - c_1)$, то при $x = 0$, величины расходов слоев биметалла и металла Q_1 и Q_2 , соответственно, известны и равны

$$Q_1 = \pi (c_1^2 - b_1^2) v_0, \quad Q_2 = \pi (a_1^2 - c_1^2) v_0. \quad (10)$$

Для определения неизвестных, кинематических $u(x)$, и геометрических $c(x)$, параметров очага деформации воспользуемся динамическими условиями взаимодействия на границе контакта металла со слоем биметалла в очаге деформации. На границе раздела сопряженных зон биметаллического соединения, при некоторых требованиях технических условий об отсутствии скольжения (расслоения), принимаем, что должны быть равны по модулю и противоположны по направлению соответствующие давления и касательные напряжения между слоями металла и биметалла. По предположению того, что наклон образующей границы контакта биметалла и металла к оси прокатки является малым ($c'(x) \ll 1$), то вышеуказанное условие сводится к следующим равенствам

$$p_1 = p_2 \quad \text{при} \quad r(x) = c(x), \quad (11)$$

$$\text{и} \quad \tau_{xr}^1 = \mu_1 \frac{\partial v_{x1}}{\partial r} \Big|_{r=c(x)}, \quad \tau_{xr}^2 = \mu_2 \frac{\partial v_{x2}}{\partial r} \Big|_{r=c(x)} \quad \text{при} \quad r(x) = c(x). \quad (12)$$

Поскольку, в рамках рассматриваемой модели очага деформации, давление, в рассматриваемом сечении x , постоянно как по толщине металла, так и по толщине биметалла, то следует, что давление одинаково по всему поперечному сечению двухслойной среды $p_1(x) = p_2(x) = p(x)$. Очевидно, что это есть необходимое, но недостаточное условие для решения задачи.

Следовательно, из системы уравнений (8) и (9) определяется

скорость границы контакта биметалла и металла $u(x)$ и общий для всего процесса двухслойного течения в очаге деформации градиент давления $\frac{\partial p(x)}{\partial x}$, в виде

$$\frac{\partial p(x)}{\partial x} = \frac{\mu_1 \mu_2}{f_1 f_2} \frac{Q_1 g_2 - Q_2 g_1}{\frac{\mu_2 g_2}{f_2} - \frac{\mu_1 g_1}{f_1}}, \quad (13)$$

$$u(x) = \frac{\frac{\mu_2 Q_2}{f_2} - \frac{\mu_1 Q_1}{f_1}}{\frac{\mu_2 g_2}{f_2} - \frac{\mu_1 g_1}{f_1}}. \quad (14)$$

Необходимые и достаточные условия решения задачи динамики аналогии представлены равенством касательных напряжений на границе контакта сопряженных зон биметалла и металла, по известной гипотезе Ньютона согласно [4, 5, 7], в виде

$$\mu_1 \frac{\partial v_{x1}}{\partial r} \Big|_{r=c(x)} = \mu_2 \frac{\partial v_{x2}}{\partial r} \Big|_{r=c(x)} \quad (15)$$

Используя, соответственно, выражения (5), (6) и, принимая во внимание то, что $p_1(x) = p_2(x) = p(x)$, из уравнения (15) получим соотношение

$$u(x) \left(\frac{\mu_1}{\ln \frac{c}{b}} + \frac{\mu_2}{\ln \frac{a}{c}} \right) = \frac{1}{4} \frac{\partial p(x)}{\partial x} \frac{\left(c^2 - b^2 \right) \ln \frac{a}{c} - \left(a^2 - c^2 \right) \ln \frac{c}{b}}{\ln \frac{c}{b} \ln \frac{a}{c}}. \quad (16)$$

Поскольку $u(x)$ и $\frac{\partial p(x)}{\partial x}$ известны и, соответственно, определяются из (14) и (15) то, уравнение (17) следует рассматривать как уравнение для определения зон раздела, сопряженных границ слоев $r=c(x)$ при соответствующем парном течении биметалла и металла в кольцевом зазоре очаге деформации.

Окончательно преобразуя выражение (16) запишем необходимое уравнение для определения границы раздела биметалла с металлом, в виде

$$\begin{aligned} & \left(\mu_2 Q_2 f_1 - \mu_1 Q_1 f_2 \right) \left(\mu_1 \ln \frac{a}{c} + \mu_2 \ln \frac{c}{b} \right) = \\ & = \frac{1}{4} \mu_1 \mu_2 (Q_1 g_2 - Q_2 g_1) \left[\left(c^2 - b^2 \right) \ln \frac{a}{c} - \left(a^2 - c^2 \right) \ln \frac{c}{b} \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

Из решения уравнения (17), с учетом соответствующих коэффициентов (8) и (9) определяем характер формирования границы слоев металла и биметалла биметаллической трубы в процессе прессования на профильном прессе.

На рис. 4 показан характер изменения энергосиловых (динамические) параметров очага деформации при прессовании биметаллических труб на профильном прессе 16,5 МН.

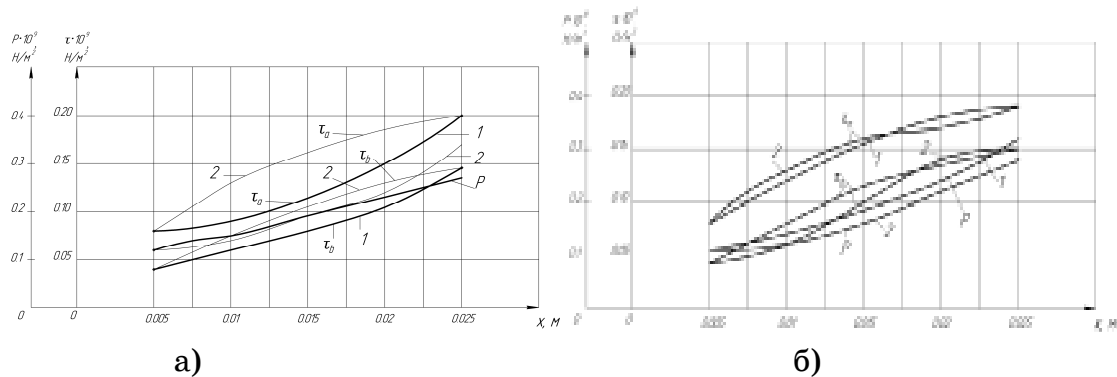


Рисунок 4 - Распределение давления и касательных напряжений на оправке и матрице при прессовании биметаллических труб диаметром 66Ч8,0 (заготовка 135Ч42,5Ч400, сталь 10 +0X18H10T): а) $V_0=0.25$ м/с; 1 – тор, 2 – параболоид; б) $V_0=0.25$ м/с; 1 – конус; 2 – кубический параболоид

Из анализа кривых (рис. 6) видно, что значительный рост динамической составляющей давления металла и касательных напряжений наблюдается по всей длине очага деформации. Особенно необходимо отметить, что распределение давления металла и касательных напряжений на матрице и оправке очага деформации существенно зависит как от формы образующей рабочего участка матрицы, так и соотношения параметров слоев и механических свойств металла и биметалла. Рост касательных напряжений на поверхности иглы (оправки), определенно, выше напряжений на матрице, что указывает на характерные тяжело нагруженные условия функционирования технологических инструментов в процессе прессования биметаллических труб.

Характер распределения контактных касательных напряжений и давления металла в очаге деформации указывает на необходимость рационального выбора параметров слоев биметалла с металлом и их сочетания в исходной заготовке. Кроме всего, на распределение контактных касательных напряжений и давления металла в очаге

деформации существенно влияет форма образующей рабочей поверхности матрицы. Из анализа рассматриваемой модели видно, что процесс прессования биметаллических труб, наиболее эффективно, реализуется на матрице с образующей, выполненной в виде кубической параболы.

Путем математического моделирования процессов прессования представляется определенная возможность для прогнозирования технологии и отработки реальных режимов прессования бесшовных биметаллических труб. Отметим, что моделирование реальных режимов прессования биметаллических труб, по двум, вышеприведенным, наиболее распространенным схемам, позволяет выбрать необходимые исходные параметры биметаллической заготовки, совместимые свойства слоев и рациональную геометрию технологического инструмента для ведения устойчивого процесса прессования.

Кривые, приведенные на рис. 5, указывают на развитие динамических процессов и характер неустойчивости формирования границ слоев на выходе из очага деформации с учетом формы образующей матрицы.

Следовательно, путем моделирования и выбора оптимальных параметров биметаллической заготовки на соответствующем этапе технологического проектирования, достигаются параметры процесса прессования, что, в дальнейшем, обеспечивает существенное повышение качества биметаллических труб. Отметим, что, при этом, одновременно, обеспечивается увеличение эксплуатационной стойкости технологических инструментов (матрицы и оправки), обеспечением рациональных режимов их нагружения.

Экспериментальными исследованиями профильного пресса [2] определено, что усилия прессования биметаллических труб, диаметром 66Ч8,0 из центобежнолитой заготовки сталь 10+сталь 0X18H10T, размерами 135Ч42,5Ч400, и температуре нагрева 980 – 1100 град., в диапазоне изменения параметров конических матриц, с применением стеклосмазки, достигает примерно 8 – 9 МН. Удельное давление в прцессе прессования биметаллических труб изменяется в пределах $420 - 450 \text{ МН} / \text{м}^2$.

Отметим, что полученные результаты указывают на некоторые неточности математической модели процесса прессования

биметаллических труб (ошибка расчетов в пределах 10 – 12 %). Это требует изыскания новых возможностей по совершенствованию существующих и разработке новых эффективных, технологий получения биметаллических труб широкого сортамента, и выдвигает актуальные задачи по уточнению математических моделей процессов и ставит вопросы по рациональному проектированию технологического инструмента. Очевидно, что, при этом, поскольку параметры биметаллических труб фиксированы, в первую очередь, на передний план, выдвигается задача по оптимизации параметров рабочей поверхности матричных колец. Данная задача может быть решена путем минимизации функционала осевого сопротивления процесса прессования.

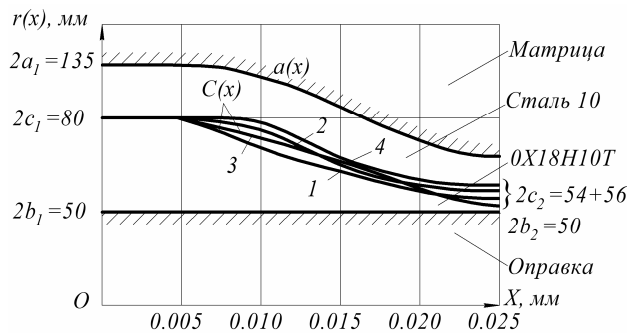


Рисунок 5 - Характер формирования границ слоев в очаге деформации при прессовании биметаллических труб на профильном прессе 31,5 МН использованием матриц с образующими (заготовка 135Ч42,5Ч400, труба 66Ч8,0, сталь 10, $\mu_1 = 3,6 \cdot 10^4 \text{ Нс} / \text{м}^2$ и 0X18H10T, $\mu_2 = 7,2 \cdot 10^4 \text{ Нс} / \text{м}^2$; $V_0 = 0,25 \text{ м/с}$): 1 – сфера, 2 – параболоид; 3 – конус; 4 – кубический параболоид

Выводы

1. Получено решение задачи для случая осесимметричного, двухслойного течения биметалла и металла в кольцевом зазоре очага деформации, образованного матрицей и оправкой, в рамках принятой выбранной расчетной схемы и реологии прессуемого металла

2. Установлены параметры слоев металла и биметалла, характер изменения энергосиловых и динамических параметров очага деформации при прессовании биметаллических труб.

3. Выявлено, что распределение касательных напряжений на матрице и оправке, существенно, зависит как от формы образующей рабочего участка матрицы, так и соотношения параметров слоев

металла и биметалла, и их физико-механических свойств.

4. Математическим моделированием режимов прессования бесшовных биметаллических труб, в рамках динамической модели задачи, представлено прогнозирование процессов и отработка режимов прессования биметаллических труб.

5. Произведена оценка эффективности режимов прессования биметаллических труб, и достоверности полученных результатов наиболее распространенных сочетаний слоев биметалла и металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов Ф.А. Горячая прокатка и прессование труб. /Данилов Ф.А., Глейберг А.З., Балакин В.Г//. – М.: Металлургия, 1972. – 576 с.
2. Чепурко М.И. Биметаллические трубы. / Чепурко М.И., Остренко В.Я., Резников Е.А. Буйновский А.М. Дидык Р.П. //– М.: Металлургия, 1974. – 224 с.
3. Борисов С.И. Аналитический метод определения усилия при прессовании стальных труб. / Борисов С.И., Притоманов А.Е.// – В кн. Инженерные методы расчета технологических процессов обработки металлов давлением. М.: Металлургиздат. 1964. С.350 – 355.
4. Гуляев Ю.Г. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. /Гуляев Ю.Г., Чукмасов С.А., Губинский А.В.// – Киев. Наукова думка. 1986. – 240 с.
5. Колмогоров Г.Л. Вопросы гидродинамической смазки при прессовании материалов жидкостью высокого давления. / Колмогоров Г. Л., Мельников Т. Е// – Физика и техника высоких давлений. 1981, №3. С. 91 – 96.
6. Грудев А.П. Трения и смазки при обработке металлов давлением. / Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т.//Справочник. – М.: Металлургия, 1982. – 312 с.
7. Kanjaidu V.B. Hydrodynamic Model of Hydrodynamic Extrusion. – Ibid. – 1966, 5, №2. P.171–174.
8. Полухин П.И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. /Полухин П. И., Гун Г.Я., Галкин А.М.//: Справочник. – 2-е изд. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.

УДК 004.89

Н.Г. Аксак, С.А. Коргут

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ РАБОТ МЕЖДУ АГЕНТАМИ В МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ

Аннотация. В работе рассматривается концепция построения мультиагентной системы (МАС) поиска знаний в Интернет. Сделан обзор существующих направлений построения МАС. Предложена обобщенная модель мультиагентной системы, определены ее состав и функции агентов при решении задачи пополнения знаний адаптивных информационных систем. Решена задача распределения объемов работ между агентами в МАС извлечения знаний из неструктурированных источников для адаптивных веб-ресурсов.

Ключевые слова. Мультиагентная система, знания, агент, веб-ресурс.

Введение

Современное развитие информационных технологий сопровождается созданием и наполнением разрозненных информационных источников и хранилищ, которые характеризуются различными способами представления информации и охватывают интересы большого неоднородного коллектива пользователей. Автоматизация процесса извлечения знаний из больших объемов информации является одним из приоритетных направлений развития искусственного интеллекта и активно применяется при разработке систем, основанных на знаниях, которые активно применяются в научных исследованиях, бизнесе, обучении. Возникновение сетевых технологий и сети Интернет способствует использованию этих ресурсов в качестве источников получения знаний. Однако, кроме положительных сторон, процесс получения знаний сопровождается рядом проблем, связанных с увеличением объема избыточной информации вследствие многократного дублирования, слабой структурированностью информации, представлением ее на естественном языке. Призванная решить эти проблемы концепция семантического Web в настоящее время находится на стадии развития и основная масса информационных ресурсов, накопленных в Web первого поколения, продолжает оставаться в виде, не приспособленном для поиска знаний. В связи с этим к процессу

© Аксак Н.Г., Коргут С.А., 2010

извлечения знаний предъявляется ряд требований: высокая скорость обработки больших объемов данных; гибкость относительно постоянно меняющего окружения; масштабируемость; адаптируемость к типам информационных ресурсов и их содержимому; работа с неструктурированными естественными языковыми источниками.

Для решения проблем извлечения знаний из распределенных источников информации в настоящее время применяются технологии мультиагентных систем [1], [2] вследствие ряда преимуществ по сравнению с другими способами организации распределенных вычислений: уменьшение нагрузки на сеть; автономное и асинхронное выполнение вычислений; адаптация к условиям выполнения и т.д.

Концепция построения МАС поиска знаний в распределенных неструктурированных информационных источниках рассматривается в [3]. В работе предложен состав, определены функции и взаимодействия коллективов агентов при решении задачи пополнения знаний интеллектуальных многопредметных обучающих систем. Предложенные типы агентов и многоагентная организация средств автоматизации создания и пополнения баз знаний экспертных обучающих и тестирующих систем реализуется в проекте интеллектуальной обучающей среды для цикла дисциплин направления подготовки студентов «Компьютерные науки».

Авторы работы [4] рассматривают подход к построению МАС для поиска информации в распределенной информационной среде. Предложен состав, определены функции и взаимодействия агентов при решении данной задачи. Авторы подчеркивают перспективность агентных технологий как области исследования - построение рассматриваемой системы поможет автоматизировать и интеллектуализировать обработку информации и, как следствие, ускорить и улучшить эту обработку.

В работе [5] рассмотрена методика создания обучающегося поискового агента (LR-agent), работающего со знаниями в семантической сети (ASN). В основе алгоритма обучения LR-агента лежит принцип «усиливающегося обучения» («Reinforcement Learning»). Основной проблемой создания подобного агента авторы видят проблему адаптации к пользовательскому пониманию работы

поиска в семантической сети - его индивидуальной части в каждом запросе поиска. В качестве решения предложено использование моделей запроса, в которых характеристики пользователя определяют интерпретацию каждого запроса. Преимуществом такого подхода авторы считают возможность создания гибкого поискового метода, в котором пользователь взаимодействует с агентом в процессе поиска, тем самым повышая качество результата.

При разработке архитектуры многоагентной системы в [2] различают архитектуру, поддерживающую методы взаимодействия агентов в процессе функционирования системы в целом, и архитектуру отдельного агента. Архитектура взаимодействия системы агентов обеспечивает скоординированное поведение агентов: одноуровневая архитектура взаимодействия агентов (решение общей задачи в распределенном варианте) и иерархическая архитектура взаимодействия агентов (координация функционирования агентов осуществляется специальным агентом).

Взаимодействие агентов осуществляется на основе протоколов. Протоколы описывают сценарии выполнения отдельных функций различными агентами в распределенном алгоритме решения задач. Протоколы описываются в терминах ролей, назначенных агентам. Получение агентом сообщения от одного или от нескольких агентов инициирует выполнение им некоторой функции. Сценарий обмена сообщениями задает общую модель выполнения распределенного алгоритма, исполняемого коллективом агентов.

Таким образом, формальные модели МАС, полученные в различных предметных областях, находят недостаточно полное отражение. Существующие трудности учета предметной специфики затрудняют решение задачи адаптивности информационных систем.

Постановка задачи

Распределить объем работ между агентами в мультиагентной системе извлечения знаний из неструктурированных источников для адаптивных веб-ресурсов.

Для решения поставленной задачи необходимо:

1. Проанализировать концепцию построения МАС поиска знаний в Интернет.
2. Определить состав МАС и функции агентов.

Решение задачи

Концепция построения МАС. Будем считать адаптивным интернет-ресурсом распределенную двухзвенную клиент-серверную информационную систему, предназначенную для своевременного обеспечения пользователей актуальной информацией, приспособляющуюся к изменяющимся условиям окружения за счет автоматического изменения параметров системы.

Выделим характеристики агентов в рамках решения задачи извлечения знаний из неструктурированных источников:

- 1) единство цели (предоставление пользователям актуальной информации, своевременность информирования пользователей);
- 2) совместная деятельность (поиск документов, извлечение знаний, пополнение/обновление базы знаний системы);
- 3) автономность деятельности (поиск новых документов, автоматическое изменение базы знаний, предоставляемой пользователю информации, уведомления об изменениях);
- 4) специализация.

Для МАС выделяют два временных этапа существования – этап ее формирования и этап функционирования. Формирование МАС подразделяется на формирование функций МАС и их адаптацию, после чего наступает этап функционирования (рис. 1).



Рисунок 1 - Этапы существования МАС

Исходя из этого, для построения МАС адаптивной информационной системы выберем аппарат оптимизации для решения задач формирования состава МАС, распределения ролей и объемов работ агентов. Такая модель будет учитывать следующие свойства МАС: единство цели, совместная деятельность и специализация.

Обобщенная модель МАС. На рисунке 2 показано взаимодействие коллективов агентов поиска и извлечения знаний. Принятые обозначения: ИРИ – информационные ресурсы Интернета, КД ПО – коллекции документов предметных областей, БЗ ПО – базы знаний предметных областей.

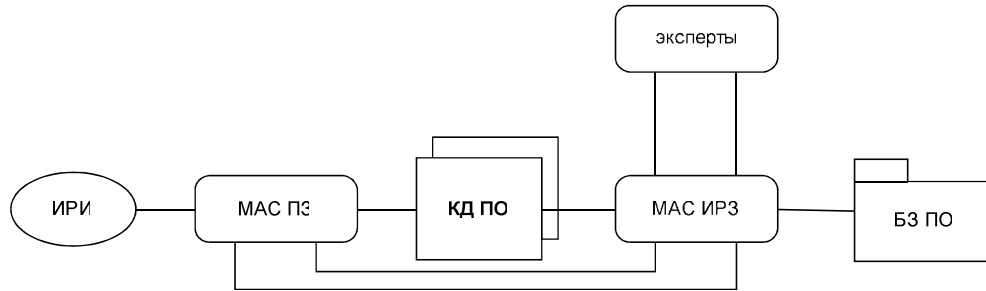


Рисунок 2 - Структурная схема МАС поиска знаний в Интернет

Определим такие компоненты модели МАС поиска знаний в Интернет как состав МАС и состояния агентов.

1. Состав МАС. Процесс получения знаний из Интернет [3], [6] обеспечивается двумя коллективами агентов – мультиагентной системой поиска информации (МАС ПЗ), содержащей знания в распределенных удаленных источниках и мультиагентной системой извлечения и редактирования знаний (МАС ИРЗ) из коллекций документов по предметным областям

$$M = \langle \text{МАС}, S, O \rangle,$$

$$\text{МАС} = \text{МАС_ПЗ} \cap \text{МАС_ИРЗ}.$$

Мультиагентную систему M представим в виде множества из трех элементов: агенты $\{r_{mn_m}\} (m = \overline{1, k+j})$ окружение V , связи C между агентами и окружением

$$\text{МАС_ПЗ} = \langle \{r_k\}_{k \in N}, V, C \rangle,$$

$$r_k = \{r_{k1}, r_{k2}, \dots, r_{kn_k}\},$$

$$\text{МАС_ИРЗ} = \langle \{r_j\}_{j \in N}, V, C \rangle,$$

$$r_j = \{r_{j1}, r_{j2}, \dots, r_{jn_j}\}.$$

где n_k - количество агентов в k -ом подмножестве МАС ПЗ, n_j - количество агентов в j -ом подмножестве МАС ИРЗ.

МАС ПЗ состоит из k групп агентов, например ($k = 6$): множество $r_1 = \{r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1n_1}\}$ агентов-менеджеров поисковых агентов, множество r_2 агентов поисковых систем, множество r_3 агентов проверки существования документов, множество r_4 агентов ранжирования документов, множество r_5 агентов получения документов, множество r_6 агентов-менеджеров коллекции документов предметных областей.

МАС ИРЗ состоит из j групп агентов ($j=3$): агенты экспертов предметных областей r_7 , агенты работы с локальными знаниями r_8 , агенты работы с удаленными знаниями r_9 (рис. 3).

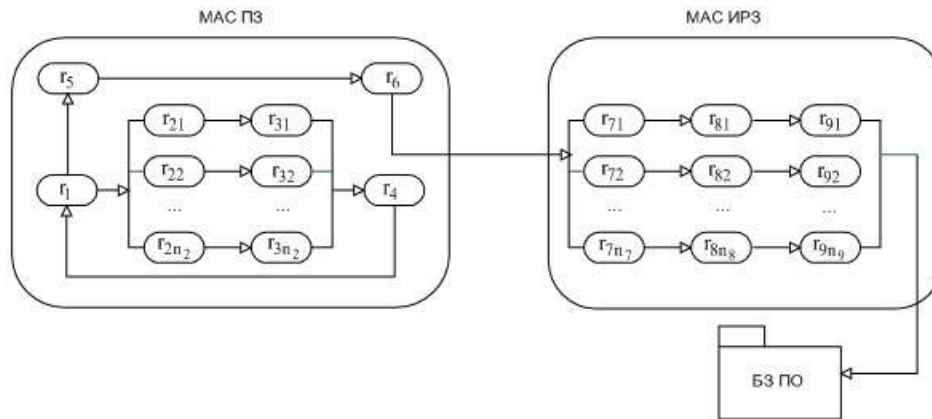


Рисунок 3 - Схема взаимодействия агентов ПЗ и ИРЗ при поиске знаний

Таким образом, состав МАС фиксирован и представляет собой множество неоднородных (по функциям, то есть выполняющих различные функции) агентов $N = \sum n_m$, известен суммарный объем работ $R \geq 0$, который требуется выполнить, и заданы типы агентов $\{r_{mn_m}\} (m = \overline{1, k+j})$.

2. Состояния агентов включают выполняемые ими функции F и объемы работ R

$$S = \langle F, R \rangle.$$

2.1. Функции агентов. Агент r_1 (Рис.3.) получает запросы на поиск документов по тематике предметных областей и выдает задания агентам поисковых систем r_2 в форме запросов на поиск, использующие поисковые системы тематических коллекций документов по предметным областям и многоцелевые поисковые. Агенты проверки существования документов r_3 устанавливают актуальность ссылок, выданных поисковыми агентами. Агенты ранжирования документов r_4 исключают повторяющиеся ссылки и упорядочивают по степени релевантности ссылки на все документы, найденные используемыми поисковыми системами. Менеджер поисковых агентов r_1 на основе ранжированного списка ссылок формирует задания агентам получения документов r_5 . Агенты работы

с локальными знаниями r_7 реализуют процедуры наполнения и корректировки баз знаний тематического веб-портала в процессе диалога с агентами экспертов r_8 ; агенты работы с удаленными знаниями r_9 в свою очередь реализуют алгоритмы автоматического извлечения знаний из коллекций документов по предметным областям.

2.2. Задача распределения объемов работ. Для того, чтобы формировать состав МАС, нужно знать, какие функции будет выполнять тот или иной агент, включаемый в МАС; а для оптимального распределения функций нужно знать, какой объем работ целесообразно выполнять данному агенту в рамках той или иной функции (Рис. 4). В данной работе сделаем акцент на задаче распределения объемов работ.

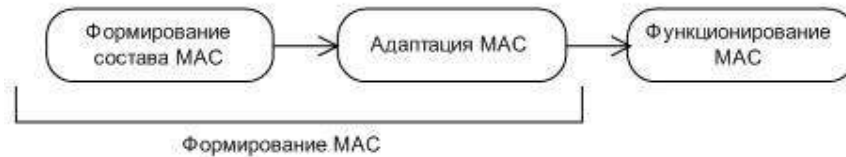


Рисунок 4 - Взаимосвязь задач формирования состава МАС ПЗ, распределения функций и распределения объемов работ

Для распределения объемов работ между агентами, обозначим объем работ, который может выполнить любой агент МАС, как $d_i (i = \overline{1, N})$, а объем работ, выполняемый конкретным агентом, как x_{mn_m} . Таким образом получим непрерывную задачу минимизации суммарных затрат агентов

$$\sum_{i=1}^{n_1} r_{1i}(t) x_{1i}(t) + \sum_{i=1}^{n_2} r_{2i}(t) x_{2i}(t) + \dots + \sum_{i=1}^{n_m} r_{mi}(t) x_{mi}(t) \rightarrow \min x_{mi}(t) \in [0; d_i(t)]$$

Выводы

В работе исследованы существующие подходы к построению МАС поиска знаний в Интернет. Предложена обобщенная модель МАС поиска знаний в Интернет, позволяющая адаптировать информационные системы с учетом предметной области.

Решена задача распределения объемов работ между агентами в МАС извлечения знаний из неструктурированных источников для адаптивных веб-ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Принципы построения систем для быстрой интеграции знаний из распределенных источников / Левашова Т.В., Пашкин М.П., Смирнов А.В., Шилов Н.Г. // Труды Международного конгресса «Искусственный интеллект в XXI веке». – Дивноморское (Россия), 2001. – Т. 1. – С. 105-119.
2. Ланин В.В. Интеллектуальное управление документами как основа технологии создания адаптируемых информационных систем / В.В. Ланин // Труды Международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы» (AIS'07). – М. : Физматлит, 2007. – Т. 2. – С. 334-339.
3. Агентно-ориентированная система извлечения знаний из распределенных источников информации / И.С. Грунский, А.С. Вороной // Искусственный интеллект 3'2009. – С.336-339.
4. Некоторые аспекты организации и реализации мультиагентной системы поиска информации в распределенной информационной среде [Электронный ресурс] / Р. М. Алгулиев, М. Ш. Гаджирагимова // Институт информационных технологий НАНА, Баку, Азербайджан. — Режим доступа: [www/ URL: www.science.az/cyber/pci2006/3/!3r26-aliquliyev-hajirahimova.doc/](http://www.science.az/cyber/pci2006/3/!3r26-aliquliyev-hajirahimova.doc/) — 2004 г.
5. A Learning Agent for Knowledge Extraction from an Active Semantic Network / Simon Thiel, Stavros Dalakakis, and Dieter Roller // World Academy of Science, Engineering and Technology 7 2005. – P.217-219.
6. Ferber J., Muller J.P. Influences and reactions: a model of situated mul-tiagent systems // Proceedings of the 2nd International Conference on Multi-Agent Systems (ISMAC-96). – Menlo Park: IEEE Computer Society Press, 1996. – P.72-79.

УДК 62-50

П.І. Бідюк, Я.І. Баклан

ЗАСТОСУВАННЯ БАЙЄСОВИХ МЕРЕЖ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ

Анотація. Байєсові мережі – потужний інструмент ймовірнісного представлення даних, прогнозування і класифікації відповідних процесів. Саме тому їх використанню для розв'язання задачі класифікації приділено багато уваги. Проте при використанні стандартних методик навчання Байєсових мереж, точність класифікації виявляється занадто низькою. Це пояснюється невідповідністю цільової функції навчання меті класифікації – максимізувати точність розпізнавання. В даній роботі запропоновано функцію (міру) оцінки, яка необхідна для навчання Байєсових мереж, тобто для мінімізації похибки класифікації. Ключові слова: Байєсові мережі (БМ), розпізнавання образів, класифікація, міра мінімальної довжини опису (MDL).

Вступ

Ймовірнісні або Байєсові мережі можуть бути побудовані з бази даних екземплярів шляхом обрання мережевої структури найкращої якості відповідно до обраної міри. Поняття Байєсових мереж, логічного висновку та мережевих структур докладно розглянуто в [1]. Задачу знаходження оптимальної мережевої структури і всіх перехідних умовних і безумовних ймовірностей по заданій базі даних будемо називати задачею структурно-параметричного навчання Байєсових мереж.

Для пошуку оптимальних мережевих структур запропоновано використання міри мінімальної довжини опису (Minimum Description Length – MDL) [2, 3, 4] і міри Байєса [2], принцип максимальної умовної правдоподібності [5], а також запропоновано алгоритм евристичного пошуку K2 і K3 із використанням зазначених мір, відповідно. Проте вказані міри не відповідають розв'язанню задачі класифікації, тобто мінімізації похибки розпізнавання.

Постановка задачі: запропонувати міру оцінки структури мережі, що може бути використана у алгоритмі евристичного пошуку для навчання Байєсової мережі із найменшою похибкою класифікації з використанням експериментальних (статистичних) даних.

1 Початкові відомості

Нехай U – це набір дискретних змінних $\{X_1, \dots, X_n\}$, $n \geq 1$. Кожна змінна $x_i \in U$ може приймати значення з множини $\{x_{i1}, \dots, x_{ir_i}\}$, $r_i > 1, i = 1, \dots, n$.

Байєсова (ймовірнісна) мережа (БМ) B на множині U – це пари $B = (B_S, B_P)$, де *мережева структура B_S* – це спрямований ациклічний граф (САГ) з вершинами для кожної змінної в U ; B_P – множина таблиць умовних ймовірностей, зв'язаних із B_S . Для кожної змінної $X_i \in U$ множина B_P містить таблицю умовних ймовірностей $P(X_i | \pi_i)$, що перелічує імовірності для всіх значень X_i при усіх даних комбінаціях значень змінних у його батьківській множині π_i в мережевій структурі B_S ; згодом, такі комбінації значень будуть називатися *реалізацією*. Мережа B представляє спільний розподіл ймовірностей $P(U)$, що визначається за допомогою

$$P(U) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \pi_i). \quad (1)$$

2 Логічний висновок в БМ

Математичний апарат БМ дозволяє ставити «запитання» стосовно ймовірнісного розподілу значень однієї множини вершин відносно іншої. Нехай $U_1 = \{X_{i_1}, \dots, X_{i_m}\} \in U$ – множина вершин, значення котрих невідомо, але його потрібно оцінити. Нехай $U_2 = \{X_{i_2}, \dots, X_{i_k}\} \in U$, $U_1 \cap U_2 = \emptyset$ – множина вершин, що приймають наступні значення: $X_{i_2} = y_1, \dots, X_{i_k} = y_k$. Тоді, розподіл умовної ймовірності вигляду $P(X_{i_1}, \dots, X_{i_m} / X_{i_2} = y_1, \dots, X_{i_k} = y_k)$ будемо називати логічним висновком в БМ. Розв'язку задачі формування логічного висновку присвячено багато досліджень, тому не будемо в даній роботі приділяти увагу цій темі.

3 Застосування БМ для задачі класифікації

Нехай $O_1, \dots, O_m$ – набір об'єктів, що мають набір спільних ознак $\{X_1, \dots, X_n\}$, які можна спостерігати. Кожній ознаці X_i ставимо у відповідність вершину в БМ і додаємо нову вершину X_0 , що приймає значення $\{o_1, \dots, o_m\}$ і відповідає за класифікацію об'єктів $O_1, \dots, O_m$. Побудована на вершинах $\{X_0, X_1, \dots, X_n\}$ БМ здатна вирішувати задачу

класифікації наступним чином. Нехай $\vec{y}$ є вектор спостережень ознак $\vec{y} = \{y_1, \dots, y_n\}$. Тоді класифікація вектора $\vec{y}$, тобто встановлення об'єкта o_s , котрому він належить, зводиться до формування логічного висновку наступного вигляду:

$$o_s = \arg \max_i P(X_0 = o_i / X_1 = y_1, \dots, X_n = y_n). \quad (2)$$

Таким чином знаходиться об'єкт o_s , котрому найбільш ймовірно належить вектор $\vec{y}$. На рис. 1 схематично представлено процес класифікації.

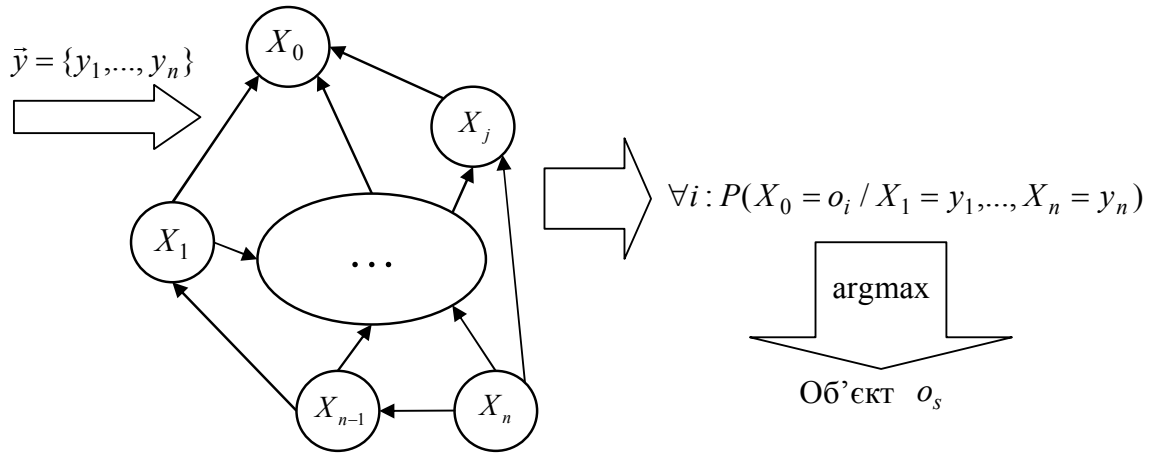


Рисунок 1 - Схематичне представлення процесу класифікації із використанням БМ

4 Навчання БМ

Нехай для кожного об'єкта $O_i \in N_i$ векторів спостережень вигляду $\vec{y}^{(s,t)} = \{y_1^{(s,t)}, \dots, y_n^{(s,t)}\}$, $t=1, \dots, N_i$. Сформуємо множину D як об'єднання цих векторів, що має наступний вигляд:

$$D = (x_j^{(l)}) = \begin{pmatrix} x_0^{N_1+\dots+N_{i-1}+1} = o_i & \dots & x_0^{N_1+\dots+N_i} = o_i \\ \dots & x_1^{N_1+\dots+N_{i-1}+1} = y_1^{(i,1)} & \dots & x_1^{N_1+\dots+N_i} = y_1^{(i,N_i)} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n^{N_1+\dots+N_{i-1}+1} = y_n^{(i,1)} & \dots & x_n^{N_1+\dots+N_i} = y_n^{(i,N_i)} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де $N = \sum_{i=1}^m N_i$ - загальна кількість векторів в D . Таким чином, множина D містить певну історію реалізацій значень вершин для кожного об'єкта.

Отже, задачею навчання БМ, за умови, що задано навчальну множину D , є знаходження мережевої структури B_S , а також усіх

таблиць умовних ймовірностей B_p для кожної вершини X_i . Для цього необхідно задати міру оцінки $L(B_S, D)$.

Відомі міри оцінки міра Байєса і MDL (від minimum description length). Нехай для кожної змінної X_i π_i буде множина батьків X_i в B_S . Крім того, для кожної π_i нехай ϖ_{ij} позначає j -ту реалізацію π_i відносно D , $j=1, \dots, q_i, q_i \geq 0$. Нехай N_{ijk} буде кількість екземплярів у базі даних D , у якій змінна X_i має значення x_{ik} , і π_i реалізується як ϖ_{ij} . Нехай $N_{ij} = \sum_{k=1}^{r_i} N_{ijk}$. Тепер визначимо міру Байєса:

$$L_B(B_S, D) = P(B_S) \cdot \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^{q_i} \frac{(r_i - 1)!}{(N_{ij} + r_i - 1)!} \cdot \prod_{k=1}^{r_i} N_{ijk}! \quad (4)$$

У правій частині формули член $P(B_S)$ означає апіорну імовірність мережевої структури. Найчастіше розподіл $P(B_S)$ вважають рівномірним, в такому випадку його можна опустити. Міра Байєса може бути розцінена як міра якості мережевої структури B_S на D .

Нехай q_i – кількість усіх можливих реалізацій батьківської множини X_i (на відміну від попереднього визначення, де q_i визначалось як кількість усіх спостерігаємих на D реалізацій). Тепер визначимо міру MDL:

$$L_{MDL}(B_S, D) = N \cdot H(B_S, D) + \frac{1}{2} K \cdot \log N, \quad (5)$$

$$\text{де } K = \sum_{i=1}^n q_i \cdot (r_i - 1) \text{ та } H(B_S, D) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{q_i} \sum_{k=1}^{r_i} \frac{N_{ijk}}{N} \log \frac{N_{ijk}}{N_{ij}}.$$

Коефіцієнт K – це число (незалежних) ймовірностей, які слід підраховувати з бази даних D для обчислення таблиць імовірності B_p для мережевої структури B_S , а $N \cdot H(B_S, D)$, представляє умовну ентропію мережної структури B_S . Таким чином, використовуючи задану міру $L(B_S, D)$ та процедуру евристичного пошуку розв'язується задача навчання БМ.

5 Міра MRE

Якщо вектор $\vec{y}^{(k)} = \{y_1^{(k)}, \dots, y_n^{(k)}\}$, $k = 1, \dots, N$ справді належить об'єкту O_s , то це означає, що в ідеальному випадку ймовірність належності вектора $\vec{y}^{(k)}$ об'єкту O_s становить 1, а решті об'єктів – 0. Таким чином маємо похибку класифікації вектора $\vec{y}^{(k)}$:

$$\varepsilon^{(k)} = 1 - P(X_0 = o_s / X_1 = y_1^{(k)}, \dots, X_n = y_n^{(k)}). \quad (6)$$

Отже, при навчанні БМ для розв'язку задачі класифікації необхідно мінімізувати сумарну похибку розпізнавання векторів $\vec{y}^{(k)} = \{y_1^{(k)}, \dots, y_n^{(k)}\}$, $k = 1, \dots, N$:

$$\sum_{k=1}^m \varepsilon^{(k)} \rightarrow \min. \quad (7)$$

Як вже відзначалося, ні міра Байєса, ні міра MDL сумарну похибку не мінімізують. Тому, введемо міру MRE (від minimum recognition error):

$$L_{MRE}(B_s, D) = \frac{1}{2} K \cdot \log N + N \cdot H_{\text{Rec}}(B_s, D), \quad (8)$$

де доданок K визначено в (5), а

$$H_{\text{Rec}}(B_s, D) = \sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} P(X_0 = x_0^{(j)} / X_1 = x_1^{(j)}, \dots, X_n = x_n^{(j)}) \right) \times \times \log \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} P(X_0 = x_0^{(j)} / X_1 = x_1^{(j)}, \dots, X_n = x_n^{(j)}) \right) = \sum_{j=1}^N \left(1 - \frac{1}{2} \varepsilon^{(j)} \right) \log \left(1 - \frac{1}{2} \varepsilon^{(j)} \right) \quad (9)$$

тут значення $x_i^{(j)}$ визначені в (3). Таким чином, якщо при класифікації вектора $\vec{y}^{(k)}$, що справді належить об'єкту O_s , отримуємо $P(X_0 = o_s / X_1 = y_1^{(k)}, \dots, X_n = y_n^{(k)}) \rightarrow 1$, то це автоматично приводить до $\left(1 - \frac{1}{2} \varepsilon^{(j)} \right) \log \left(1 - \frac{1}{2} \varepsilon^{(j)} \right) \rightarrow 0$ і виконання (7). Також навпаки, якщо $P(X_0 = o_s / X_1 = y_1^{(k)}, \dots, X_n = y_n^{(k)}) \rightarrow 0$, то це приводить до $\left(1 - \frac{1}{2} \varepsilon^{(j)} \right) \log \left(1 - \frac{1}{2} \varepsilon^{(j)} \right) \rightarrow 1$, що збільшує $H_{\text{Rec}}(B_s, D)$. Тому використання міри MRE справді зменшує похибку розпізнавання (7). Також відзначимо, що міра MRE містить доданок $\frac{1}{2} K \cdot \log N$, запозичений у міри MDL, що накладає штраф на розмір мережі. Використання цього доданку є обов'язковим, тому що при

застосуванні алгоритму евристичного пошуку виникає тенденція до збільшення батьківської множини однієї вершини.

6 Висновки

В роботі запропоновано підхід до побудови класифікаторів на основі Байєсових мереж із використанням оригінальної міри MRE, що забезпечує мінімізацію похибки розпізнавання. Експериментальне застосування описаного підходу підтвердило можливість досягнення значно вищої якості отриманих класифікаторів у порівнянні із тими, що були побудовані на основі відомих мір і принципів, зокрема на мірі Байєса, мірі MDL і принципі максимізації умовної правдоподібності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Терехов С. А. Введение в Байесовы сети. Москва, 2003. – 42 с.
2. Bouckaert R. R. Probabilistic Network Construction Using Minimum Description Length Principle. Technical report, Utrecht University, 1994. – 26 с.
3. Zheng Yun, Kwoh Chee Keong. Improved MDL Score for Learning of Bayesian Networks, 2001. – 12 с.
4. GrDunwald P. A Tutorial Introduction to the Minimum Description Length Principle, 2004. – 80 с.
5. Daniel Grossman, Pedro Domingos. Learning Bayesian Network Classifiers by Maximizing Conditional Likelihood, 2004. – 8 с.
6. Jie Cheng, Russell Greiner. Learning Bayesian Belief Network Classifiers: Algorithms and System. – 10 с.
7. Paul Helman, Robert Veroff, Susan R. Atlas, and Cheryl Willman. A Bayesian Network Classification Methodology for Gene Expression Data. – 29 с.

УДК 528.71

В.В. Гнатушенко, Н.Ю. Калініна, М.Ю. Мирошніченко
**ВИДІЛЕННЯ СТРУКТУРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЕКЦІЙНИХ
ЗОБРАЖЕНЬ**

Анотація. У роботі пропонується підхід до вирішення проблеми побудови процедур аналізу зображень на основі використання ентропійних критеріїв. Потреба використання таких процедур обумовлена необхідністю одночасного виявлення й компактного опису структурних особливостей багатовимірних даних, що описують об'єкти розпізнавання.

Ключові слова: структура зображення, ентропія, розпізнавання.

Постановка проблеми.

Сучасний розвиток технологій автоматичної обробки візуальної інформації обумовлює їх широке використання в медицині, аналізі структури металів, цифровій фотограмметрії і т.д. Більшість з них засновано на використанні структурного опису проекційних зображень та їх складових. У цей час відповідні методи значно розвинені стосовно до одновимірних даних, активно розвиваються в області двовимірних даних (зображень) і починають поширюватися в область багатовимірних даних (наприклад, кольорових зображень) [1, 2]. На відміну від більшості класичних завдань автоматичного аналізу зображень у промисловій робототехніці, медицині, охоронних системах і т.п. фотограмметричні (зокрема, аерокосмічні) відеодані характеризуються значно більшою апріорною невизначеністю. Ця невизначеність пов'язана зі зміною освітлення, ракурсу зйомки, сезонними та добовими змінами спостережуваних об'єктів, специфічними відмінностями проекційних зображень, сформованих різними типами відеодатчиків.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Групою методів, що дозволяють використовувати змістовну ідентичність зображень і долати зазначену апріорну невизначеність, є структурні методи аналізу [3, 4]. На даний час запропоновано багато мір подібності між зображеннями однієї сцени, але майже усі вони засновані на інтенсивностях пікселів та припускають наявність шуму лише для нормального (гаусівського) розподілу.

© Гнатушенко В.В., Калініна Н.Ю., Мирошніченко М.Ю., 2010

Одним з відомих підходів до оцінки структури (якості) зображень є ентропійний підхід [2], який полягає в побудові гістограми значень $X(i)$ із використанням інтервалу значень Δx . Ймовірність того, що дане значення належить k інтервалу дорівнює $p_k = m_k / N$, де N – об'єм вибірки. Для цього випадку оцінка ентропії записується як

$$H_s(X) = - \sum_{k=1}^M p_k \ln(p_k), \quad (1)$$

де M — число інтервалів.

Однак класична ентропія має ряд властивостей, що перешкоджають її ефективному застосуванню в завданнях, пов'язаних з аналізом структури зображень, тому використовуються також інші функції ентропії. Основними з них є [5]:

1. Ентропія Burg: $H_b(X) = - \sum_{\text{пксели}} \ln(X)$;
2. Ентропія Frieden: $H_f(X) = - \sum_{\text{пксели}} X \ln(X)$;
3. Ентропія Gull and Skilling: $H_g(X) = \sum_{\text{пксели}} X - M - X \ln(X | M)$.

Формулювання цілей статті (постановка завдання).

На жаль, всі вдосконалені ентропійні функції уведені формально й мають ряд недоліків, що знижують їхню практичну корисність. Всі вони досягають максимуму, коли сигнал постійний. Якщо сигнал має багато особливостей через шум, то він формально має більшу кількість інформації. Крім того, ці міри не враховують складність структури даних. Стандартні оцінки ентропії мало пристосовані для оцінки кількості інформації в структурованих цифрових даних. Причиною цього є те, що в структурованому зображенні, як правило, виділяються як мінімум дві підмножини, які умовно назвемо об'єктом і фоном. Здатність відокремлювати об'єкт від фону в досить складних випадках є результатом семантичної сегментації, що властива зоровій системі людини. Тому для розробки практично корисних методів виділення структурних особливостей цифрових зображень необхідне введення нових критеріїв.

Основна частина.

Позначимо через X матрицю з додатковими елементами $X \in \mathbb{R}_+^{n \times m} = \{X = (x_{ij}) | x_{ij} > 0, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}\}$, що має n рядків и m стовпців, і нехай $\mathbf{p} \in \Delta_n = \{\mathbf{p} = (p_1, p_2, \dots, p_n)^T | \sum_{i=1}^n p_i = 1, p_i > 0, \forall i = \overline{1, n}\}$. Тоді для кожної матриці $X \in \mathbb{R}_+^{n \times m}$ можна визначити функцію

$$H(\mathbf{p}, X) = \ln(\sqrt{\mathbf{p}^T} X \cdot X^{-T} \sqrt{\mathbf{p}}) - \ln m \quad (2)$$

де X^{-T} — транспонована матриця, елементами якої є зворотні значення елементів матриці X . Якщо X — елементи деякої функції, упорядковані певним чином, то про $H(\mathbf{p}, X)$ будемо говорити як про деякий функціонал, певний на класі матриць $X \in \mathbb{R}_+^{n \times m}$. Можна показати, що функція $H(\mathbf{p})$ має всі основні властивості ентропії [2]. Компоненти p_i^* вектора $\mathbf{p}^*$ несуть інформацію про структурні відмінності значень елементів рядків матриці й мають цікаві властивості: їхні більші значення вказують на деструктивні рядки, тобто рядки, що істотно відрізняються за структурою значень своїх елементів від типових рядків. Оскільки ентропія є логарифмом суми відношень середніх арифметичних і середньої гармонійної величин,

$$H(\mathbf{p}, X) = \ln(\sqrt{\mathbf{p}^T} X \cdot X^{-T} \sqrt{\mathbf{p}}) - \ln m = \ln\left(\sum_{j=1}^m \sqrt{\mathbf{p}^T} X_j \cdot X_j^{-T} \sqrt{\mathbf{p}}\right) - \ln m, \quad (3)$$

то її значення можна трактувати як міру розходження елементів матриці X . Дуже часто при вирішенні прикладних завдань аналізу зображень виникає необхідність їхньої градації по яскравостям (наприклад, при сегментації). Розглянемо бінаризацію зображень як окремий випадок градації яскравостей пікселів, коли вся сукупність елементів матриці зображення розбивається на дві групи. Тоді $H(\mathbf{p}, X) = H(\mathbf{p}, X \cdot D(\mathbf{q}))$ для будь-якої діагональної матриці $D(\mathbf{q})$ з вектором $\mathbf{q} \in \mathbb{R}_+^m$ на головній діагоналі. Для визначеності виберемо одну градацію елементів стовпців матриці X рівній одиниці, а другу — нулю. Тоді можна перейти до ентропії бінарної матриці $H_{\text{bin}}(\mathbf{p})$:

$$H_{\text{bin}}(\mathbf{p}) = \sqrt{\mathbf{p}^T} X \cdot (E - X)^T \sqrt{\mathbf{p}} \quad (4)$$

Після заміни змінних $\mathbf{u} = \sqrt{\mathbf{p}}$ від виразу (4) можна перейти до квадратичної форми

$$H_{\text{bin}}(\mathbf{u}) = \mathbf{u}^T \cdot X \cdot (E - X)^T \cdot \mathbf{u} = 0,5 \cdot \mathbf{u}^T \cdot (X \cdot (E - X)^T + (E - X) \cdot X^T) \cdot \mathbf{u} = \mathbf{u}^T Q \mathbf{u} \quad (5)$$

де матриця $Q = X \cdot (E - X)^T$ і виконується умова $\mathbf{u}^T \cdot \mathbf{u} = 1$.

Найважливішу роль у вирішенні задач обробки багатовимірних даних пропонуванням методом грає максимальне значення ентропії $H_{\text{bin}}^*(\mathbf{p})$ й вектор $\mathbf{p}^*$, що «доставляє» (5) це значення. У загальному випадку, дорівнюючи часткові похідні до нуля $\frac{\partial H_{\text{bin}}(\mathbf{u})}{\partial \mathbf{u}} = 0$, можна показати, що максимальне значення ентропії $H_{\text{bin}}(\mathbf{u})$ «доставляє» власний вектор матриці Q , що відповідає її максимальному власному значенню λ_{max} . Оскільки всі елементи матриці X — нуль або одиниця, то будуть справедливі співвідношення $X^T \cdot X = \mathbf{e}^T X$ $(E - X)^T (E - X) = (E - X)^T \mathbf{e}$, звідки маємо остаточний результат:

$$H_{\text{bin}}^* = \max_{\mathbf{p} \in \Delta_n} H(\mathbf{p}) = 0,5 \cdot \sqrt{\mathbf{e}^T \cdot X \cdot (E - X)^T \cdot \mathbf{e}}. \quad (6)$$

Запропонований критерій був використаний у програмному забезпеченні аналізу структури фотограмметричних зображень. Рисунок 1 демонструє приклад застосування запропонованого алгоритму для виділення структурних особливостей зображень в умовах невизначеності. Попередня обробка лівого знімка полягала в бінаризації та фільтрації по площі. У результаті було отримане зображення (рис.1 праворуч), що містить тільки об'єкти, які становлять інтерес для проведення наступного (тематичного) аналізу. Прикладом такого аналізу може слугувати моніторинг (визначення змін) забудови територій.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Проведені дослідження дозволили зробити висновок, що застосування ентропії бінарної матриці дає можливість ефективного виділення структурних особливостей зображення. Цю ідею можна розвинути й далі, розбиваючи зображення на блоки й визначаючи ентропію не для всієї бінарної матриці, а для кожного блоку окремо з наступним їхнім підсумовуванням.

Перспективи подальших досліджень за проблематикою роботи пов'язані з встановленням кількісного зв'язку між просторовим розрізненням зображень (як основної характеристики

інформативності з позицій дешифрування), отриманих у результаті попередньої обробки, і вірогідністю розпізнавання структурних особливостей (об'єктів).

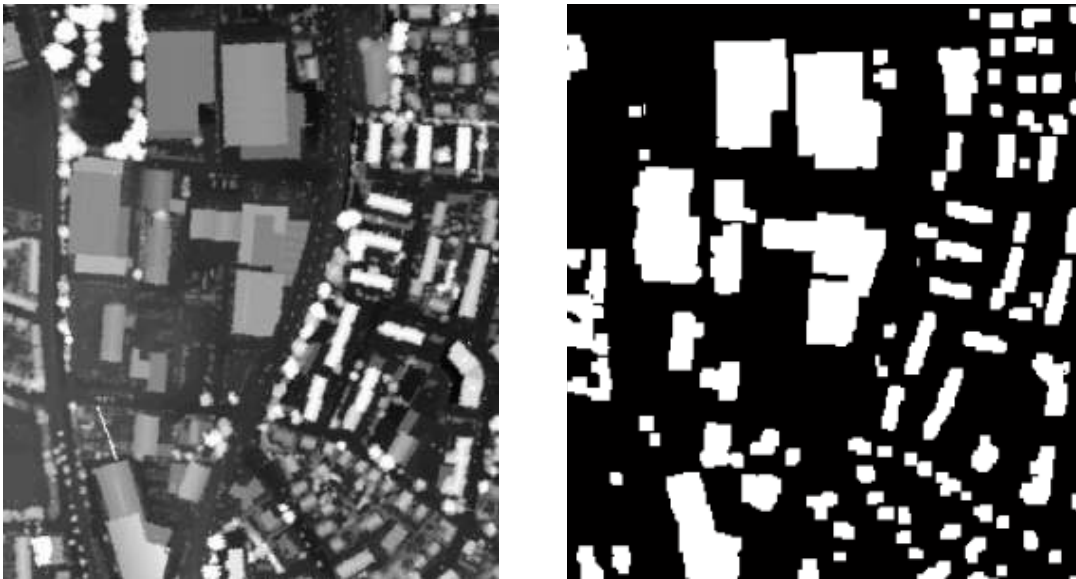


Рисунок 1

ЛІТЕРАТУРА

1. Бутенков С.А. Формализация неопределенности в многомерных данных. Сб. трудов международной научно-технической конференции „Интеллектуальные системы” (IEEE AIS'03), Москва, Физматлит, 2003, с. 104-113.
2. Куренков Н.И., Лебедев Б.Д. Энтропийный анализ многомерных данных. // Современные проблемы механики гетерогенных сред. Сб. ИПМ РАН к 10-летию его основания. М.: РАН, 2000.
3. Потапов А.С. Иерархические структурные методы автоматического анализа аэрокосмических изображений: Дис. ...канд. техн. наук: 05.11.07, СПб., 2005. - 158 с.
4. Гнатушенко В. В. Структурна модель цифрових зображень / В. В. Гнатушенко, Н. Ю. Калініна // Матеріали Міжнародної наукової конф. «Математичні проблеми технічної механіки-2009» // Дніпродзержинськ: ДДТУ.- 2009. – С. 203.
5. Starck J.L., Murtagh F., Gstaad R. A new entropy measure based on the wavelet transform and noise modeling. Special Issue on Multirate Systems, Filter Banks, Wavelets, and Applications of IEEE Transactions on CAS II, 45(8), 1998.

УДК 669.02/09:51.001.57:669.13:669.054.82.083.133

А.Ю. Гринько, Д.Н. Тогобицкая, А.И. Белькова

**РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «ЧУГУН-ШЛАК»**

Аннотация. В работе на основе методики определения активностей элементов многокомпонентных металлических и шлаковых расплавов, созданной в ИЧМ, разработан критерий оценки термодинамического состояния системы «чугун-шлак». Показана перспективность использования данного критерия на фактических данных о процессе доменной плавки.

Ключевые слова: чугун, шлак, критерий, термодинамика, активность элемента.

Важнейшая роль в исследовании и оптимизации процесса выплавки чугуна заданного качества отводится термодинамическому описанию системы «чугун-шлак» в горне доменной печи. Использование критериев оценки термодинамического состояния системы «чугун-шлак» в качестве алгоритмической составляющей систем управления шлаковым режимом доменной плавки позволит не только увеличить их эффективность, но и оценить процесс выплавки чугуна с точки зрения термодинамики, что может дать не только более полное понимание процесса с позиций теории расплавов для науки, но и повысить эффективность системы управления процессом.

Для разработки критерия оценки термодинамического состояния системы «чугун-шлак» был определен набор экспериментальных данных из 395 выпусков доменной печи №9 на ОАО «Арселор Миттал Кривой Рог» [1]. Из них 247 выпусков удовлетворяют интервалам качества ($0.6 \leq [Si] \leq 0.9$, $[S] \leq 0.03$, $1.1 \leq (CaO)/(SiO_2) \leq 1.3$). Такие выпуски были названы нами как «хорошие» и в дальнейших иллюстрациях будут отображаться кружочками. Далее были выделены 132 выпуска, не удовлетворяющие условию $0.6 \leq [Si] \leq 0.9$ – такие выпуски были названы нами «плохие» выпуски по кремнию и в дальнейших иллюстрациях будут отображаться треугольниками. Следующая группа с показателем $[S] > 0.03$ была обозначена квадратиками и

© Гринько А.Ю., Тогобицкая Д.Н., Белькова А.И., 2010

названа «плохие» выпуски по сере – в нее вошли 36 выпусков из 395 рассматриваемых. Выпуска, не удовлетворяющие условию $1.1 \leq (CaO)/(SiO_2) \leq 1.3$ попали или в группу «плохие» выпуски по кремнию или в группу «плохие» выпуски по сере. Кроме этого некоторые выпуски попали в обе группы «плохих».

В результате многоплановых исследований [2,3] влияния активностей компонентов чугуна и шлака на коэффициенты распределения серы и кремния между чугуном и шлаком, в работе предлагается отношение $\frac{a_{[Si]}}{a_{(SiO_2)}}$ в качестве критерия для оптимизации технологии доменной плавки, обеспечивающее выпуск кондиционного по кремнию чугуна. При этом величины $a_{[Si]}$ и $a_{(SiO_2)}$ вычислялись по моделям (1) и (2) соответственно:

$$a_{[X]} = C_{[X]} \cdot 10^{1.21 \cdot (\rho_{l[X]} + Z^Y \cdot Z_{0[X]}^Y) - 5.64}, \quad (1)$$

где $C_{[X]}$ – концентрация компонента X в металлической системе, $\rho_{l[X]}$, $Z_{0[X]}^Y$ – соответственно зарядовая плотность и параметр состояние до вступления в реакцию компонента X , Z^Y – химический эквивалент, суммирующий данные об эффективных зарядах всех компонентов металлического расплава;

$$a_{(X)} = C_{(X)} \cdot 10^{3.1 \cdot (\rho_{l(X)} + Z^Y \cdot Z_{0(X)}^Y) - 18.16}, \quad (2)$$

где $C_{(X)}$ – концентрация компонента X в шлаковой системе, $\rho_{l(X)}$, $Z_{0(X)}^Y$ – соответственно зарядовая плотность и состояние до вступления в реакцию компонента X , Z^Y – химический эквивалент, суммирующий данные об эффективных зарядах всех компонентов шлакового расплава.

Если использовать отношение $\frac{a_{[Si]}}{a_{(SiO_2)}}$ для попытки ответа на вопрос «Какой должны быть величина коэффициента распределения кремния между чугуном и шлаком для обеспечения кондиционности

чугуна по кремнию?», то из рисунка 1 видно, что отношение $\frac{a_{[Si]}}{a_{(SiO_2)}}$

в качестве условия $60 \leq \frac{a_{[Si]}}{a_{(SiO_2)}} \leq 100$ является критерием качества

чугуна по кремнию в конкретных условиях плавки. При этом коэффициент распределения L_{Si} , соответствующий требованию качества, изменяется в пределах: $45 \leq L_{Si} \leq 65$. Данная иллюстрация охватывает 247 «хороших» выпусков и 132 «плохих» выпуска по кремнию.

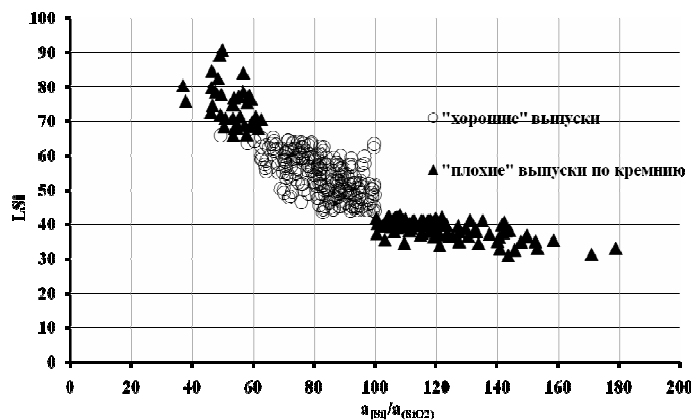


Рисунок 1 - Отношение $\frac{a_{[Si]}}{a_{(SiO_2)}}$ в качестве критерия качества чугуна по кремнию

Для ответа на вопрос «Какой должны быть величина коэффициента распределения серы между чугуном и шлаком для обеспечения кондиционности чугуна по сере?» была составлена выборка, включающая в себя 247 «хороших» выпусков и 36 «плохих» выпуска по сере. Как видно из рисунка 2, отношение $\frac{a_{[Si]}}{a_{(SiO_2)}}$ может быть рекомендовано и в качестве критерия,

отображающего кондиционность чугуна по сере. Условие $\frac{a_{[Si]}}{a_{(SiO_2)}}$ дает

также ответ о величине коэффициента распределения серы между чугуном и шлаком для обеспечения кондиционности чугуна по сере: $L_S > 40$.

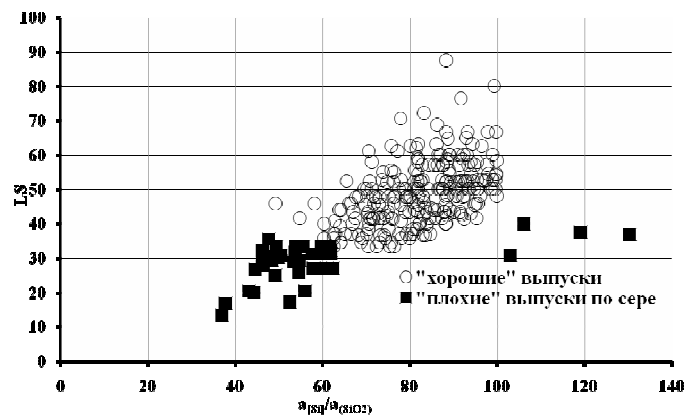


Рисунок 2 - Отношение $\frac{a_{[Si]}}{a_{(SiO_2)}}$ в качестве критерия качества чугуна по сере

Как видно из рисунка 3, отношение $\frac{a_{[Si]}}{a_{(SiO_2)}}$ повышает информационную мощность критерия качества чугуна по сере и кремнию против традиционно используемого критерия основности шлака.

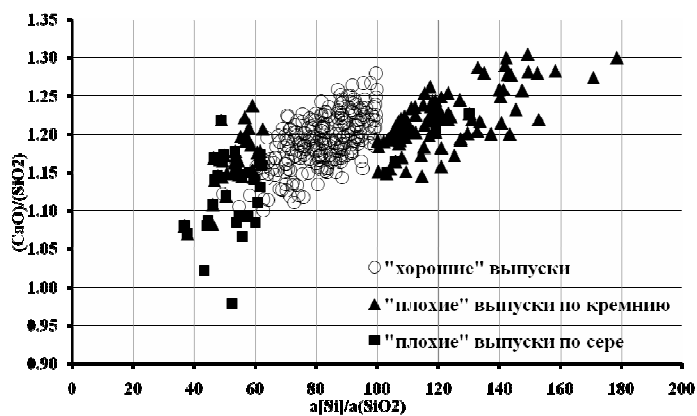


Рисунок 3 - Сравнительная оценка критериев $\frac{a_{[Si]}}{a_{(SiO_2)}}$ и основности

Таким образом, можно сделать вывод о том, что выражение $\frac{a_{[Si]}}{a_{(SiO_2)}}$ является более обобщенным критерием качества чугуна по содержанию в нем серы и кремния (рис. 4), отображая область кондиционности и некондиционности чугуна.

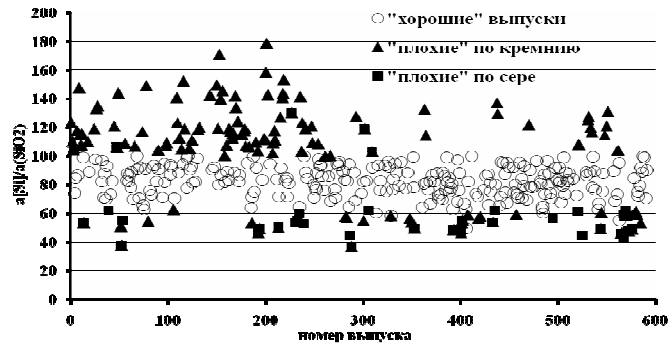


Рисунок 4 - Применение критерия $a_{[Si]}/a_{(SiO_2)}$ для описания

выпусков, кондиционных и некондиционных по сере и кремнию

Таким образом, из всего вышеизложенного можно сделать следующий вывод: для получения чугуна, удовлетворяющего требованиям качества $0.6 \leq [Si] \leq 0.9$, $[S] \leq 0.03$,

$a \leq (CaO)/(SiO_2) \leq b$, следует вести доменный процесс так, чтобы

$c \leq \frac{a_{[Si]}}{a_{(SiO_2)}} \leq d$. Параметры a, b, c, d определяются по данным

выпусков в конкретных сырьевых и технологических условиях.

Использование отношения $a_{[Si]}/a_{(SiO_2)}$ в качестве критерия оценки термодинамического состояния системы «чугун-шлак» обеспечивает уровень значений коэффициентов распределения серы и кремния между чугуном и шлаком, соответствующий кондиционному по сере и кремнию чугуну.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационная привязка к шихтовым и технологическим условиям, анализ обобщающих критериев управления, внедрение и оценка эффективности функционирования подсистем «Разгар футеровки металлоприемника, распределения дутья по фурмам, шлакового режима и теплового состояния горна по содержанию углерода в чугуне» в составе АСУТП ДП №9: Отчет о НИР / ИЧМ НАНУ – №1376. – Днепропетровск, 2005. – 157с.

2. Гринько А.Ю. Определение численного значения активности углерода в системе «железо-углерод-легирующий компонент» // Сб.н.т. «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – 2004. – №7 – с.331-336

3. Гринько А.Ю., Тогобицкая Д.Н. Прогнозирование термодинамических свойств расплавов при выплавке чугуна // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2005. – Вып.11. – С. 185-193.

УДК 519.62

А.А. Гришко, С.Г. Удовенко, Л.Э. Чалая

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕЙДИНГОВЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация. В работе проведен анализ методов машинного обучения, применимых к компьютерным трейдинговым системам. С учетом принципов электронной торговли на финансовых рынках предложен метод формирования торговых стратегий, основанный на использовании генетических алгоритмов и Q-обучения. Новый подход позволяет пользователю трейдинговой системы непрерывно получать, анализировать и использовать для принятия решений рыночную информацию.

Ключевые слова: трейдинговая система, генетический алгоритм, Q-обучение, технический анализ, индикатор, торговая стратегия.

Введение

Предсказуемость финансовых рынков зависит от развития эффективной стратегии прогнозирования стратегии и соответствующих алгоритмов, которые способны последовательно оценивать финансовые показатели.

Прогресс информационных технологий способствовал развитию компьютерных систем торговли на фондовой бирже (трейдинговых систем). Ещё существуют традиционные трейдеры, иногда получающие положительные результаты при совершении спекулятивных операций на рынке ценных бумаг, но на их торговые решения влияет множество психологических факторов. Альтернативой человеческим эмоциям на бирже могут быть только средства Интернет-трейдинга, к которым относятся, в частности, торговые автоматы (торговые роботы). Торговый робот (автомат) – это программный комплекс, в который заложен алгоритм совершения операций на рынке ценных бумаг. Такие автоматы в составе трейдинговой системы существенно снижают любой элемент риска в биржевой торговле [1]. У компьютерной программы отсутствуют эмоции, присущие человеку, а значит, принятое программой решение является верным в рамках заданного алгоритма. Последние исследования показывают перспективность применения в

© Гришко А.А., Удовенко С.Г., Чалая Л.Э., 2010

электронной биржевой торговле методов машинного обучения [2,3]. Это обусловило направление исследований, представленных в настоящей статье.

Постановка задачи

Целью настоящей работы является исследование возможности увеличения дохода пользователей трейдинговых систем на основе использования методов машинного обучения. В связи с этим были поставлены следующие задачи:

- провести анализ методов машинного обучения, применимых к электронным финансовым рынкам (в частности, генетического метода и метода обучения с подкреплением);
- разработать гибридный метод формирования торговых стратегий, основанных на методах машинного обучения;
- разработать программное обеспечение гибридной трейдинговой системы, позволяющее постоянно загружать данные с сервера, анализировать ситуацию на рынке и обеспечивать формирование рекомендаций по ведению торговли.

Для тестирования оценки эффективности разрабатываемых алгоритмических и программных средств используем данные международного межбанковского валютного рынка FX (Foreign Exchange Market), доступные индивидуальным пользователям.

Статистический подход к техническому анализу

В техническом анализе используется набор доступных индикаторов, помогающих обнаружить тенденции изменения основных показателей биржевого рынка. В настоящее время существует уже более трехсот практически используемых технических индикаторов и количество их постоянно растет. Очевидно, что рассчитать и проанализировать поведение такого количества индикаторов без компьютерных средств невозможно. Поэтому часто анализ графиков цен с помощью индикаторов условно называют компьютерным техническим анализом. Однако совместное рассмотрение показаний большой группы индикаторов мало что дает в практическом смысле, так как их практическая ценность примерно одинакова. Поэтому большинство успешных трейдеров пользуется ограниченным набором инструментов, обычно не превышающим 4-5 индикаторов, которые они выбирают по своему усмотрению.

Индикаторы можно разделить на две большие группы: трендовые индикаторы и осцилляторы. Трендовые индикаторы, как следует из их названия, применяются при анализе трендовых рынков и неэффективны, когда тренд отсутствует. Осцилляторы наоборот плохо работают на трендовых рынках и хорошо, когда тренд отсутствует. Однако следует отметить, что далеко не всегда можно точно оценить состояние рынка в текущий момент времени.

Рассмотрим наиболее распространенные трендовые индикаторы типа скользящих средних (moving average (MA)). При расчете скользящего среднего производится математическое усреднение цены акции за данный период. По мере изменения цены ее среднее значение либо растет, либо падает. Индикатор MA определяется следующей зависимостью:

$$MA = \frac{P_1 + \dots + P_n}{n},$$

где P_i - цена на i -й день прогноза, n - период усреднения.

Сигналы покупок и продаж в соответствии с текущим анализом MA могут формироваться различными способами. На практике часто используют в качестве сигнала для входа в рынок и выхода из него пересечение двух скользящих средних с разными периодами. Если быстрое (с меньшим периодом) скользящее среднее пересекает медленное (с меньшим периодом) скользящее среднее снизу вверх – это сигнал к покупке, означающей вход в длинную позицию или выход из короткой позиции.

Если же быстрое скользящее среднее пересекает медленное сверху вниз, то это сигнал к продаже, означающей выход из короткой или вход в длинную позицию. Эта техника названа методом двойных пересечений.

Алгоритмы определения оптимальных стратегий в трейдинговых системах

Генетические алгоритмы (ГА) получили широкое распространение для решения прикладных задач оптимизации, в частности, для построения моделей биржевой торговли, содержащих немало трудно формализуемых элементов [2].. В канонической формулировке множество возможных решений (поколение, состоящее из особей) ГА кодируется как набор бинарных строк определенной длины (хромосом). Вычислительный процесс начинается с генерации

исходного поколения. Далее организуется циклический процесс смены поколений: для каждого витка внешнего цикла ГА выполняется внутренний цикл, на котором формируются особи нового поколения. Во внутреннем цикле выполняются операторы выбора родителей, кроссовера родительских хромосом, мутации, оценки приспособленности потомков, селекции хромосом для включения в очередное поколение. Приспособленность каждой хромосомы в популяции (и средняя приспособленность популяции) оценивается с помощью функции пригодности. Такая процедура позволяет последовательно улучшать приспособленность поколений. После останова ГА по заданному критерию полагают, что хромосома финального поколения с максимальным значением функции пригодности соответствует оптимальному решению задачи.

Для применения ГА к задачам рынка FX каждую хромосому можно интерпретировать как возможное решение трейдинговой системы в текущей ситуации (при этом в качестве таких решений принимают обычно выбор короткой, длинной или нейтральной позиций трейдера). Алгоритм принятия текущих решений должен использовать бинарные значения набора индикаторов рынков. Эти значения могут быть объединены в бинарные строки ГА. Например, в случае упомянутого выше метода двойных пересечений формируется сигнал продажи, когда короткие средние движения ниже более длинных. Индикатор «MASell», соответствующий этому сигналу принимает двоичное значение 1, когда условие для сигнала продажи выполнено, и значение 0 в противном случае.

Пример правила продажи, использующего индикатор «MASell», а также индикаторы «MomentumSell» и «StochasticBuy», функции которых описаны в [3], приведен в таблице 1. В этом примере решением является принятие правила принятия короткой позиции при продаже, которое кодируется, как бинарная строка в таблице. Логическое представление этого правила имеет вид: «ЕСЛИ MASell = 1 ИЛИ (MomentumSell = 1 И StochasticBuy = 0) ТОГДА принять короткую позицию». Логические связующие операторы И и ИЛИ имеют в приведенном примере двоичные значения 1 и 0 соответственно.

Таблица 1

Пример бинарной строки правила продажи

MASell	ИЛИ	MomSel	И	StochBuy	Позиция
1	0	1	1	0	0

Отметим, что инструкция по продаже в этом правиле кодируется как «0» в младшем разряде строки. Правило принятия длинной позиции при покупке формирует «1» в этом бите.

Правила для принятия короткой или длинной позиций называют правилами входов, потому что они побуждают трейдера активно участвовать в торговле. Трейдинговая система задает также и другие правила (например, правило возврата к нейтральной позиции).

Длина правил и кодирующих их двоичных строк увеличивается с увеличением количества используемых в трейдинговой системе индикаторов. Совокупность таких правил может рассматриваться как стратегия. Рассмотрим задачу определения с помощью ГА лучшей из таких возможных стратегий для текущих рыночных условий.

Для создаваемой компьютерной трейдерной системы случайным образом сформируем по 150 возможных правил каждого типа (вход и выход). Затем из этих 300 правил случайным образом комбинируем 150 пар, состоящих из одного правила входа и одного правила выхода. Это позволяет сформировать 150 торговых стратегий, которые сортируются в соответствии со своей прибыльностью и затем участвуют в создании исходного поколения правил. Стратегии с высокой прибыльностью (пригодностью) с большей вероятностью могут быть включены в это поколение. В соответствии с ГА осуществляется пошаговый процесс генерирования новых правил трейдинговой системы. Обмен генетического материала происходит с помощью оператора кроссовера, который комбинирует пару правил и формирует пару новых правил – потомков. В алгоритме используется также оператор мутации, чтобы активизировать смешивание бинарных строк. Число правил в формируемых поколениях остается постоянным.

Процесс продолжается до выполнения заданного условия останова ГА, после выбирается лучшая пара правил (лучшая стратегия) алгоритма, обеспечивающая максимальную прибыльность в текущей биржевой ситуации.

Другая структура машинного обучения, которая является перспективной для создания модели финансового рынка, – обучение с подкреплением (reinforcement learning (RL)). Суть такого обучения сводится к следующему: агент трейдинговой системы (например, торговый робот) должен исследовать текущие биржевые ситуации и принимать решения даже при неполном знании об этих ситуациях. Единственная обратная связь, получаемая агентом от биржевого рынка – скалярный сигнал подкрепления, который является положительным, если его действия выгодны трейдеру и отрицательным в противном случае. Задача агента – выбрать свои действия, чтобы, чтобы увеличить сумму сигналов подкреплений на длительном интервале времени [3]. Кроме сигналов подкрепления агент также получает информацию относительно текущего состояния биржевого рынка (в форме вектора наблюдений).

На рынке FX такая информация является ограниченной и недостаточной для того, чтобы трейдер мог в реальном времени принимать решения, позволяющие максимизировать доход. Для решения поставленных в настоящей статье задач модифицируем RL-метод, основанный на алгоритме Q-обучения, предложенном для частично наблюдаемых марковских процессов в работе [3].

Суть модификации состоит в расширении возможностей исходного алгоритма для его работы в он-лайн режиме на основе данных, получаемых из рынка FX. Опишем работу предлагаемого алгоритма Q-обучения. Пусть состояние s рынка принадлежит к множеству S , а дискретный набор действий a_t принадлежит к набору возможных решений. Как только фиксируются значения $Q(s, a)$, выбираем оптимальное действие для текущего состояния с самым высоким Q-значением. На первом шаге мы инициализируем $Q_0(s_0, a_0)$ с произвольными индексами, и для улучшения оценок Q-значений на основе поступающих сигналов, используем следующую процедуру:

1. Для текущего состояния s_t выбираем действие a_t . Это переводит систему в следующее состояние s_{t+1} и инициирует сигнал подкрепления r_{t+1} .

2. Пересчет $Q_t(s_t, a_t)$ осуществляется следующим образом:

$$Q_{t+1}(s_t, a_t) := Q_t(s_t, a_t) + \alpha(r_{t+1} + \gamma \max_a Q_t(s_{t+1}, a) - Q_t(s_t, a_t)) \quad (1)$$

где $\alpha(0 < \alpha \leq 1)$ – нормированный параметр обучения и $\gamma(0 < \gamma < 1)$ – коэффициент дисконтирования, используемый для придания большего веса сигналам подкрепления, которые были получены недавно.

3. Переход к 1.

Отметим необходимость запоминания каждого значения $Q(s, a)$ для всех $s \in S$ и $a \in A$. Они заносятся в специальную Q-таблицу.

Задача алгоритма – найти оптимальную стратегию $\pi(s) \in A$ для каждого состояния рынка, максимизирующую долгосрочную прибыль. Алгоритм Q-обучения использует оптимальные Q-значения $Q^*(s_t, a_t)$ для состояний s и действий a . Оптимальная функция Q-значения удовлетворяет условию оптимальности Беллмана:

$$Q^*(s_t, a_t) := \sum_{s+1} P(s_t, a_t, s_{t+1}) [R(s_t, a_t, s_{t+1}) + \gamma \max_{a'} Q^*(s_{t+1}, a')] \quad (2)$$

где $P(s_t, a_t, s_{t+1})$ – вероятность перехода из состояния s_t в состояние s_{t+1} под воздействием a_t ; $R(s_t, a_t, s_{t+1})$ – непосредственный доход, получается от применения действия a_t в состоянии s_t ; $\gamma(0 \leq \gamma \leq 1)$ – коэффициент дисконтирования веса будущих доходов.

Получить оптимальные Q-значения $Q^*(s, a)$ можно, выбирая наилучшее действие:

$$a^* = \underset{a}{\operatorname{arg\,max}} (Q^*(s, a)). \quad (3)$$

Главным преимуществом использования Q-обучения является отсутствие необходимости знания переходных вероятностей $P(s_t, a_t, s_{t+1})$. Алгоритм может находить $Q^*(s, a)$ по рекурсивной зависимости. Q-значения корректируются в соответствии с уравнением (1). Если уравнение (1) последовательно применяется к каждой паре (s_t, a_t) и при этом параметр обучения α постепенно уменьшается в направлении 0, то $Q(s, a)$ сходится к $Q^*(s, a)$ с вероятностью 1.

Гибридная трейдинговая система

Предлагаемая гибридная система использует комбинацию двух методов машинного обучения, описанных в предыдущем подразделе.

Очевидно, что при большом числе комбинаций значений индикаторов и связующих операторов ГА не в состоянии охватить все пространство стратегий, чтобы найти оптимум. Отметим, что, если m – число индикаторов для правил и N – число индикаторов в целом, то число всех возможных правил составляет $P(N, m) * 2^{m-1}$, где $P(N, m)$ – число перестановок m объектов по N . В предлагаемой системе используются 10 индикаторов как для покупок, так и для продаж, то есть всего 20 индикаторов.

В среднем генерируемые в предлагаемом методе правила используют 8 индикаторов, так что общее число возможных правил составляет $6.5 * 10^{11}$. Исследования возможности применения ГА в трейдинговой системе (в описанной выше схеме) показали возможность оперативного определения для текущей биржевой ситуации наиболее полезных индикаторов и правил.

В соответствии с предлагаемой гибридной схемой выбранные с помощью ГА стратегии поступают в RL-метод, основанный на алгоритме Q-обучения

Рассмотрим теоретическую ситуацию, где модуль ГА идентифицировал индикаторы RSIBuy и CCISell, как полезные предсказатели. Их комбинациям соответствует следующий набор состояний:

$$\begin{cases} s_1 = RSIBuy = 1, CCISell = 1 \\ s_2 = RSIBuy = 1, CCISell = 0 \\ s_3 = RSIBuy = 0, CCISell = 1 \\ s_4 = RSIBuy = 0, CCISell = 0 \end{cases}$$

Набор индикаторов, состояний и действий позволяет сформировать Q-таблицу, используемую на этапе принятия решений трейдинговой системой.

Программное обеспечение системы ориентировано в основном на работу для торговли на рынке FX.

Результаты тестового моделирования

При тестировании предложенной гибридной трейдинговой системы были, в частности, использованы данные FX-рынка по суточному обменному курсу валют EUR/USD (www.cqg.com). Они состояли из 43700 суточных записей для суточной ведомости, содержащей семь полей. Для оценки эффективности разработанных

алгоритмических и программных средств биржевой торговли был выбран коэффициент, характеризующий (в процентном выражении) отношение торговых операций системы с положительным исходом к общему числу проведенных операций. В результате применения комбинированного ГА/RL – метода получены значения этого коэффициента в пределах 62–64% (для различных серий тестовых экспериментов), что превышает в среднем на 4% значения этого показателя при применении других методов принятия решений в электронной биржевой торговле.

Выводы

Разработанная гибридная компьютерная система, основанная на использовании генетического алгоритма и RL – метода, позволяет принимать эффективные решения по входу в биржевой рынок и выходу из него. Результаты моделирования показывают, что эта система превосходит по качеству другие системы машинного обучения, используемые на финансовых электронных рынках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Люггер Д. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. / Д.Люггер // М.: Издательский дом «Вильямс». – 2003. – 864 с.
2. Hryshko A. An Implementation of Genetic Algorithms as a Basis for a Trading System on the Foreign Exchange Market./ A.Hryshko, T. Downs// Proceedings of the 2003 Congress on Evolutionary Computation. – 2003. – P.1695-1701.
3. Dempster M. Intraday FX trading: An evolutionary reinforcement learning approach. Intelligent data engineering and automated learning./ M.Dempster, Y.Romahi// Proceedings of the IDEAL 2002 International Conference. – 2002.– P. 347-358.

УДК 681.513

Н.М. Кораблев, А.Э. Макогон, О.Г. Руденко

**АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫМ
ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ НА БАЗЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО
НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА С ИММУННОЙ НАСТРОЙКОЙ**

Аннотация: в статье рассматривается синтез адаптивной системы управления нелинейным динамическим объектом на основе использования нейросетевого нечеткого регулятора, в качестве базовой модели которого взята нечеткая модель Такаги-Сугено нулевого порядка. Предложены различные варианты настройки параметров регулятора в режимах off-line и on-line с помощью искусственных иммунных систем.

Введение

При построении адаптивных систем автоматического управления (АСАУ) возникают трудности в связи с недоступностью прямых измерений всех координат вектора состояния, описывающего объект управления при относительно высоком порядке дифференциального уравнения. Кроме того, наличие блока идентификации динамики объектов управления и оценка переменных состояния усложняют структуру АСАУ [1,2]. Законы настройки параметров управляющих устройств могут быть получены существующими методами только в частных случаях, т.е. не существует универсального метода синтеза законов адаптации. Во многих адаптивных системах эта задача решается путем использования поисковых алгоритмов, при использовании которых качество полученного решения существенно зависят от поверхности отклика искомых параметров. АСАУ, синтезированные на базе нечетких регуляторов и нейросетевой технологии, обладают более простой структурой и несложны в реализации [3]. На основании функционального сходства нечетких систем и нейронных сетей при конкретных условиях можно создавать системы управления, обладающие свойствами обучения и адаптации.

Задача настройки параметров нейросетевого нечеткого регулятора (НР), как правило, является многоэкстремальной

задачей оптимизации. Градиентные методы, которые можно использовать для настройки ННР, как известно, работают быстро только при малом количестве настраиваемых параметров и не гарантируют определения глобального экстремума.

Одним из путей решения проблемы настройки ННР является разработка новых и развитие существующих методов. Перспективным является подход, основанный на использовании искусственных иммунных систем (ИИС) [4, 5], которые являются новой парадигмой мягких вычислений. Поэтому синтез АСАУ нелинейными динамическими объектами на основе ННР с иммунной настройкой является актуальной задачей.

Постановка задачи

Рассматривается задача синтеза ННР АСАУ нелинейным динамическим объектом, математическое описание которого имеет вид [1,2]:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = f_i(\bar{x}, \delta_i(t)) + g_j(\bar{x}) u_j^*; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}; \\ y = h(\bar{x}); \end{cases} \quad (1)$$

где $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ – вектор переменных состояния; $f_i(\bar{x})$, $g_j(\bar{x})$ и $h(\bar{x})$ – нелинейные непрерывные дифференцируемые функции; $\delta_i(t)$ – неконтролируемые возмущения, ограниченные по амплитуде; u^* – сигнал управления; y – выходная переменная.

В качестве базовой модели ННР, входными сигналами которого являются ошибка e и ее производная $\dot{e}$, используется модель Такаги-Сугено нулевого порядка [3]:

$$R^j : IF \ e_1 \text{ is } T_1^j \text{ AND } e_2 \text{ is } T_2^j \text{ THEN } u = p_j, j = \overline{1, L}, \quad (2)$$

где $e_1 = e$; $e_2 = \dot{e}$; p_j – параметры регулятора; T_1^j, T_2^j – термы лингвистических переменных входных сигналов с гауссовыми функциями принадлежности, которые описываются выражениями:

$$\begin{aligned} \mu_i(e) &= \exp \left[- \left(\frac{e - m_i}{\sigma_i} \right)^2 \right], i = \overline{1, K}, \\ \mu_j(\dot{e}) &= \exp \left[- \left(\frac{\dot{e} - m_j}{\sigma_j} \right)^2 \right], j = \overline{1, K}, \end{aligned} \quad (3)$$

где m_i, m_j – центры нечетких множеств; σ_i, σ_j – отвечают за крутизну функций, K – число функций принадлежности, L – количество правил вывода.

Выходной сигнал ННР может быть записан в виде [6]:

$$u = p^T \bar{\xi}(\bar{e}), \quad (4)$$

где $\bar{e} = [e_1; e_2]$ – вектор ошибки основного контура системы управления, $\bar{\xi}(\bar{e}) = [\xi_1(\bar{e}), \xi_2(\bar{e}), \dots, \xi_L(\bar{e})]^T$ – вектор, характеризующий функции принадлежности терм лингвистических переменных входных сигналов, составляющие которого $\xi_j(\bar{e})$ имеют вид:

$$\xi_j(\bar{e}) = \frac{\prod_{i=1}^n \mu_{T_i^j}(e_i)}{\sum_{j=1}^L \prod_{i=1}^n \mu_{T_i^j}(e_i)}, \quad (5)$$

ННР, выходной сигнал которого имеет вид (4), может быть представлен в виде нейронной сети (рис.1) [2], в которой в первом слое имеется два нейрона для подачи входных переменных ошибки e и ее производной $\dot{e}$, выходные сигналы нейронов второго слоя представляют собой значения функций принадлежности при конкретных значениях входных сигналов, нейроны третьего слоя выполняют нечеткий логический вывод, в четвертом слое имеется только один нейрон, который выполняет операцию дефазификации.

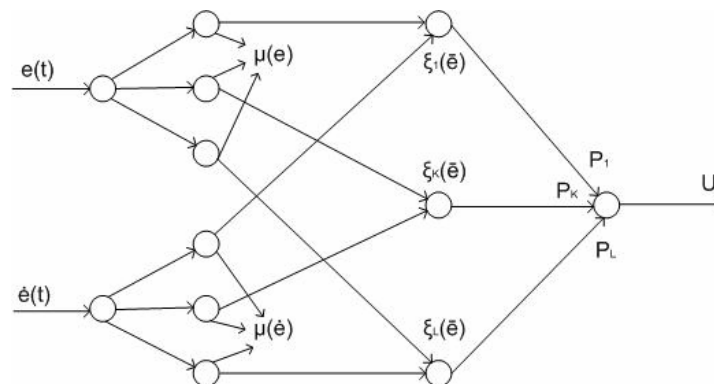


Рисунок 1 - Структура нечеткой нейронной сети

Целью синтеза является определение параметров нечеткого регулятора $m_i, m_j, \sigma_i, \sigma_j$ и p_k , которые обеспечивают выполнение условия: $\lim_{t \rightarrow \infty} |y_3(t) - y| = \lim_{t \rightarrow \infty} |e| = 0$, где $y_3(t)$ – задающее входное

воздействие.

Синтез ННР АСАУ на основе ИИС

Исходными данными для решения задачи являются математическое описание объекта управления с той точностью, которая возможна, а так же определенные возможности измерения переменных состояния и возмущающих сигналов.

Основные идеи предлагаемого метода рассмотрены на примере задачи синтеза ННР для нелинейного динамического объекта (1). Синтез можно представить в виде следующих этапов:

- построение математической модели ННР;
- синтез закона управления, обеспечивающего оптимизацию выбранного функционала качества управления заданным объектом;
- адаптация параметров ННР на основе ИИС.

Математической моделью ННР является модель Такаги-Сугено нулевого порядка (2), а закон управления, обеспечивающий оптимизацию выбранного функционала качества управления заданным объектом, описывается выражением [6]:

$$u^{\circ} = -\frac{1}{g(x)} \left(\frac{\partial \psi}{\partial x_n} \right)^{-1} \left[\sum_{i=1}^n \frac{\partial \psi}{\partial x_i} f_i(\bar{x}) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial \psi}{\partial \delta_i} + \psi \right], \quad (6)$$

где ψ является произвольной однозначной дифференцируемой или кусочно-непрерывной функцией переменных состояния управляемого объекта и $\psi(0) = 0$. Для обеспечения условия асимптотической устойчивости замкнутой системы необходимо выбрать функцию ψ так, чтобы решение было устойчивым. Этому условию удовлетворяет

функция вида $\psi_j = e_j + a_j \dot{e}_j$ [3]. Следует отметить, что качество системы управления тоже определяется этим многообразием.

В результате компьютерного моделирования замкнутой системы управления объектом (1) с оптимальным управляющим сигналом (6) при случайных возмущениях и изменениях параметров объекта может быть получена выборка относительно входных $\bar{e}$ и выходной u переменных. Полученная выборка используется для обучения ННР. Результаты обучения позволяют определить набор правил управления и параметры ННР m_i , m_j , σ_i , σ_j и p_k . Обучение реализуется на основе минимизации ошибки между реальным (7.9) и желаемым (6) управляющими сигналами при одинаковых входных сигналах.

Для решения задачи обучения и адаптации параметров ННР с использованием ИИС применяется иммунный алгоритм параметрической адаптации [7], формально представленный в виде:

$$\text{ImmAlg} = (P^L, L, Ab, N, Ag, M, Op, n_c, N_c, S, Alph, A, Aff, gen, t), \quad (7)$$

где P^L – пространство поиска; L – размерность пространства поиска; Ab – популяция антител; N – размер популяции антител; Ag – популяция антигенов; M – размер популяции антигенов; Op – множество используемых иммунных операторов вида $Op = \{Clone, Mutate, Edit\}$; n_c – количество антител для клонирования; N_c – количество клонов одного антитела; S – количество антител с худшей аффинностью, подлежащие замене при редактировании популяции антител; $Alph$ – алфавит, с использованием которого кодируются антитела; A – мощность алфавита $Alph$; gen – поколение работы иммунного алгоритма; t – критерий окончания работы алгоритма; Aff – функция аффинности вида $Aff = \frac{1}{1+D}$, в которой D является евклидовой нормой.

Основные этапы иммунного алгоритма следующие:

1. Генерация начальной популяции антител Ab .
2. Вычисление аффинности каждого из антител Ab_i , $i = \overline{1, N}$ популяции Ab ко всем антигенам популяции антигенов Ag путем подстановки параметров, закодированных в антителе Ab_i в базу правил управления ННР.
3. Выбор n_c антител с лучшей аффинностью.
4. Клонирование n_c выбранных в п.3 антител N_c раз, в результате которого формируется популяция клонов Ab_C .
5. Формирование популяции Ab_{CM} путем мутации клонов в популяции Ab_C .
6. Вычисление аффинности каждого из антител Ab_{CMj} , $j = \overline{1, \sum_{l=1}^{n_c} n_{cl} N_{cl}}$ популяции Ab_{CM} ко всем антигенам популяции антигенов Ag путем подстановки параметров, закодированных в антителе Ab_{CMj} в базу правил управления нечеткого регулятора.

7. Редактирование популяции антител Ab , в результате которого выполняется замена антитела Ab_i , $i = \overline{1, N}$ в популяции антител Ab на соответствующее антитело из популяции Ab_{CM} , если его аффинность улучшилась в результате мутации, и замена d худших антител в популяции антител Ab новыми случайно сгенерированными антителами.

8. Проверка критерия останова. Если не достигнут – переход к шагу 2, в противном случае – завершение алгоритма.

Предлагаются следующие подходы к адаптации ННР с использованием ИИС:

1. *Адаптация параметров функций принадлежности $\xi_j(x)$ в режиме off-line.*

В данном режиме для имеющейся базы правил управления ННР выполняется настройка параметров m_i , σ_i , m_j , σ_j . Для этого формируется популяция антител, в которой каждое антитело представляется в виде вектора фиксированной длины, в котором кодируются настраиваемые параметры m_i , σ_i , m_j , σ_j ННР.

2. *Адаптация параметров p_k в режиме on-line.*

После выполнения адаптации параметров ФП выполняется настройка параметров p_k ННР с использованием ИИС. Для этого в каждом антителе популяции антител кодируется вектор настраиваемых параметров p_k .

3. *Адаптация всех настраиваемых параметров нечеткого регулятора в режиме on-line.*

Возможна одновременная настройка всех настраиваемых параметров ННР m_i , σ_i , m_j , σ_j , p_k . Для этого все множество настраиваемых параметров кодируется в каждом антителе популяции антител. Используется вещественное кодирование антител. В качестве антигена используется обучающая выборка.

В качестве критерия останова принимается заданная точность работы алгоритма либо, если она не достигнута – заданное количество поколений работы алгоритма.

Результатом работы алгоритма является антитело с лучшей по популяции функцией аффинности, содержащее настроенные параметры нечеткого регулятора.

Моделирование адаптивной системы управления

При моделировании адаптивной системы управления рассматривался нелинейный динамический объект, описываемый системой уравнений с известными коэффициентами в виде:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \frac{1}{3}x_2, \\ \dot{x}_2 = \frac{2}{5}x_1x_2 + u, \\ y = x_1. \end{cases} \quad (8)$$

Для этого объекта на основании разработанного метода решалась задача синтеза адаптивного ННР с управляющим воздействием на выходе вида (4). Для конкретных численных значений параметров объекта путем имитационного моделирования были получены параметры ННР $m_i, m_j, \sigma_i, \sigma_j, p_k$ и переходные характеристики (рис. 2) при скачкообразном изменении входного воздействия, показатели качества которых (перерегулирование и время регулирования) зависят от адаптируемых параметров нечеткого регулятора $m_i, m_j, \sigma_i, \sigma_j, p_k$. Анализ представленных кривых переходного процесса показывает, что синтезируемая АСАУ с иммунной настройкой устойчива и обеспечивает требуемое качество управления.

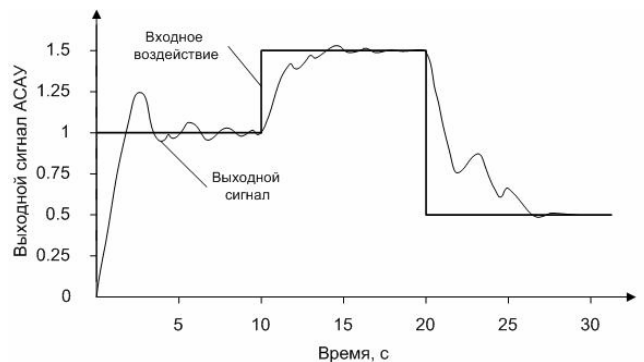


Рисунок 2 - График переходного процесса АСАУ

Кроме того, были получены графики ошибки регулирования при использовании классической АСАУ и АСАУ на базе ННР (рис. 3), анализ которой показывает, что АСАУ на базе ННР имеет более высокие показатели по скорости и точности регулирования.

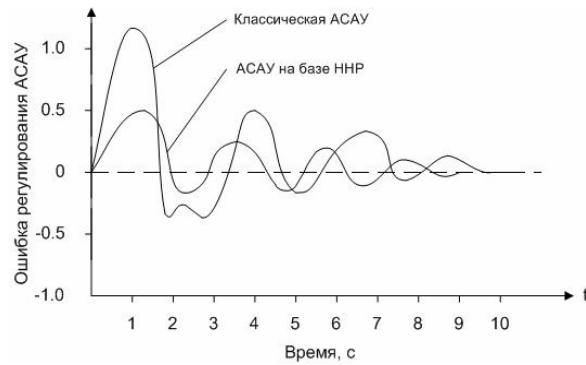


Рисунок 3 - График изменения ошибки регулирования

Выводы

В работе предложен синтез АСАУ нелинейным динамическим объектом на основе ННР, адаптация параметров которого осуществляется с помощью ИИС. Предложенный метод синтеза АСАУ предусматривает выбор модели ННР, синтез оптимального закона управления и адаптацию параметров на основе ИИС в различных режимах. Проведенное моделирование АСАУ на тестовом примере показало эффективность предложенного метода синтеза АСАУ нелинейным динамическим объектом на базе ННР с иммунной настройкой параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.
2. Коломойцева М.Б., Хо Д.Л. Адаптивные системы управления динамическими объектами на базе нечетких регуляторов. – М.: Спутник, 2002. – 217 с.
3. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов Ф.С. Нечеткие модели и сети. – М:Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.
4. Искусственные иммунные системы и их применение / Под ред. Д. Дасгупты. Пер. с англ. под ред. А.А. Романюхи. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 344 с.
5. 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.
6. Кораблев Н.М., Макогон А.Э. Синтез адаптивной системы управления нелинейным динамическим объектом на базе нечеткого регулятора с иммунной настройкой // Вестник ХНТУ. – 2009. – № 1 (34). – С. 337-341.
7. Кораблев М.М., Овчаренко І.В. Адаптація моделей нечіткого виводу з використанням штучних імунних систем // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2007. – №603. – С. 73 –76.

УДК 004.89

Н.М. Кораблев, Е.В. Чумак

СКЕЛЕТОНИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В данной статье рассматривается задача подготовки изображения для распознавания, а именно скелетонизация. Проведен анализ существующих алгоритмов решения и предложен гибридный алгоритм, который основан на использовании искусственных иммунных систем и алгоритме скелетонизации Зонге-Суня. Проведены экспериментальные исследования и определены дальнейшие направления исследований, ориентированные на решение задачи распознавания образов.

Ключевые слова: скелетонизация, искусственная иммунная система, аффинность, антитело, клон, мутация.

Введение

Активное использование современных информационных технологий для создания математических основ интеллектуальных систем в последние годы позволило по-новому взглянуть на проблему обработки многомерных данных в условиях неполной и неточной информации. Одной из наиболее актуальных задач в этой сфере является задача распознавания образов – отнесение некоторого объекта, заданного набором параметров, к классу (образу) подобных объектов. Классические методы многомерной статистики, используемые в подобных задачах, основаны на определенных предположениях о структуре исходных данных и, как следствие, попытки их применения приводили к высоким процентам ошибок при условии несоответствия обучающих наборов этим предположениям.

Наиболее перспективным направлением при решении данной задачи является использование методов интеллектуальной обработки информации, одним из которых являются искусственные иммунные системы (ИИС) [1] - новая парадигма мягких вычислений, которая может интегрироваться с другими подходами. Поэтому одним из путей решения задач распознавания образов является разработка

новых и развитие существующих методов, в частности, на основе использования ИИС [3].

Задача распознавания образов состоит из 3 основных этапов [5]: подготовка изображения (предварительная обработка); выделение признаков на изображении; отнесение образа, на основе выделенных признаков, к тому или иному образу (сама задача распознавания).

В данной работе рассматривается первый этап решения задачи распознавания образов. Одним из подходов подготовки изображения для распознавания является скелетонизация – выделения каркаса монохромного изображения с шириной линий в один пиксель. Скелетное представление изображения используется затем для выделения характеристик (признаков) изображения, для их последующего использования на этапе распознавания.

Анализ методов скелетонизации изображения

Одним из распространенных методов решения этой задачи является алгоритм Зонге-Суня, который заключается в следующем. На изображении последовательно выбирается по 9 точек (области 3x3), которые индексируются согласно (1):

$$\begin{array}{ccc} P_1 & P_2 & P_3 \\ P_8 & P_0 & P_4 \\ P_7 & P_6 & P_5 \end{array} \quad (1)$$

Далее проводится удаление избыточных точек на юго-восточной границе и северо-западных угловых точках посредством следующих шагов:

Шаг1. Проверка условия, что черных точек в выделенной области больше одной:

$$2 \leq \sum_{i=1}^8 P_i \leq 6. \quad (2)$$

Если условие (2) выполняется, то проверяем условие:

$$A(P_i) = 1, \quad (3)$$

где $A(P_i)$ – число конфигураций 01 в последовательности $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8$, замыкая цепочку на P_1 , т.е. вокруг пиксела P_0 существует один переход от 0 к 1. Тогда

$$P_2 P_4 P_6 = 0, \quad (4)$$

$$P_4 P_6 P_8 = 0. \quad (5)$$

Шаг 2. Удаление избыточных точек на северо-западной границе и юго-восточных углов точек проходит аналогично шагу 1, только

$$P_2 P_4 P_8 = 0, \quad (6)$$

$$P_2 P_6 P_8 = 0. \quad (7)$$

На практике данный метод не всегда дает достаточно точный результат, и полученный скелет требует дополнительной обработки для дальнейшего выделения признаков: удаление коротких линий, объединение близких точек, исключение малых внутренних контуров.

Для получения более точного скелета изображения, по которому можно сразу же выделить признаки, в работе предлагается гибридный метод, объединяющий алгоритм Зонге-Суня с иммунным подходом.

Гибридный метод

Искусственная иммунная система в данном случае представляет собой популяцию антител, где каждая клетка соответствует пикселю на изображении. Антитело представляет собой строку фиксированной длины [4]:

$$Ab_i = \langle x_1 \dots x_i \dots x_m, y_1 \dots y_i \dots y_m, c_1 \dots c_i \dots c_m, s_1 \dots s_i \dots s_m \rangle, \quad (8)$$

где $x_1 \dots x_i \dots x_m, y_1 \dots y_i \dots y_m, i = \overline{1, n}$ – координаты i точки из популяции размером n антител, каждая из которых кодируется m разрядами. $c_1 \dots c_i \dots c_m$ – цвет данной точки, $s_1 \dots s_i \dots s_m$ – выживаемость клетки.

Предложенный алгоритм состоит из следующих шагов:

1. К популяции антител применяется алгоритм Зонге-Суня, с тем отличием, что избыточные клетки не удаляются, а каждому антителу присваивается выживаемость.

2. Из популяции выбираются клетки с наихудшей выживаемостью и клонируются. Получаем популяцию клонов C .

3. В каждый клон вносится мутация, и как результат получаем популяцию C' .

4. Для каждого антитела со слабой выживаемостью из популяции Ab вычисляется аффинность с каждой клеткой из C' как Хэммингово расстояние.

5. В соответствии с полученными аффинностями на шаге 4, в популяции антител Ab проводится замена клеток с худшей аффинностью клонами [2].

6. Проверка критерия останова (количество поколений), если критерий достигнут, то из популяции удаляются клетки с наихудшей

выживаемостью[6] и алгоритм останавливается, если нет, то – возвращаемся к шагу 1.

Результаты экспериментальных исследований

Исследования проводились на монохромном изображении размером 100x100 точек на примере распознавания буквы «П» (рисунок 1). Анализ результата скелетонизации методом Зонге-Суня показал, что в углах имеются разрывы, из-за чего усложняется выделение признаков.

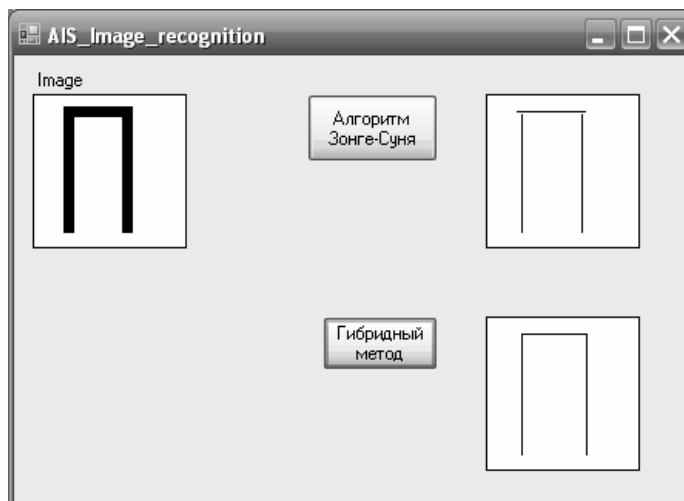


Рисунок 1 – Результаты экспериментальных исследований

При реализации гибридного алгоритма применялось следующее кодирование антител: по одному байту – на координаты, один бит на цвет ($\{0;1\}$ - белый или черный, соответственно), 3 бита для задания выживаемости клетки. Порог аффинности был принят равным 0.9. Выживаемость, устанавливаемая алгоритмом Зонге-Суня – $\{0;1\}$ (избыточна клетка или нет). Вносимая мутация лежит в пределах от 1 до 5.

Выводы

В работе был рассмотрен первый этап задачи распознавания образов – подготовка изображения к выделению признаков (скелетонизация). Проанализирован алгоритм скелетонизации Зонге-Суня, который имеет следующий недостаток – построенный скелет имеет разрывы и требует дополнительной обработки, прежде чем становится возможным выделение признаков для распознавания. Предложен гибридный метод, который объединяет алгоритм скелетонизации Зонге-Суня и иммунный подход. Данный алгоритм позволяет улучшить качество скелета изображения, что дает

возможность сразу выделить на нем признаки для распознавания без дополнительной обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Artificial Immune Systems: A Novel Approach to Pattern Recognition. L.N de Castro and J Timmis. In L Alonso J Corchado and C Fyfe, editors, Artificial Neural Networks in Pattern Recognition, pages 67-84. University of Paisley, January 2002.
2. K. Igawa and H. Ohashi. Discrimination-based Artificial Immune System: Modeling the Learning Mechanism of Self and Non-self Discrimination for Classification. Journal of Computer Science 3(4):204-211, 2007
3. Biological Inspiration for Artificial Immune Systems Jamie Twycross and Uwe Aickelin Proc. of the 6th International Conference on Artificial Immune Systems, Santos/SP, Brazil, August 2007
4. Zhou Ji, Dipankar Dasgupta. V-Detector : An Efficient Negative Selection Algorithm with Probably Adequate Detector Coverage.. In Special Issue of Information Science on Artificial Immune Systems.Tadeusz Burczynski (Guest Editor). Elsevier, December, 2008.
5. Y. Cao, D. Dasgupta, A. Ghose Ed., S. Tsutsui Ed.. An Immunogenetic Approach in Chemical Spectrum Recognition. Springer-Verlag, 2003. 897-914. from the book "Advances in Evolutionary Computation"
6. Z. Ji, D. Dasgupta. Augmented Negative Selection Algorithm with Variable-Coverage Detectors. Congress on Evolutionary Computation. Portland, Oregon: June, 2004.

УДК 004.942:004.056.53

А.И. Михалев, Ю.О. Калиберда

ПОСТРОЕНИЕ IDS НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ ИММУННОЙ СЕТИ

Аннотация. Предлагается использовать метод построения системы обнаружения вторжений в локальной вычислительной сети, основанный на принципах организации искусственной иммунной сети. Приводятся примеры выявления атак и не санкционированных программных действий.

Ключевые слова: искусственная иммунная система, клональная селекция отрицательный отбор, безопасность.

Постановка задачи

Программные продукты класса IDS (Intrusion Detection System) всё чаще становятся необходимым дополнением инфраструктуры сетевой безопасности. В дополнение к межсетевым экранам, работа которых происходит на основе политики безопасности, IDS служат механизмами мониторинга и наблюдения подозрительной программной активности. Они позволяют обнаружить атакующих программных агентов, которые обошли firewall, и выдают отчет администратору, который, в свою очередь, может предпринять дальнейшие шаги по предотвращению атаки. В свою очередь, система, основанная на принципе организации ИИС, сама может предпринять ряд программно-комплексных мероприятий для предотвращения несанкционированных действий в сети [1].

Основная часть

Современные подходы к обнаружению атак в основном базируются на исследовании только одного источника информации, например, сетевого трафика, использования системных ресурсов или логирования. Благодаря своей масштабируемости и модульности, IDS на основе ИИС может использовать все виды доступной информации для получения более точного заключения о факте атаки или вредоносных действий.

В данной системе реализована обобщённая концепция с использованием двух типовых принципов IDS:

Host IDS (HIDS) – системы, обнаруживающие атаки, направленные на конкретный узел сети;

Network IDS (NIDS) – системы, обнаруживающие атаки, направленные на всю сеть или сегмент сети.

Вся информация собирается как от отдельных узлов, находящиеся в данном сегменте сети (информация, полученная из журналов регистрации операционной системы и различных приложений: web-сервер, СУБД и т.д., либо, вместо этого, используется весь входящий/исходящий сетевой трафик), так и из потокового трафика устройств, обеспечивающих маршрутизацию данных.

В общем случае, обнаружение атак требует выполнения одного из двух условий: понимания, как себя должен вести каждый объект сети, или знания всех возможных (на практике – известных) вариантов атак. В первом случае используется технология обнаружения аномального поведения (anomaly detection), а во втором случае – технология сравнения с шаблонами (сигнатурами) всех имеющихся в базе атак.

Технология сравнения с шаблонами по сути своей очень похожа на технологию работы антивирусного ПО. Система может обнаружить все известные ей на данный момент атаки, но она мало приспособлена для обнаружения новых, еще не известных атак. Данный подход, очень прост, и у него мала вероятность ложного срабатывания (false positive), по сравнению с технологией обнаружения аномального поведения.

Для генерации нового шаблона поведения используется один из алгоритмов искусственной иммунной сети — клонирование. Полученные шаблоны применяются на так называемой «песочнице», (под «песочницей» следует понимать, часть функционирующей системы, при проведении над ней некоторых преобразований путем действий, которые были получены в результате клонирования, не повлияет на общую работу сети, однако сообщит свои параметры состояния. Из этих параметров будет сделан вывод, является ли полученный шаблон атакующим, или же он представляет собой обычное поведенческое состояние в сети. Если система смогла распознать новый шаблон как «потенциально опасный шаблон поведения», то она сообщает системному администратору о наличии

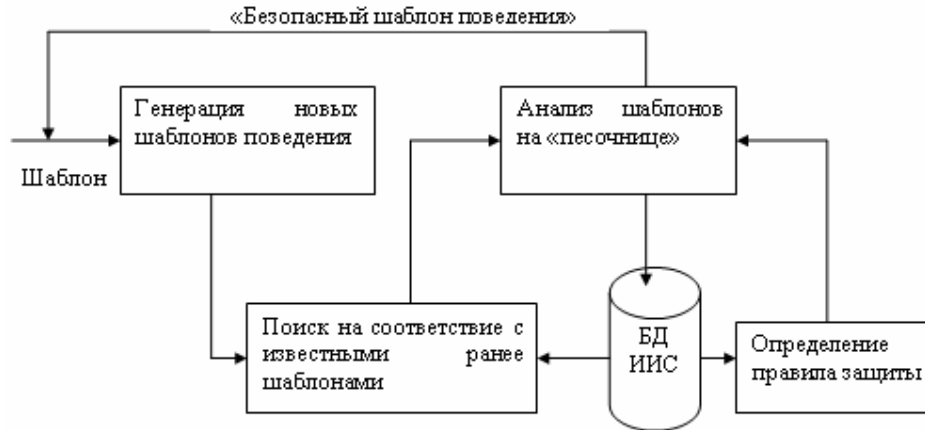
небезопасного участка в сети и рекомендации по её устранению, или же сама предпримет действия для локализации данной уязвимости. При новом шаблоне, который распознался как «безопасный шаблон поведения», этот шаблон записывается в базу системы, и при обнаружении активности в сети по этому шаблону, система не предпринимает ни каких действий.

Каждый компонент в сети представляет собой некое подобие детекторов, которые связаны друг с другом в одну логическую сеть. Детекторы атак анализируют деятельность системы, используя для этого событие или множество событий на соответствие заранее определенному образцу, который описывает известную атаку. Соответствие образца известной атаке называется *сигнатурой*.

В то же время, технология обнаружения аномального поведения рассматривается как более перспективная. Как показывает практика, новые атаки и вирусы могут быть легко сгенерированы из уже известных атак, лишь с небольшими изменениями. Для IDS это означает необходимость содержания и поиска данных по огромной и постоянно расширяющейся базе, что приводит к замедлению реакции устройств. К тому же, новая атака не может быть детектирована и отражена до тех пор, пока она не будет детерминирована и размещена в базе.

Детекторы аномалий предполагают, что атаки отличаются от "нормальной" (законной) деятельности и могут, следовательно, быть определены системой, которая умеет отслеживать эти отличия. Детекторы аномалий создают профили, представляющие собой нормальное поведение пользователей, хостов или сетевых соединений. Эти профили создаются, исходя из данных истории, собранной за период нормального функционирования системы. Затем детекторы собирают данные о событиях и используют различные метрики для определения того, что анализируемая деятельность отклоняется от нормальной

В свою очередь, для генерации данных детекторов может быть использован ещё один из алгоритмов ИИС – алгоритм отрицательного отбора. В отличие от клонального алгоритма, в данном алгоритме генерируются различные профили пользователей, хостов и сравниваются с профилями, которые были получены в результате нормального функционирования сети. Эти профили сравниваются со



Использование IDS на основе ИИС помогает достичь нескольких целей:

- Обнаружить вторжение или сетевую атаку;
 - Спрогнозировать возможные будущие атаки и выявить уязвимости для предотвращения их дальнейшего развития.
- Атакующая система, обычно, выполняет ряд предварительных действий, таких как, например, сетевое зондирование (сканирование) или иное тестирование для обнаружения уязвимостей целевой системы;

- Обеспечить контроль качества администрирования с точки зрения безопасности, особенно в больших и сложных сетях;
- Определить расположение источника атаки по отношению к локальной сети (внешние или внутренние атаки), что важно при принятии решений о расположении ресурсов в сети.

- Сенсорная подсистема, предназначенную для сбора событий, связанных с безопасностью защищаемой сети или системы;

- Подсистема анализа, предназначенная для выявления сетевых атак и подозрительных действий;

- Хранилище, в котором накапливаются первичные события и результаты анализа;
- Консоль управления, позволяющая конфигурировать IDS, наблюдать за состоянием защищаемой системы и IDS, просматривать выявленные подсистемой анализа инциденты.

Вывод

К основным преимуществам данной IDS на основе искусственной иммунной сети можно отнести следующее:

- Большое покрытие для мониторинга и, в связи с этим, децентрализованное управление;
- Возможность контроля над событиями локально относительно хоста;
- Функционирование в окружении, в котором сетевой трафик зашифрован;
- При добавлении нового узла, система автоматически адаптируется под изменённую сеть.
- Невозможность вывода из строя данной системы основными видами атак.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. 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.
3. Михалев А.И., Калиберда Ю.О. Математическая модель иммунной реакции на вторжение в компьютерную сеть // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 3 (56). – Том 2. – Днепропетровск, 2008. – С.175-178.

УДК 621.771

П.Э. Морозов

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Разработанная и запатентованная НИИАЧерметом система технического зрения – оптоэкстензометр – позволяет автоматизировать процесс измерения деформации образцов при проведении испытаний на растяжение. Основанная на оптоэкстензометре автоматическая измерительная система для модернизации разрывных машин внедрена более чем на 10 металлургических и машиностроительных предприятиях Украины и позволила довести имеющееся оборудование до современного уровня и обеспечить проведение испытаний согласно стандартам ДСТУ/ГОСТ, ASTM, ISO, DIN/EN, API, ABS и др. Ил. 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: система технического зрения, оптоэлектронный сканирующий экстензометр, автоматизация процесса измерения и обработки данных, диаграмма растяжения, механические испытания, разрывная машина, модернизация.

Постоянный рост требований потребителей к качеству металлопродукции и процессу контроля её характеристик, вынуждает производителей массово переходить на проведение испытаний по современным международным стандартам, которые диктуют год от года все более жесткие требования к оборудованию и методикам.

Среди прочих видов контроля механические испытания металлов на растяжение с использованием специализированных разрывных испытательных машин являются одним из наиболее информативных инструментов контроля качества металлопродукции. Получаемые в ходе таких испытаний диаграммы в координатах "напряжение-деформация" позволяют рассчитать механические характеристики, определяющие ключевые свойства металла – прочность, упругость, пластичность, сопротивление разрыву.

Для построения корректной диаграммы растяжения в процессе испытаний необходимо обеспечить ввод данных по двум каналам – усилия и удлинения. При этом если измерение усилия не представляет трудности, то качественное измерение деформации испытываемого образца непосредственно в процессе его нагружения

© Морозов П.Э., 2010

связано с трудностями. Так, для получения полной диаграммы контроль деформации должен проводиться от начала испытания до разрушения образца (при котором практически мгновенно высвобождается накопленная в образце энергия, что сопровождается сильной вибрацией и ударами) и характеризуется требованием высокой точности (особенно – на начальном, упругом участке диаграммы, где деформация составляет доли процента).

Известны разнообразные способы и устройства для измерения деформации: резистивные, механические и другие тензометры [1 – 4]. Их недостатком является небольшой диапазон измерений (как правило, до начала пластической деформации). При увеличении диапазона измерения точность существенно падает, а при разрыве образца разрушается и сам тензометр.

В последнее время также стали появляться высокоинформативные системы технического зрения (СТЗ) на основе матричных фотоприемников высокого разрешения, основное свойство которых – бесконтактность – позволяет полностью удовлетворить требования к информационному обеспечению механических испытаний материалов.

Отталкиваясь от перечисленных предпосылок, в НИИАЧермете разработали оптоэлектронный бесконтактный сканирующий измеритель деформации образца для испытаний материалов на растяжение (оптоэкстензометр) на базе матричного фотоприемника с выводом сигнала в телевизионном стандарте, сочетающий в себе удобство настройки и эксплуатации с высокой точностью и быстроедействие.

Ключевыми особенностями разработанной СТЗ – оптоэкстензомера – являются его высокая точность, удовлетворяющая требованиям современных стандартов на испытания, способность измерять деформацию образцов на расчетной длине от начала нагружения до разрыва без приостановки испытаний и дополнительных манипуляций с экстензометром и образцом, большой диапазон измерения деформаций, а также простота в настройке и эксплуатации, что немаловажно в заводских условиях.

Суть работы оптоэкстензомера заключается в том, что на поверхности образца, на расчетной длине друг от друга с помощью двух ножевых прижимов закрепляются световые маркеры, которые в

процессе испытаний удаляются друг от друга по линии, параллельной оси растяжения (деформации). Наблюдая с помощью матричного оптоэлектронного преобразователя (ОЭП) за перемещением проекций световых маркеров в поле зрения ОЭП, можно вычислить удлинение образца на расчетной длине.

Для повышения точности определения положения проекций световых маркеров, в качестве их координат приняты центры светимости. Поскольку удлинение образца при испытаниях на растяжение имеет принципиально одноосный характер, в процессе испытаний необходимо вычислять изменение положения световых маркеров только по одной координате – вертикальной, что упрощает задачу.

При традиционном подходе для определения вертикальной координаты центра светимости маркера, учитывая дискретный характер видеосигнала в отдельных строках, необходимо для каждой строки проинтегрировать амплитуды видеосигнала по строке. При этом формула для нахождения вертикальной координаты центра светимости проекции маркера y_u примет вид:

$$y_u = \frac{\sum (i \times U_i)}{\sum U_i}, \quad (1)$$

где i – номер строки, а U_i – интеграл величины видеосигнала в строке i :

$$U_i = \int A(x, i) dx, \quad (2)$$

где $A(x, i)$ – амплитуда видеосигнала в строке i , x – горизонтальная (вдоль строки видеосигнала) координата.

Расположив матричный телевизионный ОЭП таким образом, чтобы видимое перемещение световых маркеров происходило поперек строк, можно ограничиться вводом только одного обобщенного значения видеосигнала с каждой строки – максимальной амплитуды. При постоянной видимой форме светового маркера, это значение будет пропорционально интегралу амплитуды видеосигнала (2), и формула (1) примет вид:

$$y_u = \frac{\sum (i \times A_i)}{\sum A_i}, \quad (3)$$

где A_i – максимальная амплитуда видеосигнала в строке i .

Задачу выделения максимальной строчной амплитуды можно переложить на аппаратную часть оптоэкстензометра и получать, например, с помощью пик-детектора. При таком подходе количество информации, которое необходимо передавать с ОЭП в вычислительный модуль и затем обрабатывать, определяя координаты световых маркеров, резко сокращается (с 10 Мб/с при стандартном методе до 15 Кб/с – более чем в 600 раз).

Получаемый таким путем массив данных легко обработать в режиме реального времени не только с помощью компьютера, но и силами сравнительно маломощного контроллера – разработанный с применением описанного подхода в НИИАЧермете оптоэкстензометр ОЭ-01 вычисляет в непрерывном режиме координаты световых маркеров и деформацию образца 50 раз в секунду (см. рис. 1).



Рисунок 1 - Структурная схема оптоэкстензометра ОЭ-01

Оптоэкстензометр ОЭ-01 состоит из ОЭП, микропроцессорного блока сопряжения (МБС) и видеоконтрольного устройства (ВКУ). Обмен информацией с управляющим компьютером осуществляется по последовательному интерфейсу RS-232. Кроме вычисления координат световых маркеров и деформации образца, у МБС достаточно ресурсов для одновременного и синхронного ввода аналоговой информации от датчика усилия, управления объективом ОЭП для изменения поля зрения (диапазона измерения) оптоэкстензометра, контроля работоспособности и исправности оборудования, а также для обмена командами и данными с управляющим компьютером системы автоматизации механических испытаний на растяжение.

Характеристики оптоэкстензометра ОЭ-01 следующие:

- Диапазон начальных расчетных длин, мм 25...200
- Диапазон измерения деформации, % до 50
- Абс. погрешность измерения упругой деформации, мкм ± 5

- Относит. погрешность измер. пластич. деформации, % $\pm 0,5$

Иными словами, по результатам опытной эксплуатации оптоэкстензометра погрешность измерения деформации образца на расчетной длине составила порядка $\pm 4 \%$ от расстояния между строками развертки видеокадра ОЭП или $\pm 0,007 \%$ от его вертикального поля зрения. Оптоэкстензометр соответствует классу точности B1 ASTM E83 и классу 1 по DIN EN10002-4.

Говоря о точности, необходимо учитывать, что оптический метод измерения деформации для таких малых допустимых погрешностей чувствителен к изменению расстояний между ОЭП и образцом, яркости и однородности свечения световых маркеров, наклону образца и/или ОЭП относительно оси деформации и др. факторам.

Поскольку эксплуатировать оптоэкстензометр предполагается в заводских условиях, единственным способом получения гарантированного, метрологически надежного результата стало введение автоматической калибровки оптоэкстензометра перед каждым циклом измерения.

Суть автоматической калибровки заключается в следующем. На одном из ножевых прижимов для крепления световых маркеров на образце устанавливается дополнительный световой маркер – калибровочный – на фиксированном и аттестованном расстоянии L_K от основного, рабочего маркера, закрепленного там же (см. рис. 2).

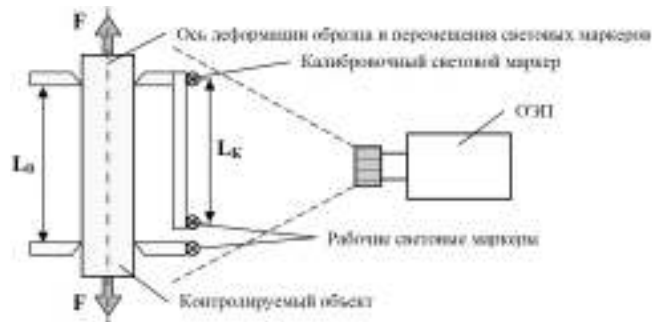


Рисунок 2 - Схема калибровки оптоэкстензометра

Непосредственно перед циклом измерения в течение нескольких секунд оптоэкстензометр рассчитывает видимое расстояние между указанными световыми маркерами и вычисляет масштабный коэффициент M по формуле:

$$M = \frac{L_K}{k_K - k_P}, \quad (4)$$

где k_K – координата проекции калибровочного светового маркера, k_P – координата проекции рабочего светового маркера, закрепленного на одном прижиме с калибровочным.

Тогда удлинение образца на расчетной длине ΔL_0 в ходе испытаний будет определяться по формуле:

$$\Delta L_0 = (k_{P2} - k_{P1}) \times M - L_0, \quad (5)$$

где k_{P1} и k_{P2} – координаты проекций двух рабочих световых маркеров, L_0 – начальное расчетное расстояние.

При установке на ОЭП вариобъектива калибровочный световой маркер позволяет реализовать еще один режим работы оптоэкстензометра – с автоматическим изменением поля зрения (диапазона измерения) и непрерывной калибровкой по мере увеличения деформации образца. Такой режим расширяет диапазон измеряемых деформаций и позволяет начинать испытания с минимальным полем зрения ОЭП (и, следовательно, максимальной точностью) и по мере необходимости увеличивать поле зрения, настраиваясь "на ходу" на измерение растущей деформации.

Описанный способ и устройство бесконтактного измерения деформации образца защищены патентом Украины [5]. При реализации оптоэкстензометра его основные параметры оптимизированы [6, 7].

На базе оптоэкстензометра в НИИАчермет разработана система для автоматизации испытаний на растяжение для разрывных испытательных машин [8]. Система выполняет следующие функции:

- автоматический ввод в компьютер в течение всего времени нагружения образца данных по усилию и удлинению;

- автоматический расчет механических свойств металла (условного или физического предела текучести, временного сопротивления, относительного равномерного удлинения, относительного удлинения после разрыва и др.);

- построение на экране компьютера диаграммы растяжения в масштабе от 5:1 до 500:1 с возможностью автоматической и ручной обработки, интерактивной настройки параметров просмотра, а также распечатки диаграммы на принтере;

- ведение компьютерного журнала (базы данных) испытаний с информацией о каждом испытании, в т. ч. – с диаграммой;

- распечатку на принтере и/или сохранение в виде текстового файла протокола единичного испытания или серии испытаний;

- выдачу информации о результатах испытаний и соответствующей им диаграмме растяжения по требуемым исходным данным (марке стали, номеру плавки, дате испытания и др.);

- обеспечение интерфейса оператора системы с предоставлением дополнительных функций (настройка системы, предоставление нормативно-справочной информации, округление результатов расчетов по различным стандартам, перевод расчетных величин в различные единицы измерения и др.).

В настоящее время система автоматизации механических испытаний внедрена более чем на 10 металлургических и машиностроительных предприятиях Украины. Все модернизированные разрывные машины метрологически аттестованы на соответствие требованиям современных отечественных, зарубежных и международных стандартов и широко применяется при контроле экспортной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измерения в промышленности. Справочник. Пер. с нем. – М. "Металлургия", 1980, 648с.
2. Zwick Materials Testing. Product Information. Zwick 066920 Optical Extensometer / Проспект фирмы № 7.22.1.93 PI-148, 6 с.
3. Патент Швейцарии № 679072 "Capteur et appareil de mesure du déplacement" ("Датчик и прибор для измерения перемещений") G01B 11/00, 1992 (РЖ ИСМ 82-08-93).
4. Универсальные системы фирмы Walter+Bai AG (Швейцария) для испытания материалов / Проспект фирмы, 19 с.
5. Патент Украины № 67889 А "Способ и устройство бесконтактного измерения деформации образца"
6. П.Э. Морозов, В.Я. Ободан. Расчет основных параметров оптоэлектронного экстензомера для систем автоматизации разрывных машин // Металлург. и горноруд. пром-сть. 1998. № 4. С. 84-86.
7. П.Э. Морозов. Определение целесообразной формы и размеров световых маркеров при контроле механических свойств проката оптоэлектронным методом // Вестник Харьковского Государственного Политехнического Университета. 1999. № 56 С. 69-74.
8. Система автоматизации разрывной машины с оптоэлектронным экстензометром / В.М. Кирсанов, Б.А. Перков, П.Э. Морозов, И.А. Иванова, В.Я. Ободан, А.И. Скрипниченко, А.Д. Малыш // Металлург. и горноруд. пром-сть. 1999. № 2. С. 72-76.

УДК 65.011.56:622.7.05

В.М. Назаренко, В.В. Тронь

МОДЕЛЬ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОСТІ ТА ДИНАМІЧНОЇ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ

В роботі розглянута можливість використання нечіткої системи аналізу багатокритеріальних варіантів в процесі керування завантаженням багатосекційної ємності за динамічного змінення параметрів об'єкту керування в умовах рудозбагачувальної фабрики. Запропоновано використання підсистеми динамічного визначення функцій приналежності секцій за критеріями на кожному кроці завантаження в процесі роботи системи. Показано можливість використання даної системи керування в умовах рудозбагачувальних фабрик.

Автоматизація, багатосекційна ємність, багатокритеріальність, динамічна зміна параметрів.

Постановка проблеми

Ефективність керування технологічними процесами збагачення багато в чому залежить від геолого-мінералогічних, фізико-механічних та хімічних параметрів вхідної сировини. На сучасному етапі розвитку засобів автоматизації з'явилася можливість вимірювання цих параметрів у вхідному потоці руди, котрий знаходить до збагачувальної фабрики. Спрямовуючи вхідний потік руди до тієї чи іншої секції багатосекційної ємності, у відповідності до його характеристик та параметрів руди, котра знаходиться у секціях даної ємності, можна досягти заданого значення параметрів вихідних потоків, котрі надходять до першої стадії збагачення. Впровадивши автоматизований контроль і керування процесом завантаження можна покращити не тільки ефективність даного технологічного процесу, а й фабрики в цілому.

Аналіз публікації за темою дослідження

Системи завантаження багатосекційних ємностей можна розділити на три групи [1], кожна з яких має власні особливості щодо використання в конкретних умовах гірничо-збагачувальних комбінатів. До першої групи належать системи човникового

© Назаренко В.М., Тронь В.В., 2010

завантаження, у яких завантажувальний пристрій (автостела чи кату чий конвеєр) здійснюють зворотно-поступальний рух над комірками бункера, рівномірно розсипаючи вхідний матеріал. До другої групи - системи завантаження по точкам, коли завантажувальний пристрій зупиняється над кожної коміркою, засипаючи її до верхнього контрольованого рівня, і змінює напрям свого руху у кінці і на початку (завантаження виконується тільки у прямому напрямку). До третьої групи - пошукові системи завантаження, у відповідності до яких завантажувальний візок переміщується до попередньо визначеної незаповненої комірки. У таких системах завантаження тривалість циклу є змінною величиною, границі інтервалу змінення якої визначаються необхідним часом завантаження найбільш віддалених комірок багатосекційної ємності.

Авторами [1] робиться висновок, що пошукові системи завантаження за якістю знаходяться дещо вище за інші системи. Найбільші переваги пошукових систем автоматики полягають у гнучкості їх електричних схем і у кращих можливостях пристосування до різних програм завантаження. Проте в ході своїх міркувань [1] не враховується час реверсу розвантажувального пристрою (автостели), а також робиться припущення, що продуктивність вхідного потоку сипкого матеріалу є сталою величиною.

Проте до завдання керування завантажувальними виникають не тільки у зв'язку із необхідністю забезпечення безперебійного живлення наступних технологічних ліній переробки, а й усереднення якісного складу руди в секціях [2]. Тому при завантаженні багатосекційних ємностей, котрі живлять декілька технологічних ліній виникає завдання сортування вхідного потоку руди для забезпечення заданих показників на виході кожної секції багатосекційної ємності.

Формулювання цілей статті

У розглянутих системах завантаження багатосекційних ємностей основна увага приділяється керуванню продуктивністю потоків сипких матеріалів, котрі надходять до секцій і недостатньо, на нашу думку, приділяється увага керуванню якісним складом потоків сипкого матеріалу, зокрема, вмістом корисного компоненту.

Проте на сьогодні дана проблема може бути розв'язана за допомогою сучасних розробок у галузі автоматики та комп'ютерної техніки.

Метою даного дослідження є розробка і дослідження нечіткої системи аналізу варіантів і прийняття рішень про черговість завантаження секцій багатосекційної ємності за наявності декількох критеріїв завантаження, котра б враховувала динаміку змінення параметрів секцій в процесі прийняття рішень.

Основна частина

Для дослідження можливості використання нечіткої системи прийняття рішень, запропонованої у [3] для керування процесом завантаження багатосекційних ємностей було розроблено її імітаційну модель. При цьому було враховано таку особливість технологічного процесу, як змінення параметрів (обсягу руди, вмісту корисного компоненту тощо) варіантів з плином часу. Для цього до системи керування було введено підсистему для перерахунку матриць відношень секцій та визначення оновлених функцій приналежності за кожним критерієм. Було прийнято, що продуктивність вхідного потоку, котрий надходить до автостели, продуктивність вихідних потоків, котрі вивантажуються із секції, а також коливання вмісту корисного компоненту у вхідному потоці руди є випадковими величинами із нормальним законом розподілу, що частково відповідає умовам залізорудних комбінатів Криворіжжя [4].

В даній системі було враховано три критерії: обсяг руди у секціях, подібність якісних характеристик руди у вхідному потоці та вже завантаженої до секції, відстань між автостелою і секціями. Відповідно до системи керування вводилися наступні інформаційні сигнали із відомостям про кожну секцію багатосекційної ємності: відстань від автостели до секції, обсяг руди у секції, різниця між середнім вмістом корисного компоненту у секції та вмістом корисного компоненту у вхідному потоці руди. Для урахування важливості критеріїв значення функції приналежності за кожним із них перераховувалося відповідно до коефіцієнту важливості критерію. Коефіцієнти було розраховано із використанням методики, аналогічної тієї, котра застосовувалося до процедури вибору секції. Коефіцієнт важливості критерію обсягу руди у секціях бункеру згідно розрахунків дорівнював 0,9846; коефіцієнт важливості критерію відстані до секцій - 0,1578; коефіцієнт важливості подібності якісних

характеристик руди - 0,0759. На основі отриманої інформації система керування визначала секцію для завантаження на наступному кроці.

Імітаційна модель секції багатосекційної ємності здійснювала розрахунок: відстані від автостели до даної секції, обсягу руди у секції, середнього вмісту корисного компоненту у руді даної секції. Поточне значення обсягу руди визначалося на основі рівняння матеріального балансу [5]; значення вмісту корисного компоненту реалізовано на основі моделі ідеального перемішування [6].

Підсистема визначення секції для завантаження на наступному кроці розроблено на основі відомої методики [3]. Для визначення функції приналежності секції за кожним i -м критерієм будувалася матриця A_i відношень рангів секцій. Всі елементи матриці A_i можуть бути розраховані за одним із рядків матриці. Тому, для побудови моделі визначався лише один рядок матриці, а інші елементи визначалися відповідно до опорного рядка. В даному випадку в якості опорної секції було взято секцію номер 1, як це видно на рис. 1.

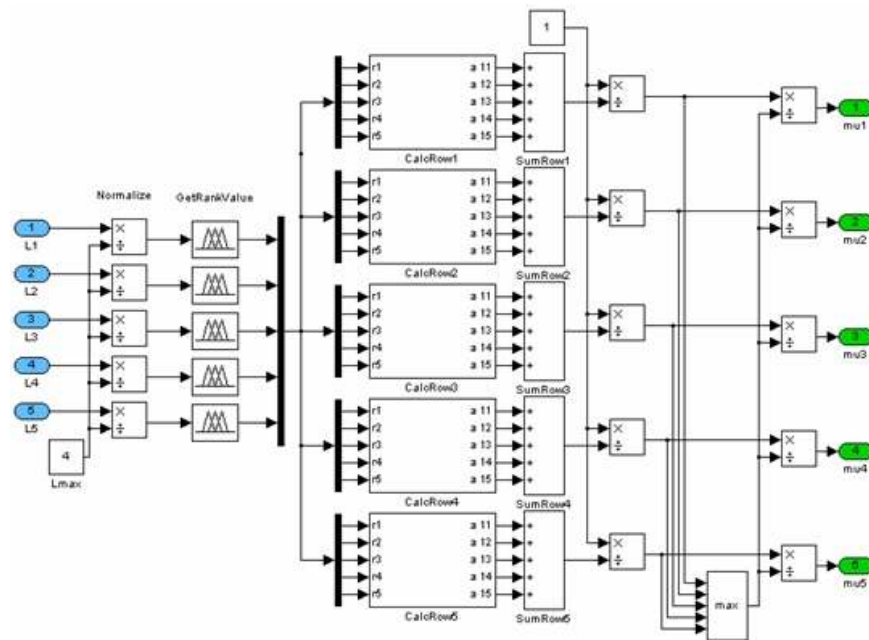


Рисунок 1 - Модель підсистеми обчислення функції приналежності

Значення кожного вхідного параметру, рис. 1, нормувалося і подавалося на вхід нечіткого контролеру, котрий визначав ранг секції за шкалою Сааті [7]. Нечітка система визначення рангів секції мала один вхід та один вихід. Узагальнено принцип функціонування

даної системи можна визначити правилом: чим більше значення параметру даного варіанту, тим меншим є його ранг. Це правило пояснюється існуванням зворотної залежності між параметрами системи, що розглядаються, та їхніми рангами. Наприклад, чим більша відстань до автостели, тим пріоритет секції менший, оскільки необхідно більше витрат електроенергії на переміщення автостели до даної секції; чим більший обсяг руди у секції, тим менший її пріоритет, оскільки запасу вистачить на більший проміжок часу тощо. На виході нечіткого контролера отримали значення елементів першої строки матриці. Далі розраховуємо [3] інші рядки матриці та функції приналежності. За допомогою розрахованих функціями приналежності визначалася секція, котра найкраще задовольняє всім критеріям із урахуванням їх важливості.

Для дослідження впливу кожного критерію на результати роботи системи завантаження моделювання проводилося при змінненні коефіцієнтів важливості кожного із критеріїв. Відповідно до кількості критеріїв, процес було розділено на три етапи, протягом котрих змінювався коефіцієнт важливості одного критерію, а інші коефіцієнти закріплювалися у межах їх середніх значень. В даному випадку коефіцієнти важливості змінювалися в наступних межах: за критерієм обсягу руди - 0,80; 0,85; 0,90; 0,95; 1,00; за критерієм відстані до секцій - 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; за критерієм подібності якісних характеристик - 0,01; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20.

При зростанні коефіцієнту важливості критерію обсягу руди спостерігалось зменшення амплітуди коливань обсягу руди у секціях багатосекційної ємності. Найменшу амплітуду коливань було отримано за максимального значення коефіцієнту важливості даного критерію, як це видно на рис. 2 (зліва).

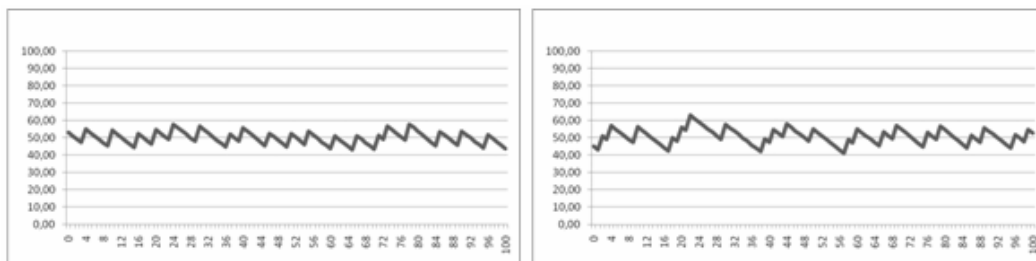


Рисунок 2 - Коливання обсягу руди у секції при збільшенні (зліва) і зменшенні (справа) відносної важливості критерію обсягу руди

При зростанні коефіцієнту важливості критерію подібності якісних характеристик за незмінного коефіцієнту важливості

критерію обсягу руди відбувалося істотне збільшення амплітуди коливань. Найбільшу амплітуду було отримано при значенні коефіцієнту 0,15, як це видно на рис. 2 (справа). При цьому критерій відстані до автостели значного впливу на змінення даного параметру не чинив.

Найкращий маршрут автостели, котрий характеризується переміщеннями автостели в процесі завантаження переважно між суміжними секціями, було отримано за максимального значення коефіцієнту важливості даного критерію - 0,2, як це видно на рис. 3 (зліва).

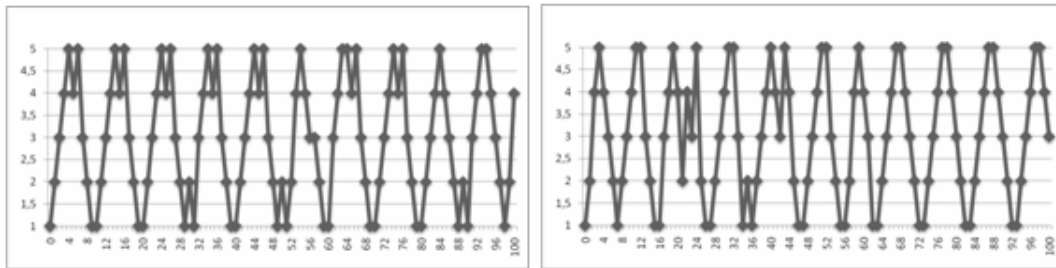


Рисунок 3 - Маршрути автостели при збільшенні (зліва) і зменшенні (справа) відносної важливості критерію відстані до секції

В даному випадку кількість секцій, що минаються автостелою без завантаження є мінімальною з усіх варіантів, котрі моделювалися. Зменшення коефіцієнту важливості погіршує маршрут, як це видно на рис. 3 (справа) – кількість переміщень без завантаження зростає.

Стабільність якісних показників потоку руди, котрий надходить до збагачувального обладнання, за думкою багатьох фахівців, можна вважати одним із найважливіших факторів ефективності процесів рудозбагачувальної технології. Як це видно на рис. 4 (зліва), збільшення коефіцієнту важливості даного критерію призводить до певної стабілізації вмісту корисного компоненту у вихідному потоці руди секції багатосекційної ємності.

При зменшенні відносної важливості даного критерію коливання вмісту корисного компоненту у вихідному потоці руди секції зростають, як це видно на рис. 4 (справа).

Висновки і перспективи подальших досліджень

Отже, результати дослідження роботи імітаційної моделі системи керування завантаженням багатосекційних ємностей говорить про те, що використання методів нечіткого аналізу

багатокритеріальних варіантів при побудові системи керування є доцільним. Для удосконалення системи керування необхідно провести дослідження можливості розрахунку оптимального обсягу порції матеріалу для завантаження на кожному окремому кроці роботи даної системи.

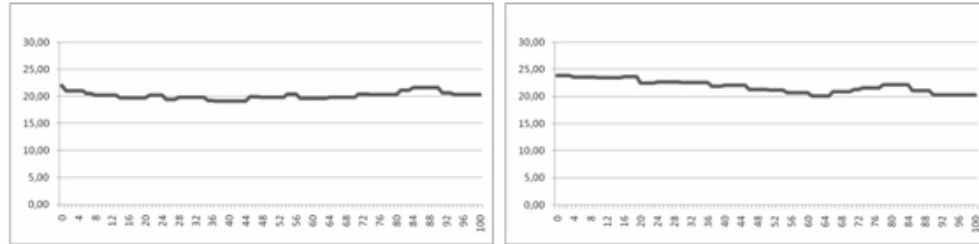


Рисунок 4 - Коливання вмісту корисного компоненту на виході секції при збільшенні (зліва) і зменшенні (справа) відносної важливості критерію подібності якісних характеристик

ЛІТЕРАТУРА

1. Троп А. Е., Шустов Г. И. Анализ систем автоматической загрузки бункеров на обогатительных фабриках // Труды Свердловского Ордена Красного Знамени горного института им. В. В. Вахрушева. Автоматизация технологических процессов на обогатительных фабриках. – 1970. – Вып. 68. – С. 78-84.
2. Казаков Е. Ю., Панич Ю. В. Синтез оптимального дискретного алгоритма управления передвижным устройством многосекционной емкости // Известия вузов. Горный журнал. – 1983. - №3. – С. 98-106.
3. Ротштейн А.П. "Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети." - Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. - 320 с.
4. Пурин В. П. Исследование и выбор рациональной технологии усреднения руд на горнообогатительных комбинатах: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.03; Кривой Рог, 1978. -157 с.
5. Хорольский В. П., Хорольский Д. В., Бабец Е. К. Типовые автоматизированные системы управления загрузкой бункеров обогатительной фабрики // Геотехнічна механіка. – Вип. 64. – Дніпропетровськ, 2006. – С. 84-90.
6. Шупов Л. П. Математические модели усреднения. – М.: Недра, 1978. – 287 с.
7. Саати Т. Л. Взаимодействие в иерархических системах // Техническая кибернетика. -1979. - №1. – С. 68-84.

УДК 629.4

В.В. Скалозуб, М.В. Скалозуб

О ПОСТРОЕНИИ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОДНОРОДНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Разработан метод управления типа Такаги-Сугено, который учитывает наличие различных возможных типов неопределенности параметров объектов. Предложена аксиоматическая мультипликативная структура агрегации выводов отдельных правил. Для реализации метода выполнена модификация компонентов библиотеки MATLAB Fuzzy Logic Toolbox.

Ключевые слова: база правил, управление Такаги-Сугено, неоднородная неопределенность, мультипликативная модель компромисса.

Введение

Исследуется проблема математического моделирования (свойств, поведения и т.п.) и управления сложными процессами или объектами (экономическими, техническими, технологическими и др.), которые выполняются в условиях многократной неопределенности, имеющей различные виды: случайность, неточность, нечеткость, их комбинации [1]. На практике оценка состояний объектов и их интерпретация, а также эффективность реализации процессов осуществляется по значениям некоторого набора параметров нормативного, интервального, статистического и нечеткого характера, которые поступают из нескольких источников. В большинстве случаев моделирование и управление осуществляется на основе моделей, однородных относительно вида неопределенности рассматриваемых величин, либо путем перехода к ним [2]. Развитие моделей и процедур управления, полно и корректно использующих по возможности все имеющиеся данные, полученные из нескольких источников или в различной форме, расширяет возможности методов моделирования сложных систем.

Анализ форм представления неопределенности параметров или состояний позволяет выделить ряд их источников. Прежде всего, это способ формирования контролируемых параметров математических моделей (детерминированные, статистические, нечеткие, нечетко-

статистические, статистически-нечеткие и др. величины [1, 2]). Другим источником является неоднозначность интерпретации результатов наблюдений явлений, использование различных методов измерений и описаний характеристик, исходя из допущений о свойствах процессов, требований точности и других. Далее – наличие нескольких источников информации, которые могут иметь разные методы наблюдений и не совпадать во времени. Наконец, представление сложных форм данных через обобщение более простых [1, 3]. Существование моделей величин с разными видами неопределенности отмечено уже в [3]. Такие свойства присущи многим сложным системам, что делает актуальным разработку приемлемых на практике методов управления в условиях неоднородной неопределенности параметров сложных систем.

Исходя из инвариантности относительно вхождения в модель вероятности расплывчатого события стохастических и нечетких характеристик событий [3], в [4] предложен метод нечетко-статистического управления (НСУ), который объединяет величины обоих видов неопределенности в рамках расширения классического модуля нечеткого управления и использует правила нечеткой импликации $\mu_{A \rightarrow B}(x, y)$. В нем учитывается неодинаковая вероятность возможных значений входных и выходных параметров модуля нечеткого управления. В статье выполнено развитие метода НСУ Такаги-Сугено при многократной неопределенности.

Величины со свойствами неоднородной неопределенности

Примером нечетко-случайной величины (НСВ – измеримой функции из вероятностного пространства в наборе нечетких величин), как описания нечетко-статистических явлений, является задача (Negiot and Ralescu) измерения глубины озера в случайно выбранных местах с использованием нечетких значений – «Глубоко», «Очень глубоко», «Около 6 метров» и др. [1, стр. 275]. Она может быть расширена следующим образом. Пусть после формирования НСВ «Глубина» проведено последовательно еще два измерения глубин и получены две стохастические модели глубины – $P1[h(x,y)>h^*]$, $P2[h(x,y)>h^*]$. Формирование математической модели, представляющей многокомпонентную неопределенность разных видов, предлагается выполнять следующим образом – в виде индекса $d(x) = \left[d_{D_1^N}(\bar{x}_1) \cdot d_{D_2^N}(\bar{x}_2) \cdot \dots \cdot d_{D_n^N}(\bar{x}_n) \right]^{1/n}$, рис. 1.

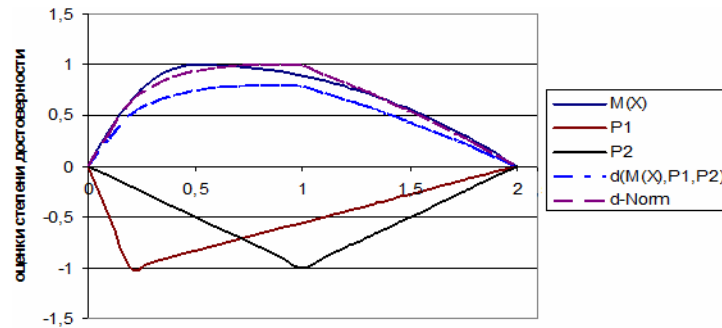


Рисунок 1 - Схема формирования индекса достоверности при много(трех)компонентной неопределенности

На рис. 1 отрицательные значения оси ординат соответствуют стохастическим моделям $P1[*]$, $P2[*]$, пунктирные линии – ненормированные и нормированные значения индекса $d(x)$. Далее показатель достоверности значений, индекс $d(x)$, может быть использован в процедурах вывода типа НСУ.

Примером возникновения величин с многокомпонентной неопределенностью в задачах моделирования и управления на транспорте является оценка остаточного ресурса несущей конструкции железнодорожного экипажа. Здесь нечетко-случайная величина – «удельная наработка»: расчетно-экспериментальная оценка наработки несущей конструкции на один цикл колебаний:

$$D = \sum \sum \{p_{ij}(X) = p_i^v(X) p_j^{\text{cond}}(X)\} S_{ij-E}^m, \quad (1)$$

где S_{ij-E}^m – эквивалентная сила при скорости V_i в условиях j – ого типа, P_i^v – вероятность движения со скоростью V_i ; P_j^{cond} – j – ый тип условий движения (прямая, кривые разного радиуса). Двойственная природа величин обусловлена тем, что вероятности условий могут быть оценены, а для скоростей – могут быть получены только нечеткие модели описания.

Модифицированный модуль Такаги-Сугено с аксиоматическими свойствами многократно неопределенного управления

Правила модифицированного модуля имеют вид:

$$\begin{aligned} R^{(1)} : & \text{IF}(x_1 \text{ это } D_1^1 \text{ AND } x_2 \text{ это } D_2^1 \dots \text{AND } x_n \text{ это } D_n^1), \\ \text{THEN } y_1 = & f^{(1)}(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ R^{(N)} : & \text{IF}(x_1 \text{ это } D_1^N \text{ AND } x_2 \text{ это } D_2^N \dots \text{AND } x_n \text{ это } D_n^N), \\ \text{THEN } y_N = & f^{(N)}(x_1, x_2, \dots, x_n), \end{aligned} \quad (2)$$

D_s – обобщенная оценка степени достоверности входных «сигналов» X_j .

$$d_{D_1}(\bar{x}_1) \cdot d_{D_2}(\bar{x}_2) \cdot \dots \cdot d_{D_n}(\bar{x}_n) \quad (3)$$

Вычисление «степени выполнения правил» – методы Мамдани, Ларсена:

$$W^1 = \begin{cases} \min \{d_{D_1}(\bar{x}_1), d_{D_2}(\bar{x}_2), \dots, d_{D_n}(\bar{x}_n)\} \\ \text{или} \\ d_{D_1}(\bar{x}_1) \cdot d_{D_2}(\bar{x}_2) \cdot \dots \cdot d_{D_n}(\bar{x}_n) = \prod_j d_{D_j}(\bar{x}_j) \end{cases}, \quad (4)$$

По оценкам сигналов X_j вычисляют

$$\bar{y}_1 = f^{(1)}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \quad (5)$$

Как известно, формирование выходного сигнала модуля управления Сугено выполняется согласно [2]:

$$\bar{y} = \sum_{k=1}^N w^k \bar{y}_k / \sum_{k=1}^N w^k \quad (6)$$

Структура модели выбора управления (6) является результатом аксиом предпочтения на основе абсолютной уступки [5]. Такая форма компромисса может быть приемлемой для линейных систем, ее ограничением является также и отсутствие априорного представления о возможных отношениях между результатами отдельных правил в решении (6). Другая модель компромисса правил (2), (5), соответствующая принципу относительной уступки, обеспечивает выбор управления с аксиоматически установленным набором свойств [5]. С учетом этого предлагается модифицированный метод многократно неопределенного управления Такаги-Сугено, использующий оценки активности правил согласно (3), (4) и мультипликативную модель агрегации выводов правил (2), (5).

Задача формирования структуры модели для определения компромиссной величины управления типа Такаги-Сугено, а также соответствующего метода неопределенного управления при заданных величинах мер неопределенности посылок (3) – (4), заключается в поиске обобщенного функционала на основе учета всех частных значений (2) $Y_j(k), j = 1, 2, \dots, m$. При формулировке модели "справедливого" компромисса $\{Y_j(k)\}_m$ будем придерживаться следующих предположений: симметрия (все Y_j являются равноправными); учитывается характеристика отклонения групповой

оценки; а также величина показателя для каждого $Y_j : Y_j^*(k_j)$. Такой тип компромисса $Y_j(k)$, $j=1,2,\dots,m$ определяется моделью относительной уступки [5], в соответствии с которой для каждого Y_j рассматривается нормируемая характеристика вида

$$\lambda_j = (Y_j^*(k_j) - Y_j^c(k_c)) / \max\{Y_j^*, Y_j^c\} \quad (7)$$

а компромиссно оптимальное значение рассчитывается на основе поиска экстремума следующей обобщенной функции:

$$\prod_{i=1}^b \lambda_i = \prod_{i=1}^m Y_i^c(k_c) \Rightarrow \max_{k_c} \quad (8)$$

В (7), (8) через Y_j обозначено значение функции согласно (2), k_c – номер итерации компромиссной модели (7), для управления Такаги-Сугено $k_c=1$.

С учетом (7), (8) получаем следующий модифицированный метод управления типа Такаги-Сугено:

$$Y = \sum_i \omega_i \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n y_i^{\omega_i}} \quad (9)$$

где n – количество активных правил вывода; y_i – функции выходной величины, полученная в результате вывода по правилу i ; ω_i – степень неопределенности правила « i » (4).

На рис. 2. представлены примеры образования показателей многокомпонентной неопределенности для множественных чисел D_s , которые отвечают произведению в (4). При этом также происходит нормирование, что обеспечивает унифицированное представление разного количества форм неопределенности. Соответственно рис. 2, оценка $d(x=1.5)$ при учете лишь степени принадлежности нечеткой величины $M(X)$ равняется 0.8, при представлении как нечетко-статистической величины – 0.37, а в случае трехкомпонентной неопределенности за счет использования дополнительной информации $d(x=1.5)=0.5$.

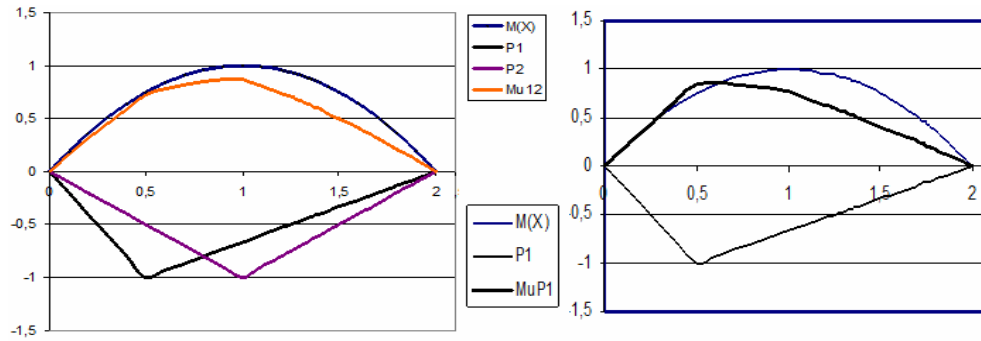


Рисунок 2 - Формирование показателей нечетко-статистической трехкомпонентной неопределенности

На рис. 3 приведен пример сравнения результатов реализации мультипликативного вывода Y_* , а также стандартного управления Такаги-Сугено Y .

Модификация компонентов моделирования нечетких систем MATLAB

Для реализации предложенных методов и процедур неоднородного и нечетко-статистического моделирования и управления был доработан компонент MATLAB Fuzzy Logic Toolbox, который поддерживает все фазы разработки нечетких систем, включая синтез, исследование, проектирование, моделирование в режиме реального времени. Был создан код для функции принадлежности и процедур формирования заключений по методу Сугено. Усовершенствование функций компонентов MATLAB направлено на обеспечение возможности моделирования и управления с использованием величин с многократной неопределенностью в форме предложенных выше моделей образования интегрированных показателей. Чтобы оптимизировать системы нечеткого вывода, а также системы вывода с многократной неопределенностью, было разработано несколько специализированных программ.

	Y	My		Y	My
y1	1,5	0,5	y1	2,6	0,6
y2	3,6	0,3218	y2	1,5525	0,3
y3	1,7	0,25	y3	1,1	0,45
Y		2,1772	Y		1,8672
Y*		2,0088	Y*		1,7405

Рисунок 3 - Модифицированный мультипликативный вывод Такаги-Сугено

Они позволяют изменять вес правил системы нечеткого (с многократной неопределенностью) вывода, а также редактировать вид функций принадлежности входной величины, функций других типов неопределенности, на основе поиска наименьшей невязки системы.

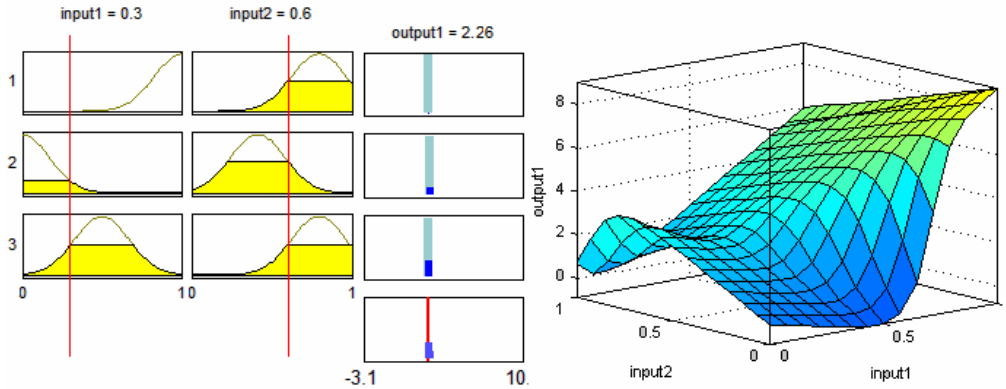


Рисунок 4 - Реализация нечетко-статистического управления средствами библиотеки модифицированных функции MATLAB

Рассмотрим модифицированный модуль Такаги-Сугено с тремя правилами:

$$R^{(1)} : \text{IF}(x_1 \text{ это большое AND } x_2 \text{ это среднее}), \text{ THEN } y_1 = 2 + 7x_1 - 3x_2$$

$$R^{(2)} : \text{IF}(x_1 \text{ это малое AND } x_2 \text{ это малое}), \text{ THEN } y_1 = -2x_1 + 5x_2$$

$$R^{(2)} : \text{IF}(x_1 \text{ это среднее AND } x_2 \text{ это среднее}), \text{ THEN } y_1 = 2 + 7x_1 - 3x_2$$

Его исходный сигнал («управление») определяется нечетко-статистическими параметрами x_1 и x_2 . Значение исходной величины модуля НС управления – по формуле (6), в которой W_k являются интегрированными оценками состояний неопределенности правил $R(k)$. В итоге получено значение параметра управления $y=2.26$. На рис. 4 приведены правила и поверхность вывода для классического модуля – при учете лишь нечеткой составляющей условий управления значения параметра управления $y=2.33$.

Выводы

В работе развит подход к управлению в условиях неоднородной неопределенности параметров сложных систем. Разработанный модифицированный метод управления типа Такаги-Сугено на основе мультипликативной модели агрегации заключений правил базы знаний учитывает наличие различных возможных типов неопределенности параметров объектов. Реализация метода получена путем модификации компонентов MATLAB Fuzzy Logic Toolbox.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лю Б. Теория и практика неопределенного программирования / Б. Лю; Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 416 с.
2. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. – М.: Изд-во Машиностроение, 2004. – 378 с.
3. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. – М.: Мир, 1976. – С.172 – 215.
4. Скалзуб В.В. Метод и информационные технологии нечетко-статистического управления. Системні технології, 1' (50), 2008. С. 120 – 127.
5. Емельянов С.В., Борисов В.И., Малевич А.А. Модели и методы векторной оптимизации // В сб. Итоги науки и техники. Техническая кибернетика. - М. Изд. ВИНТИ, т. 5, 1983. - С. 386 - 448.

УДК 519.711

О.М. Швец

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПО ЧАСТОТНОМУ СПЕКТРУ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ БАЗЫ НЕЧЕТКО-СТАТИСТИЧЕСКИХ ПРАВИЛ

Разработана экспертная система классификации объектов по данным их частотного спектра. Система основана на базе нечетко-статистических правил и методе нечеткого управления. Нечеткая составляющая отражает знания эксперта, а статистическая – данные о фактическом состоянии объектов. Приведен пример решения задачи диагностики электродвигателей в условиях рабочей нагрузки.

Ключевые слова: нечетко-статистический, классификация, частотный спектр, адаптивный.

Введение

В работе представлена экспертная система (ЭС) классификации объектов по данным их частотного спектра. Основой ЭС является база нечетко-статистических правил (БНСП) [1] и метод нечеткого управления [2]. Нечеткая компонента БНСП отражает субъективные знания эксперта о частотном спектре объектов. Статистическая составляющая БНСП отображает фактический частотный спектр эталонных объектов классификации и формируется автоматически в процессе адаптации ЭС.

Пусть задано множество исследуемых объектов $B = \{b_j\}, j = \overline{1, N_B}$ и множество классов исследуемых объектов $C = \{c_l\}, l = \overline{1, N_C}$. Предлагаемая ЭС определяет степени принадлежности объекта к каждому из классов. Обозначим через $S_j^l \in [0,1]$ степень принадлежности объекта b_j классу c_l . Для формирования базы нечетких правил используется множество обучающих объектов $P = \{p_a\}, a = \overline{1, N_P}, P \subset B$. Объект b_j может быть использован в качестве обучающего объекта p_a , если эксперт установил его степень принадлежности к одному из классов $c_l, l = g$ равной единице, а к

остальным классам – ноль: $S_j^l = \begin{cases} 1, l = g \\ 0, l \neq g \end{cases}$. Принадлежность обучающего объекта p_a к классу c_l обозначим через $p_a := c_l$.

Структура экспертной системы

На рис. 1 представлена структура экспертной системы нечетко-статистической классификации объектов по частотному спектру.

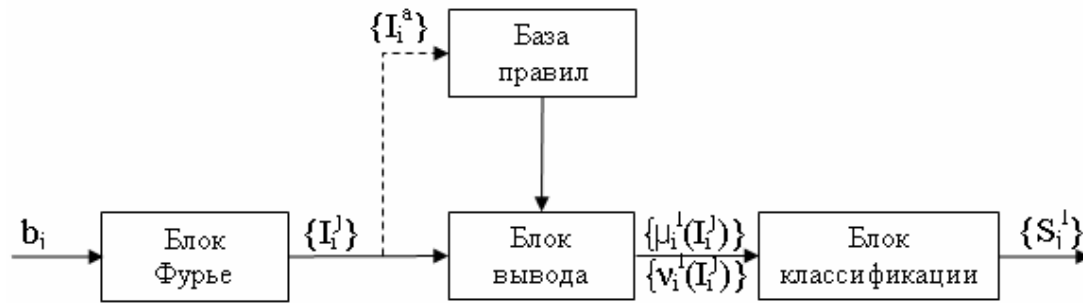


Рисунок 1 - Структура экспертной системы классификации объектов по частотному спектру на основе адаптивной базы нечетко-статистических правил

Снятый с объекта сигнал подается на АЦП для дискретизации. Частотный спектр сигнала объекта получается посредством быстрого преобразования Фурье (БПФ) [3]. Результатом БПФ является представление объекта множеством гармоник $H = \{h_i\}, i = \overline{1, N_H}$ преобразования Фурье. Частотное разрешение гармоник Δf при этом составляет $\Delta f = \frac{f_{\max}}{N_h}$ Гц, где $f_{\max}$ - максимальная частота спектра дискретизированного сигнала исследуемого объекта. Частота h_i гармоники равна $f_i = i * \Delta f, i = \overline{1, N_H}$ Гц. Каждая гармоника в множестве $\{h_i\}$ представляется парой коэффициентов $(Re_i, Im_i), i = \overline{1, N_H}$. Для каждой гармоники преобразования Фурье вычисляется интенсивность частоты I_i согласно

$$I_i = \sqrt{Re_i^2 + Im_i^2}, i = \overline{1, N_H}. \quad (1)$$

Для построения базы правил ЭС был использован метод нечеткого управления Такаги-Сугено [2] и метод нечетко-статистического управления (НСУ) [1]. В рамках метода НСУ для вычисления принадлежности входной величины нечеткому множеству используется функция плотности ν , построенная на основе обработки статистических данных входной величины.

Для каждого класса c_l существует свое правило, определяющее степень принадлежности объекта b_j к классу c_l . Правила представлены в следующем виде:

$$R^{(l)} : IF((I_1^j \text{ is } I_1^l) AND (I_2^j \text{ is } I_2^l) \dots AND (I_{N_H}^j \text{ is } I_{N_H}^l)) \\ THEN S_j^l = f^{(l)}(\{\mu_i^l(I_i^j)\}, \{\nu_i^l(I_i^j)\}), \quad i = \overline{1, N_H}, \quad (2)$$

где I_i^l - нечеткое множество интенсивности i -ой гармоники l -го класса объектов, представленное функцией принадлежности μ_i^l и функцией плотности ν_i^l (5); $f^{(l)}$ - функция вычисления значения степени принадлежности S_j^l объекта b_j к классу c_l .

Для формирования БНСП необходимо задать функции μ_i^l и ν_i^l $l = \overline{1, N_C}, i = \overline{1, N_H}$. Функции μ_i^l определяются экспертом субъективно на основании его знаний о частотном спектре исследуемых объектов. Для определения функций ν_i^l ЭС должна быть обучена на множестве обучающих объектов P . Частотный спектр каждого обучающего объекта p_a представляется множеством интенсивностей гармоник $\{I_i^a\}, i = \overline{1, N_H}$. Диапазон фактических значений I_i^a разбивается на N_T^l равных интервалов. Каждый обучающий объект p_a принадлежит некоторому классу объектов c_l . В свою очередь, каждому c_l соответствует свое значение числа интервалов $N_T^l, l = \overline{1, N_C}$. Шаг разбиения значений i -ой интенсивности гармоник I_i^a для класса объектов c_l обозначим ΔT_i^l и будем вычислять согласно

$$\Delta T_i^l = \frac{(\max_a(I_i^a) - \min_a(I_i^a))}{N_T^l}, (i = \overline{1, N_H}; l = \overline{1, N_C}; \forall a, p_a := c_l). \quad (3)$$

Обозначим через $T_{i,q}^l$ q -ый интервал значений i -ой гармоники l -го класса объектов согласно

$$T_{i,q}^l = ((q-1) * \Delta T_i^l; q * \Delta T_i^l], q = \overline{1, N_T^l}. \quad (4)$$

Плотность значений i -ой гармоники класса c_l задается при помощи функции плотности $\nu_i^l(I_i^j) : R_+ \rightarrow [0, 1]$, где I_i^j - величина интенсивности i -ой гармоники объекта b_j . Форма функции ν_i^l задается в процессе «обучения» экспертной системы на множестве

$P = \{p_a\}, a = \overline{1, N_p}$. Значения функции ν_i^l определяются следующим образом:

$$\nu_i^l(I_i) = \frac{\sum_a W_{i,q}^l(I_i^a)}{\max_q \sum_a W_{i,q}^l(I_i^a)}, \quad (5)$$

где q выбирается из условия $I_i \in T_{i,q}^l$, $W_{i,q}^l(I_i)$ - функция принадлежности интенсивности I_i^a к интервалу $T_{i,q}^l$. $W_{i,q}^l$ определяется согласно:

$$W_{i,q}^l(I_i) = \begin{cases} 1, I_i \in T_{i,q}^l \\ 0, I_i \notin T_{i,q}^l \end{cases}. \quad (6)$$

На вход блока вывода подается множество интенсивностей гармоник $\{I_i^j\}$ объекта b_j . Процесс вывода использует базу нечетких правил (2), что позволяет учитывать как субъективную экспертную оценку (функции μ_i^l) так и накопленные в процессе обучения ЭС данные статистики (функции ν_i^l). Степень принадлежности i -ой гармоники объекта b_j 1-му классу определяется при вычислении значений функций принадлежности $\mu_i^l(I_i^j)$ и функций плотности $\nu_i^l(I_i^j)$ $l = \overline{1, N_C}, i = \overline{1, N_H}$.

Задачей блока классификации является вычисление значений степеней принадлежности S_j^l объекта b_j к каждому из классов c_l . В качестве входных данных для этого используются множества значений $\{\mu_i^l(I_i^j)\}$ и $\{\nu_i^l(I_i^j)\}$. При вычислении S_j^l также используется множество $\{G_i^l\}$, где G_i^l - значение центра интенсивности i -ой гармоники 1-го класса объектов, вычисленное согласно

$$G_i^l = (q - 0,5) * \Delta T_{i,q}^l, \quad (7)$$

где значение q выбирается из условия $\sum_a W_{i,q}^l(I_i^a) \rightarrow \max$. Значения степеней принадлежности S_j^l вычисляются согласно

$$S_j^l = \frac{\sum_i \mu_i^l(I_i^j) * \nu_i^l(I_i^j) * G_i^l}{\sum_i G_i^l}. \quad (8)$$

Пример использования экспертной системы

Представленная ЭС классификации объектов по частотному спектру на основе адаптивной БНСП была использована для разработки программно-аппаратного комплекса диагностики электродвигателей (ЭД). Проводилась диагностика ЭД постоянного тока железнодорожных стрелочных переводов моделей ДП 0.18, ДП 0.25, МСП 0.15 и МСП 0.25. В работе [4] были исследованы альтернативные подходы к решению задачи диагностики электродвигателей методами нейронно-сетевого моделирования.

Установлено, что возникновение каждого вида неисправности приводит к появлению в спектре тока двигателя новых гармоник определенной частоты и интенсивности. Ток двигателя в режиме рабочей нагрузки подавался на АЦП: частота дискретизации составляла $f_d = 11025$ Гц, разрядность выборки - 16 бит. С целью дальнейшей программной обработки полученная последовательность дискретных значений записывалась в wav-файлы, соответствующие стандарту файлов uncompressed Microsoft PCM audio. Согласно теореме Найквиста-Котельникова максимальная частота спектра $f_{\max}$ после дискретизации аналогового сигнала составила $f_{\max} = 0,5 * f_d = 5512,5$ Гц, что оказалось достаточным для отражения физических процессов в двигателе. Частотный спектр тока двигателя был получен с использованием БПФ. Размер блока БПФ F_s выбирался равным $F_s = 512$. В результате обработки ток двигателя был представлен множеством гармоник преобразования Фурье: $H = \{h_i\}, i = \overline{1, N_H}$, где $N_H = 0,5 * F_s = 256$. Частотное разрешение гармоник спектра Δf при этом составило $\Delta f = \frac{f_{\max}}{N_H} \approx 21,5$ Гц. Для каждой гармоники преобразования Фурье вычислялась интенсивность частоты I_i согласно (1).

Задача выявления неисправностей в различных моделях ЭД стрелочных переводов потребовала создания отдельной БНСП для каждой из моделей. Разработанное приложение позволяет осуществлять групповую диагностику множества ЭД заданной модели, используя wav-файлы рабочего тока исследуемых двигателей. Для этого пользователь должен задать модель ЭД и путь к папке, содержащей wav-файлы. Внешний вид окна разработанного

приложения и пример результатов диагностики ЭД постоянного тока железнодорожных стрелочных переводов модели МСП 0.25 по станции Днепропетровск представлены на рис 2.

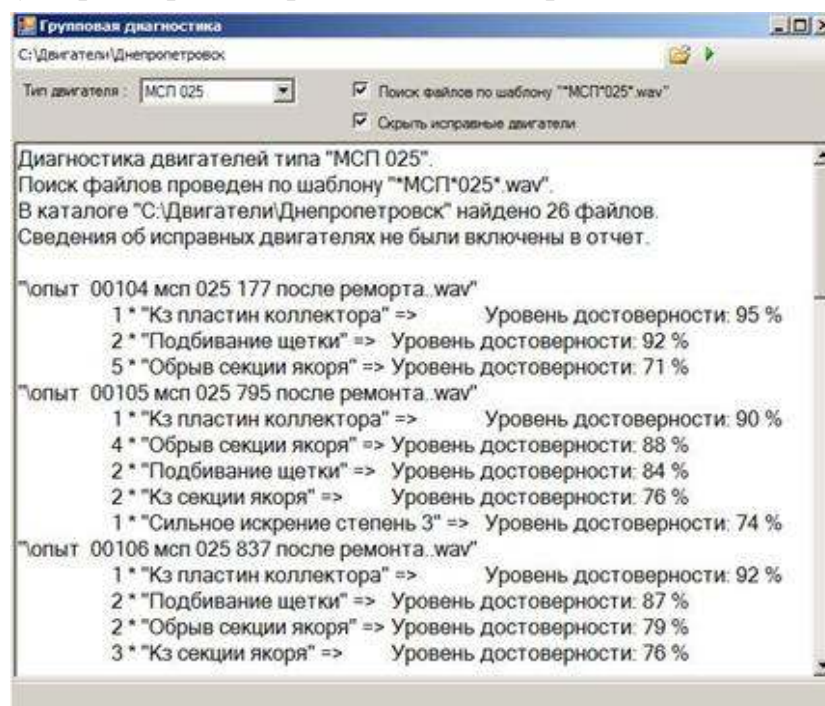


Рисунок 2 - Окно модуля групповой диагностики электродвигателей

Использование ЭС нечетко-статистической классификации по частотному спектру для решения задачи диагностики электродвигателей постоянного тока железнодорожных стрелочных переводов позволяет обнаруживать одновременно нескольких видов неисправностей в ЭД, которые имеют место с различной степенью принадлежности. Диагностика ЭД производится в режиме рабочей нагрузки.

Выводы

Представленная экспертная система классификации объектов по данным их частотного спектра основана на методе нечетко-статистического управления, что позволяет использовать совместно знания эксперта и данные статистики. Автоматизированная адаптация базы правил ЭС осуществляется в процессе ее обучения на множестве эталонных объектов. Работоспособность ЭС подтверждена при решении задачи диагностики электродвигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скалозуб В.В. Метод и информационные технологии нечетко-статистического управления. «Системні технології», 1' (50), 2008. С. 120 – 127.
2. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006.
3. Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления сверток. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1985.
4. Скалозуб В.В., Швец О.М. Нейросетевые модели диагностики электродвигателей постоянного тока // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №4. – С. 7-11.

УДК 669.186.517

Камкина Л.В., Яковлев Ю.Н., Величко А.Г.,
Стовпченко А.П., Стовба Я.В.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВСПЕНИВАНИЯ
МЕТАЛЛА ПРИ ВАКУУМИРОВАНИИ НА ОСНОВЕ ФИЗИКО-
ХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЕГАЗАЦИИ**

Аннотация. Представлена физико-химическая модель процесса окисления углерода в жидкой стали, которая осуществляется в двухфазной системе (металл-газ). Рассмотрены особенности образования и роста пузырей CO и произведена оценка влияния количества центров зарождения пузырей на содержание растворенного кислорода в металле. В процессе окисления углерода образующиеся пузыри CO увеличивают объем металла, в результате чего металл вспенивается. Подъем уровня металла может служить показателем для контроля за ходом процесса.

Ключевые слова: вакуумирование, физико-химическая модель, обезуглероживание, пузыри CO, вспенивание металла.

Введение

При ковшевой обработке стали используют совмещенные процессы продувки металла инертными газами и вакуумирование с целью удаления растворенных в металле газов – кислорода и водорода. Удаление растворенного кислорода осуществляется за счет протекания реакции обезуглероживания, а водорода – за счет выделения его в виде молекул, образующих пузырьки газа.

Модель физико-химических процессов при обезуглероживании стали

Процесс окисления углерода в жидкой стали протекает в двухфазной системе (металл-газ). При математическом описании и анализе таких процессов необходимо учитывать двух масштабных уровней их реализации: мелкомасштабного (уровня отдельных включений дисперсной фазы) и крупномасштабного (уровня областей, содержащих достаточно большое количество частиц дисперсной фазы) [1]. Сложность такого описания дополняется вероятностными условиями зарождения дисперсной фазы.

© Л.В. Камкина, Ю.Н. Яковлев, А.Г. Величко, А.П. Стовпченко,
Я.В. Стовба, 2010

В общем виде модель, описывающая крупномасштабный массообмен, состоит из дифференциальных уравнений в частных производных переноса кислорода в шлаке и металле с соответствующими источниковыми членами, уравнения переноса углерода в металле также с источниковыми членами и на границах фаз [2]. Уравнения для одномерного переноса имеют следующий вид:

$$\frac{\partial(O)(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{D_S}{H_S^2} \frac{\partial^2(O)(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{q_{SI}}{H_S}, \quad (1)$$

кислорода в металле

$$\frac{\partial[O](x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{D_M}{H_M^2} \frac{\partial^2[O](x, \tau)}{\partial x^2} - bV_C + \frac{q_M}{H_M} - \frac{bq_C}{H_M}, \quad (2)$$

углерода в металле

$$\frac{\partial[C](x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{D_M}{H_M^2} \frac{\partial^2[C](x, \tau)}{\partial x^2} - V_C - \frac{q_C}{H_M}, \quad (3)$$

где (O) , $[O]$, $[C]$ - концентрации кислорода в шлаке и металле, углерода в металле, кг/м^3 ; D_S и D_M - эффективные коэффициенты диффузии в шлаке и металле $\text{м}^2/\text{с}$; H_S и H_M - толщины слоев шлака и металла, м, q_{SI} , q_M - источниковые члены, характеризующие поступление дутьевого кислорода в шлак и металл, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; q_C - источниковый член, определяющий окисление углерода в реакционной зоне при продувке ванны кислородом, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, b - пересчетный коэффициент; V_C - источниковый член, описывающий расход кислорода и углерода на реакцию (скорость окисления углерода), $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$; x - безразмерная координата; τ - время. Концентрация кислорода в шлаке - (O) рассчитывалась по концентрации (FeO) в шлаке.

Для крупномасштабного уровня [3, 4] реакцию окисления углерода следует рассматривать как квазимогенную и источниковый член, определяющий скорость окисления углерода имеет вид

$$V_C = K_V x^n [C](x, \tau) ([O](x, \tau) - [O]_R(x, \tau)), \quad (4)$$

где K_V - константа скорости реакции окисления углерода для крупномасштабного уровня, определяемая статистической обработкой экспериментальных и производственных данных; $[C]$ и $[O]$ - текущие локальные концентрации углерода и кислорода, $[O]_R$ - концентрация кислорода, равновесная с углеродом.

Равновесная с углеродом концентрация кислорода в металле определялась по известному выражению

$$[O]_r(x, \tau) = \frac{P_{AT} + \rho \cdot g \cdot H_M \cdot (1-x) \cdot 10^{-5}}{K_C \cdot [C] \cdot (x, \tau)}, \quad (5)$$

где P_{AT} – давление над расплавом, ρ – плотность металла, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; K_C – константа равновесия реакции обезуглероживания, которая была пересчитана для концентраций, выраженных в кг/м³. В алгоритме решения модели заложено условие зарождения пузырей СО на подине и роста их со скоростью, пропорциональной площади их поверхности. Для расчетов эффективных коэффициентов диффузии с учетом мощности перемешивания и глубины слоев металла и шлака использованы выражения полученные по данным гидравлического моделирования [4]. Расчетами И.Г. Казанцева [5] показано, что собственно химическая реакция между кислородом и углеродом достигает равновесия за 10^{-6} с и не может лимитировать процесса окисления углерода.

Использование модели к конкретным агрегатам осуществлялась постановкой граничных условий и выбором источников членов. Для мартеновских и электрических печей без продувки ванны кислородом на границе газ-шлак принято граничное условие второго рода

$$\frac{D_S}{H_S} \cdot \frac{\partial(O)(1, \tau)}{\partial x} = q_g, \quad (6)$$

где q_g – поток кислорода на поверхность ванны (окислительная способность печи), кг/(м²с). На границе шлак-металл приняты граничные условия третьего рода.

$$\frac{D_S}{H_S} \frac{\partial(O)(0, \tau)}{\partial x} = \frac{D_M}{H_M} \frac{\partial[O](1, \tau)}{\partial x} = \beta_S [a_{FeO} \cdot L_0 - [O](1, \tau)], \quad (7)$$

где β_S – коэффициент массопередачи между шлаком и металлом, м/с; a_{FeO} – активность (FeO) в шлаке; L_0 – коэффициент распределения кислорода между металлом и шлаком, пересчитанный на концентрации, выраженные в кг/м³. Для уравнений на подине и на границе металл-шлак устанавливаются условия непроницаемости:

$$\frac{\partial[C](1, \tau)}{\partial x} = \frac{\partial[O](0, \tau)}{\partial x} = \frac{\partial[C](0, \tau)}{\partial x} = 0 \quad (8)$$

Источниковые члены - q_s , q_r , q_m , q_c задавались, исходя из конкретных условий процесса, то же относится и к начальным условиям:

$$(O)(x,0) = (O)_n; [C](x, 0) = [C]_n; [O](x, 0) = [O]_n \quad . \quad (9)$$

Численная реализация модели крупномасштабного уровня производилась по явной конечно-разностной схеме.

Система уравнений переноса мелкомасштабного уровня составлена на основе теории диффузионного переноса, который и лимитирует процесс обезуглероживания. В основу расчетов положено дифференциальное уравнение приращения массы пузыря СО через диффузионный поток кислорода из объема металла к поверхности пузыря:

$$dm = \beta_0 S ([O] - [O]_r) d\tau, \quad (10)$$

где S - поверхность пузыря, τ - время, β_0 - коэффициент массоотдачи кислорода из объема металла к поверхности пузыря, величина которого для примесей, растворенных в металле, определяется по формуле Ричардсона:

$$\beta \approx 0,8 \cdot \left(\frac{D \cdot g^{1/2}}{r^{1/2}} \right)^{1/2}, \quad (11)$$

где D - коэффициент диффузии примеси в металле; r - радиус пузыря. За основу расчетов положено грибовидная форма пузыря.

Оценка вероятности зарождения и роста пузырей

Математическое описание процесса обезуглероживания только на уровне мелкомасштабного массообмена требует определения количества центров образования пузырей, частоты их образования и скорости роста.

Согласно известным данным [6], пузырь радиусом 0,0005 - 0,001 см существовать не может из-за высокого давления сил поверхностного натяжения. В работе принято, что сечение поры на границе с металлом - круг, а зародыш пузыря имеет сферическую форму с радиусом равным радиусу поры. Рост пузыря продолжается до достижения им отрывного радиуса, равного

$$r_{OT} = \left(\frac{3 \cdot r_p \cdot \sigma}{2 \cdot g \cdot (\rho_M - \rho_o)} \right)^{1/3}, \quad (12)$$

где r_P - радиус поры, σ - поверхностное натяжение, ρ_M и ρ_G - плотности металла и СО в пузыре. Приращение массы пузыря в процессе роста

$$dm = \beta_O \cdot S \cdot ([O] - [O]_R) d\tau, \quad (13)$$

где S - поверхность пузыря, τ - текущее время.

Подстановка величин поверхности и объема пузыря в уравнение приращения массы пузыря (13) дает выражение

$$dr = \frac{\beta_O \cdot ([O] - [O]_R)}{\rho_O} d\tau. \quad (14)$$

Для постоянной глубины зарождения пузыря СО

$$\rho_O = \frac{28 \cdot P_{MAX}}{1000 \cdot R \cdot T}, \quad (15)$$

где $P_{MAX} = P_{AT} + \rho_M g H_M + \rho_S g H_S + 2\sigma / r$ - максимальное давление на глубине зарождения пузыря, в котором, ρ_S и H_S плотность и толщина слоя шлака. Величина β_O может быть вычислена по формуле (11), в которую скорость всплывания введена как функция радиуса

$$\beta_O = \left(\frac{D_O g^{1/2}}{r^{1/2}} \right)^{1/2}, \quad (16)$$

где D_O - коэффициент диффузии кислорода в металле.

После подстановки (16) в (14) имеем

$$r^{1/4} dr = \frac{D_O^{1/2} \cdot g^{1/2} \cdot ([O] - [O]_R)}{\rho_O} d\tau, \quad (17)$$

где $[O]_R = P_{MAX} / K_C / [C]$, K_C - константа равновесия реакции окисления углерода, пересчитанная на концентрацию в кг/м³ и давление в Па. После интегрирования по радиусу от r_P до r_{OT} и времени от 0 до t_{OT} получим время от начала роста пузыря на поре до его отрыва, с

$$\tau_{OT} = \frac{(r_{OT}^{1,25} - r_P^{1,25}) \cdot \rho_O}{1,25 \cdot D_O^{0,5} \cdot g^{0,25} \cdot ([O] - [O]_R)}. \quad (18)$$

Если после отрыва пузыря от поры сохраняется его зародыш исходного размера, из которого растет новый пузырь, то частота образования пузырей из одного центра будет, 1/с

$$\nu = 1/\tau_{OT} \quad (19)$$

Скорость окисления углерода из расчета на 1 м² поверхности расплава, выраженная через массу пузырей при этом будет

$$V_C = \frac{12}{28} \cdot \frac{60 \cdot m_p \cdot n \cdot N_p}{\tau_{OT} \cdot H_M}, \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{мин)}, \quad (20)$$

где m_p - масса одного пузыря на выходе, кг; n - количество центров зарождения пузырей, $1/\text{м}^2$; N_p - количество пузырей, образующихся после деления одного пузыря, достигшего критического радиуса.

С использованием построенной модели было определено влияние количества центров зарождения пузырей, радиуса пор и потока кислорода на содержание растворенного кислорода в металле. С уменьшением числа центров зарождения растет содержание кислорода в металле, а следовательно, согласно (18), и меньшее время роста для отрыва их от поры.

Влияние радиуса поры (начального радиуса пузыря СО) на окисленность металла при радиусах пор 0,1; 0,05; 0,01; 0,005; 0,001 см, глубине ванны 1 м и количестве центров зарождения 10000 $1/\text{м}^2$ представлено на рис. 1. С уменьшением радиуса зародыша окисленность металла несколько возрастает, однако в основном находится в пределах обычных значений, и только при радиусе 0,001 см, что близко к критическому значению [6], окисленность существенно выходит за эти пределы.

Обработка стали в вакууме с продувкой аргоном

При обработке стали в вакууме с одновременной продувкой аргоном описание процесса обезуглероживания при крупномасштабном переносе описывается уравнениями (2) – (3). Так как при этом наводится нейтральный шлак, то уравнение (1) в модель не включается. Концентрация кислорода, равновесная с углеродом выражается уравнением

$$[O]_r(x, \tau) = \frac{P_{AT} + \rho_M g H_M (1 - x) + \rho_{SH} g H_S + 2\sigma/r}{K_C[C](x, \tau)}, \quad (21)$$

где P_{AT} - остаточное давление в вакууматоре, Па.

Приращение массы пузыря m при этом будет

$$dm = \beta_O \cdot S \cdot ([O] - [O]_r) d\tau, \quad (22)$$

Площадь поверхности пузыря определяется его объемом и формой. Объем пузыря СО при всплывании возрастает вследствие увеличения массы и снижения гидростатического давления

$$V = \frac{1000 \cdot m}{28} \cdot \frac{R \cdot T}{P_{MAX} - \rho_M \cdot g \cdot H_M \cdot x}, \quad (23)$$

масса пузыря, выраженная через радиус - r , будет

$$m = \frac{0,34 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (P_{MAX} - \rho_M \cdot g \cdot H_M \cdot x)}{(1000/28) \cdot R \cdot T} \quad (24)$$

Однако, несмотря на снижение скорости окисления углерода со временем, общий характер ее изменения по высоте остается одним и тем же (рис. 2). Такой характер окисления углерода по высоте приводит к тому, что в верхних горизонтах (примерно 20% от высоты слоя металла) окисляется 70 - 75 % всего углерода. При этом содержание углерода и кислорода вверху ниже, чем внизу, однако разница концентраций не превышает 1 - 5 % относительных, что связано с довольно высокой мощностью перемешивания.

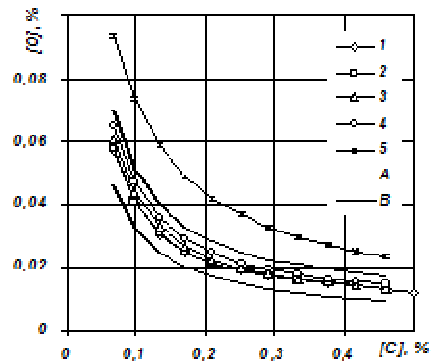


Рисунок 1 - Влияние радиуса пор на концентрацию растворенного кислорода в металле: 1 - 0,1; 2 - 0,05; 3 - 0,01; 4 - 0,005; 5 - 0,001 см; А-В - область данных

В.И. Явойского [6]

В реальных условиях вакуумной обработки стали в ковшах с продувкой инертными газами удаление водорода и кислорода в газовую фазу может осуществляться по трем статьям: в пузыри СО, в пузыри инертного газа и через поверхность металла, чистую от шлака. Во всех этих трех случаях к границе металл – газовая фаза из металла направлены три потока: водорода, углерода и кислорода. При этом можно считать, что поток углерода эквивалентен потоку кислорода для образования СО.

Образующиеся при окислении углерода при отсутствии других газов пузыри СО в момент зарождения и до отрыва от центров зарождения практически не содержат водорода. При наличии в металле нескольких растворенных газов их парциальные давления в

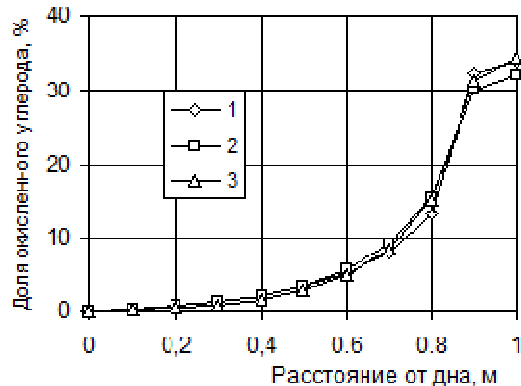
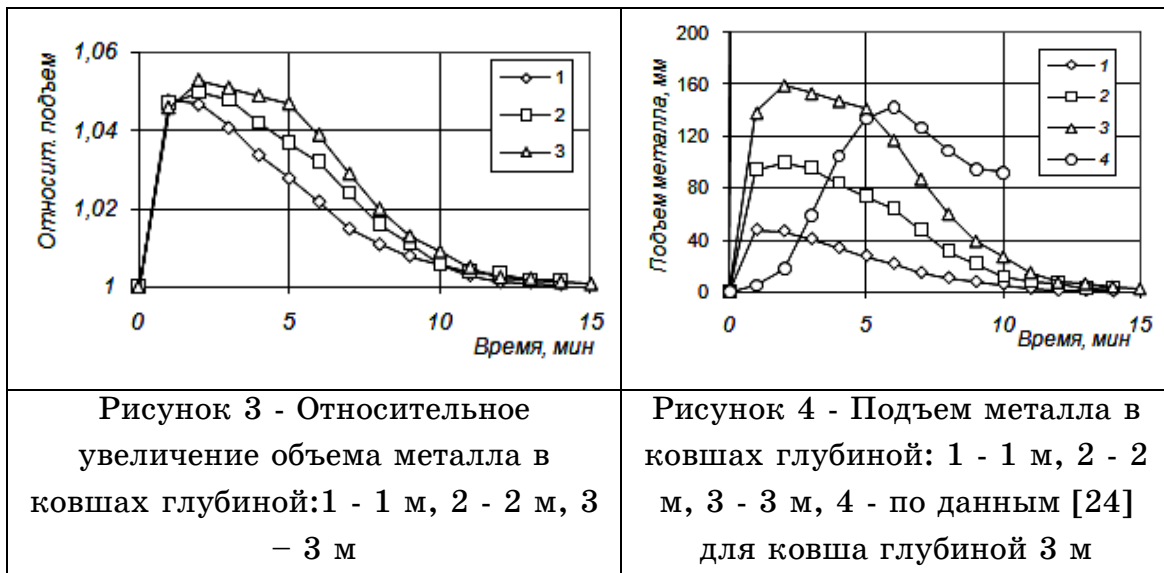


Рисунок 2 - Доля окислившегося углерода по высоте слоя металла через 1 - 1 мин., 2 - 2 мин., 3 - 3 мин

образующихся пузырях должны быть равновесными с содержанием газов в металле.

В процессе окисления углерода образующиеся пузыри CO при их расширении в металле, особенно в верхних горизонтах, увеличивают его объем, в результате чего металл вспенивается и уровень его в ковше повышается. Подъем уровня металла может служить показателем для контроля над ходом процесса. В связи с этим представляет интерес возможность прогнозирования величины вспенивания металла по ходу процесса в зависимости от условий его проведения.

Результаты моделирования приведены на рис. 3 ($[C] = 0,3 \%$, $[O] = 0,012 \%$), из которого следует, что относительная высота подъема металла слабо зависит от глубины ковша, несколько возрастая с ее повышением. Соответственно, абсолютная высота подъема металла (рис. 4) возрастает практически пропорционально глубине металла в ковше, что связано главным образом с увеличением объема газов, находящихся одновременно в металле (возрастает время их всплывания).



Приведенные на рис. 4 практические данные для случая одновременного вакуумирования и продувки аргоном в ковшах глубиной около 3 м близки по величине, но максимум достигается позже, что связано с нарастанием интенсивности подачи аргона во времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев Ю. Н., Камкина Л. В. Математическая модель обезуглероживания жидкой стали с учетом микро- и макропереноса // Вестник приазовского государственного технического университета. - Вып. № 7. Мариуполь. - ПГТУ, 1999. - С. 63-71.
2. Слободов Е. Б., Кутепов А.М., Чепура И.В.Обобщенный анализ процессов переноса в двухфазных средах (обобщенные переменные). Журнал прикладной химии, том LIX, №2, 1986, с.325-333.
3. Явойский В. И. Газы в ваннах сталеплавильных печей.- М.: Metallurgizdat. - 1952. - 246 с.
4. Иванов А. В., Яковлев Ю. Н. Моделирование процессов перемешивания в ваннах металлургических агрегатов при барботаже. Теория и практика металлургии. 1998, № 2. С. 12 - 15.
5. Казанцев И.Г. Скорость химического процесса взаимодействия углерода с кислородом, находящихся в жидкой стали // Вопросы теории и практики сталеплавильного производства; Сб. науч. тр.- М.: Metallurgiya, 1991.- С. 6-14.
6. Явойский В. И. Теория процессов производства стали. -М.: Metallurgizdat, 1963. - 820 с.

УДК 681-51

Л.М. Любчик, В.А. Колбасин

**РЕКУРРЕНТНЫЕ АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ
НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ
ЯДРОВЫХ МОДЕЛЕЙ**

Рассматривается задача идентификации нелинейных систем в реальном масштабе времени. На основе ядрового подхода получены рекуррентные алгоритмы идентификации с растущим и скользящим окном, предложены соответствующие вычислительные процедуры.

Введение

Проблема идентификации динамических систем является одной из центральных в современной теории управления. Несмотря на обилие публикаций [1] она сохраняет свою актуальность в первую очередь за счет расширения классов задач и привлечения новых математических методов. Если проблемы идентификации линейных систем в значительной мере получили исчерпывающее решение, то поиск эффективных методов построения моделей нелинейных систем по экспериментальным данным является предметом интенсивных исследований. Здесь на первый план выходит проблема структурной идентификации, связанная с поиском структуры модели, оптимальным образом согласованной с имеющейся априорной и текущей информацией [2,3]. Для нелинейных систем, характеризующихся сложным характером зависимостей между переменными, использование традиционного параметрического подхода приводит к существенным трудностям, связанным с вычислительными трудностями оценивания большого числа неизвестных параметров переусложненных моделей (так называемое «проклятие размерности»). Это в свою очередь стимулирует развитие непараметрических методов идентификации и методов «мягкой» идентификации на основе подходов вычислительного интеллекта. Эффективные подходы созданы на основе метода опорных векторов [3] и так называемых ядровых методов [4], обеспечивающих получение нелинейных версий алгоритмов идентификации, пригодных для использования в условиях малых выборок.

© Любчик Л.М., Колбасин В.А., 2010

Ядровые методы, основанные на идее нелинейного преобразования исходных данных в новое пространство высокой размерности (пространство признаков), обеспечивают возможность идентификации нелинейных моделей высокой сложности. В соответствии с теоремой Мерсера, указанное преобразование выбирается таким образом, чтобы скалярные произведения в пространстве признаков имели бы вид положительно определенной функции-ядра. При этом идентифицируемая модель может быть представлена в непараметрической форме в виде взвешенной линейной комбинации функций-ядер, а соответствующие весовые коэффициенты могут быть вычислены без непосредственного использования векторов признаков, что приводит к возможности получения весьма экономных и эффективных вычислительных процедур идентификации нелинейных систем [4, 5].

Классические алгоритмы ядровой идентификации использовали для получения оценок полную выборку наблюдений и характеризовались ростом размерности модели с увеличением ее длины. В настоящее время ведутся интенсивные поиски рекуррентных модификаций ядровых алгоритмов, пригодных для реализации в реальном масштабе времени и обеспечивающих ограничение сложности идентифицируемой модели [6]. В частности, разработаны ядровые аналоги рекуррентного метода наименьших квадратов [7] и метода скользящего окна [8].

В настоящей статье предлагается единый подход к построению рекуррентных алгоритмов ядровой идентификации с использованием как растущего, так и скользящего окна наблюдений.

Постановка задачи

Рассматривается скалярная дискретная нелинейная динамическая система, описываемая уравнением вида

$$x_{k+1} = f(x_k) + \varepsilon_k, \quad k = 0, \dots \quad (1)$$

где $f(\cdot)$ неизвестная нелинейная функция, ε_k - внешнее воздействие, описываемое случайным процессом типа дискретного белого шума $E\{\varepsilon_k\} = 0$, $E\{\varepsilon_k^2\} = \sigma^2$.

Задача идентификации состоит в оценивании параметров идентифицируемой модели:

$$y_k = \hat{f}(x_k) = \varphi^T(x_k)w + \varepsilon_k, \quad k = \overline{0, n}, \quad (2)$$

где $\hat{f}(x)$ - неизвестная функциональная зависимость, описывающая модель системы (1), $\varphi: \mathbf{R}^1 \rightarrow \mathbf{R}^M$ нелинейное отображение, трансформирующее состояния системы в многомерный вектор признаков $\varphi(x) \in \mathbf{R}^M$, $\mathbf{w} \in \mathbf{R}^M$ - вектор неизвестных параметров идентифицируемой модели.

Предполагается заданной выборка наблюдений $\{y_k, x_k\}_{k=0}^n$, $y_k = x_{k+1}$.

В матричной форме уравнение (2) имеет вид $\mathbf{y}_n = \Phi_{n-1}^T \mathbf{w} + \boldsymbol{\varepsilon}_n$, где $\Phi_{n-1} = (\varphi(x_0) \ \varphi(x_1) \ \dots \ \varphi(x_{n-1}))$ - матрица признаков, $\mathbf{y}_n = (y_0 \ y_1 \ \dots \ y_n)^T$ - вектор наблюдений, $\boldsymbol{\varepsilon}_n = (\varepsilon_0 \ \varepsilon_1 \ \dots \ \varepsilon_n)^T$ - вектор возмущений.

В соответствии с общей методологией ядрового подхода [4] выберем вектора признаков так, чтобы их скалярные произведения имели вид положительно определенной функции $\varphi^T(x_i)\varphi(x_j) = \kappa(x_i, x_j)$, $i, j = \overline{1, n}$. Обычно используются полиномиальные ядра вида $\kappa(x, x') = (\mu + x \cdot x')^p$ заданной степени p , либо гауссовские ядра $\kappa(x, x') = \exp\{-\mu(x - x')^2\}$ с параметрами p, μ .

Тогда идентифицируемая модель системы (1) может быть представлена в виде

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{f}(x_n) = \varphi^T(x_n) \Phi_{n-1} \mathbf{w}_n = \mathbf{k}_{n-1}^T(x_n) \boldsymbol{\lambda}_n, \quad (3)$$

где $\mathbf{k}_{n-1}^T(x_n) = (\kappa(x_n, x_0) \ \kappa(x_n, x_1) \ \dots \ \kappa(x_n, x_{n-1}))$ - вектор функций-ядер, а $\boldsymbol{\lambda}_n \in \mathbf{R}^n$ - вектор вспомогательных переменных, таких, что $\mathbf{w}_n = \Phi_{n-1} \boldsymbol{\lambda}_n$.

Задача состоит в построении рекуррентных оценок вектора $\boldsymbol{\lambda}_n$ на основе обучающей выборки $\{y_k, x_k\}_{k=0}^{n-1}$, при этом в соответствии с общей идеологией ядровых методов оценки должны строиться на основе матрицы $\mathbf{K}_n = \Phi_n^T \Phi_n$, $\mathbf{K}_n = \|k_{i,j}\|$, $k_{i,j} = \kappa(x_i, x_j)$, $i, j = \overline{1, n}$, (так называемой ядровой матрицы), вычисляемой непосредственно без использования векторов признаков.

Целесообразно рассмотреть два варианта построения рекуррентных алгоритмов идентификации.

а. *Рекуррентная ядровая идентификация с «растущим окном».* При этом оценки $\lambda_{n+1} = F(\lambda_{n+1}, y_{n+1}, \mathbf{K}_n)$ строятся на основе использования полной выборки наблюдений. Этот подход можно рассматривать как рекуррентное обобщение традиционного ядрового подхода. Его очевидным недостатком является рост сложности модели с увеличением длины выборки.

б. *Рекуррентная ядровая идентификация со «скользящим окном».* При этом оценки $\bar{\lambda}_{n+1} = F(\bar{\lambda}_{n+1}, y_{n+1}, \bar{\mathbf{K}}_{n,s}), \bar{\lambda}_n \in \mathbf{R}^s$, используют только ограниченную подвыборку наблюдений, формируемую на основе принципа «скользящего окна» $\{y_k, x_k\}_{k=n-s}^n$ и ядровая матрица $\bar{\mathbf{K}}_{n,s}$ строится на основе соответствующих наблюдений.

Рекуррентный алгоритм идентификации с «растущим окном»

На основе известного подхода метода опорных векторов [3] задача построения оценок параметров модели (2) на основе использования полной обучающей выборки может быть сведена к следующей регуляризованной оптимизационной задаче:

$$J_n(\mathbf{w}) = \mathbf{w}^T \mathbf{w} + \gamma \cdot \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} \rightarrow \min_{\mathbf{w}, \boldsymbol{\varepsilon}}, \quad \mathbf{y}_n = \Phi_{n-1}^T \mathbf{w} + \boldsymbol{\varepsilon}_n. \quad (4)$$

Решение этой задачи может быть получено на основе функции Лагранжа $L_n(\mathbf{w}, \boldsymbol{\lambda}) = \mathbf{w}^T \mathbf{w} + \gamma \cdot \boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} + \boldsymbol{\lambda}^T (\mathbf{y}_n - \Phi_{n-1}^T \mathbf{w} - \boldsymbol{\varepsilon}_n)$ с двойственными переменными $\boldsymbol{\lambda} \in \mathbf{R}^n$. Используя известные условия оптимальности, получим решение в явном виде $\mathbf{w}_n = \Phi_{n-1} \boldsymbol{\lambda}_n, \boldsymbol{\varepsilon}_n = \gamma^{-1} \boldsymbol{\lambda}_n$, где оценки двойственных переменных $\boldsymbol{\lambda}_n$ в свою очередь выражаются через регуляризованную ядровую матрицу $\mathbf{K}_{n-1}(\gamma)$:

$$\boldsymbol{\lambda}_n = (\gamma^{-1} \mathbf{I}_n + \mathbf{K}_{n-1})^{-1} \mathbf{y}_n = \mathbf{K}_{n-1}^{-1}(\gamma) \mathbf{y}_n, \quad (5)$$

С использованием очевидного представления ядровой матрицы

$$\mathbf{K}_n(\gamma) = \left(\begin{array}{c|c} \mathbf{K}_{n-1}(\gamma) & \mathbf{k}_{n-1}(x_n) \\ \hline \mathbf{k}_{n-1}^T(x_n) & \gamma^{-1} + k_{n,n} \end{array} \right), \quad (6)$$

на основе формулы Шермана-Моррисона-Вудбери [9] нетрудно получить рекуррентное представление для обратной ядровой матрицы

$$\mathbf{K}_n^{-1}(\gamma) = \left(\begin{array}{c|c} \mathbf{K}_{n-1}^{-1}(\gamma) + \delta_n^{-1} \mathbf{K}_{n-1}^{-1}(\gamma) \mathbf{k}_{n-1}(x_n) \mathbf{k}_{n-1}^T(x_n) \mathbf{K}_{n-1}^{-1}(\gamma) & -\delta_n^{-1} \mathbf{K}_{n-1}^{-1}(\gamma) \mathbf{k}_{n-1}(x_n) \\ \hline -\delta_n^{-1} \mathbf{k}_{n-1}^T(x_n) \mathbf{K}_{n-1}^{-1}(\gamma) & \delta_n^{-1} \end{array} \right), \quad (7)$$

где $\delta_n = \gamma^{-1} + k_{n,n} - \mathbf{k}_{n-1}^T(x_n) \mathbf{K}_{n-1}^{-1}(\gamma) \mathbf{k}_{n-1}(x_n)$.

Тогда рекуррентная оценка для для вектора параметров $\lambda_{n+1} = \mathbf{K}_n^{-1}(\gamma) \mathbf{y}_n$ может быть представлена в виде:

$$\lambda_{n+1} = \left(\frac{\lambda_n - \delta_n^{-1} [y_{n+1} - \omega_n(\lambda_n)] \mathbf{K}_{n-1}^{-1}(\gamma) \mathbf{k}_{n-1}(x_n)}{\delta_n^{-1} [y_{n+1} - \omega_n(\lambda_n)]} \right), \quad (8)$$

где $\omega_n(\lambda_n) = \mathbf{k}_{n-1}^T(x_n) \lambda_n$.

Соотношения (5), (8) с учетом (3) образуют рекуррентный алгоритм идентификации нелинейной системы (1) с «растущим окном». Очевидно, что сложность модели, определяемая размерностью вектора двойственных переменных λ , растет с увеличением длины выборки.

Рекуррентный алгоритм идентификации со «скользящим окном»

Метод «скользящего окна» использует для построения оценки в момент n только $n-s$ последних наблюдений, а именно, $\mathbf{y}_{n,s} = (y_{n-s+1} \dots y_n)^T$. При этом возникает возможность идентификации систем с изменяющимися параметрами.

Уравнение наблюдений в этом случае имеет вид $\mathbf{y}_{n,s} = \Phi_{n-1,s}^T \mathbf{w} + \varepsilon_{n,s} = \mathbf{K}_{n-1,s} \bar{\lambda}_n + \varepsilon_{n,s}$, где $\bar{\lambda}_n \in \mathbf{R}^s$, а ядровая матрица $\bar{\mathbf{K}}_{n,s} = \Phi_{n,s}^T \Phi_{n,s}$ сохраняет фиксированную размерность $(s \times s)$.

Сформируем «скользящий» показатель качества идентификации в момент $n+1$ и априорную информацию в виде оценок в предыдущий момент времени n , а также представление $\mathbf{w} = \Phi_{n,s} \bar{\lambda}$:

$$J_{n,s} = \|\mathbf{y}_{n+1,s} - \mathbf{K}_{n,s} \bar{\lambda}\|^2 + \gamma^{-1} (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_n)^T \mathbf{K}_{n,s} (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_n) \rightarrow \min_{\bar{\lambda}}. \quad (9)$$

где второе слагаемое, имеющее смысл регуляризующей составляющей, учитывает априорное предположение о медленном характере изменения параметров модели.

Условия оптимальности приводят к системе нормальных уравнений:

$$(\bar{\mathbf{K}}_{n,s}^T \bar{\mathbf{K}}_{n,s} + \gamma^{-1} \bar{\mathbf{K}}_{n,s}) \bar{\lambda}_n = \bar{\mathbf{K}}_{n,s}^T \mathbf{y}_{n+1,s} + \gamma^{-1} \bar{\mathbf{K}}_{n,s} \bar{\lambda}_n. \quad (10)$$

из которых после ряда преобразований можно получить рекуррентную оценку двойственного вектора

$$\bar{\lambda}_{n+1} = \left(\gamma^{-1} \mathbf{I}_s + \bar{\mathbf{K}}_{n,s} \right)^{-1} \left(\gamma^{-1} \bar{\lambda}_n + \mathbf{y}_{n+1} \right) \quad (11)$$

Для получения рекуррентного алгоритма пересчета обратной регуляризованной ядровой матрицы $\bar{\mathbf{K}}_{n,s}^{-1}(\gamma)$ используется двухшаговый подход, предложенный в [8].

Схема пересчета имеет вид $\bar{\mathbf{K}}_{n-1,s}^{-1}(\gamma) \rightarrow \bar{\mathbf{K}}_{n-1,s-1}^{-1}(\gamma) \rightarrow \bar{\mathbf{K}}_{n,s}^{-1}(\gamma)$, где используется вспомогательная квадратная матрица $\bar{\mathbf{K}}_{n-1,s}(\gamma)$, которую можно представить в виде:

$$\bar{\mathbf{K}}_{n-1,s}(\gamma) = \left(\begin{array}{c|c} \gamma^{-1} + k_{n-s,n-s} & \mathbf{k}_{n-1,s-1}^T(x_{n-s}) \\ \hline \mathbf{k}_{n-1,s-1}(x_{n-s}) & \bar{\mathbf{K}}_{n-1,s-1}(\gamma) \end{array} \right), \quad (12)$$

$$\mathbf{k}_{n-1,s-1}(x_{n-s}) = \left(\kappa_{n-1}(x_{n-s}) \ \dots \ \kappa_{n-s+1}(x_{n-s}) \right)^T$$

На первом шаге процедуры рекуррентного обращения вычисляется

$$\bar{\mathbf{K}}_{n-1,s-1}^{-1} = \mathbf{R}_s \bar{\mathbf{K}}_{n-1,s}^{-1} \mathbf{R}_s^T - (\mathbf{e}_1^T \bar{\mathbf{K}}_{n-1,s}^{-1} \mathbf{e}_1)^{-1} \mathbf{R}_s \bar{\mathbf{K}}_{n-1,s}^{-1} \mathbf{e}_1 \mathbf{e}_1^T \bar{\mathbf{K}}_{n-1,s}^{-1} \mathbf{R}_s^T, \quad (13)$$

где $\mathbf{R}_s = (0_s : \mathbf{I}_{s-1})$, $\mathbf{e}_1 = (1 \dots 0)^T$.

На втором шаге процедуры рекуррентного обращения с использованием следующего представления регуляризованной ядровой матрицы $\mathbf{K}_{n,s}^{-1}(\gamma)$

$$\bar{\mathbf{K}}_{n,s}(\gamma) = \left(\begin{array}{c|c} \bar{\mathbf{K}}_{n-1,s-1}(\gamma) & \mathbf{k}_{n-1,s-1}(x_n) \\ \hline \mathbf{k}_{n-1,s-1}^T(x_n) & \gamma^{-1} + k_{n,n} \end{array} \right), \quad (14)$$

где $\mathbf{k}_{n-1,s-1}(x_n) = \left(\kappa_{n-1}(x_n) \ \dots \ \kappa_{n-s+1}(x_n) \right)^T$, вычисляется обратная ядровая матрица на шаге n :

$$\mathbf{K}_{n,s}^{-1} = \left(\begin{array}{c|c} \mathbf{K}_{n-1,s-1}^{-1}(\gamma) + \delta_n^{-1} \mathbf{K}_{n-1,s-1}^{-1}(\gamma) \mathbf{k}_{n-1}(x_n) \mathbf{k}_{n-1}^T(x_n) \mathbf{K}_{n-1,s-1}^{-1}(\gamma) & -\delta_n^{-1} \mathbf{K}_{n-1,s-1}^{-1}(\gamma) \mathbf{k}_{n-1,s-1}^T(x_n) \\ \hline -\delta_n^{-1} \mathbf{K}_{n-1,s-1}^{-1}(\gamma) \mathbf{k}_{n-1,s-1}^T(x_n) & \delta_n^{-1} \end{array} \right), \quad (15)$$

где $\delta_n = \gamma^{-1} + k_{n,n} - \mathbf{k}_{n-1,s-1}^T(x_n) \bar{\mathbf{K}}_{n-1,s-1}^{-1}(\gamma) \mathbf{k}_{n-1,s-1}(x_n)$.

Окончательно выражения (11), (13), (15), образуют ядровый рекуррентный алгоритм идентификации системы (1) со «скользящим

окном», использующий ограниченный объем текущей информации и модель ограниченной сложности.

Выводы

Предложенные рекуррентные алгоритмы идентификации нелинейных систем обеспечивают возможность оценивания параметров модели в реальном масштабе времени и обладают сравнительной вычислительной простотой и эффективностью. Существенным является то, что сложность модели не увеличивается в ростом длины выборки, а преимущества ядрового подхода позволяют строить модели весьма сложных нелинейных динамических систем.

Дальнейшие направления исследований могут быть связаны с оптимизацией параметров алгоритма, в частности, параметров ядровых функций, параметров регуляризации, длины «скользящего окна». Для этого необходимо использовать дополнительные, так называемые внешние критерии идентификации, в качестве которых в данном случае целесообразно использование оценок типа скользящего контроля. Также важным направлением является разработка робастных модификаций предложенных рекуррентных алгоритмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. Ljung. System Identification: Theory for the User. Prentice Hall, New Jersey, Second edition, 1999.
2. G. Dorffner. Neural networks for time series processing // Neural Network World, 1996, 6(4), Pp. 447–468.
3. V. Vapnik. Statistical Learning Theory. Wiley, New-York, 1998.
4. B. Scholkopf, A. Smola. Learning with kernels. Cambridge, MA: MIT Press, 2002.
5. M. Espinoza, J.A.K. Suykens, and B. De Moor. Kernel based partially linear models and nonlinear identification // IEEE Transactions on Automatic Control, 2005, 50 (10), Pp. 1602–1606.
6. J. Kivinen, A.J. Smola, R.C. Williamson. Online learning with kernels // IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, Vol. 52, Pp. 2165 – 2176.
7. J.A.K. Suykens, T. Van Gestel, J. De Brabanter, B. De Moor, and J. Vandewalle. Least Squares Support Vector Machines. World Scientific, Singapore, 2002.
8. S. Van Vaerenbergh, V. Javier, I. Santamar. Nonlinear System Identification using a New Sliding Window Kernel RLS Algorithm // Journal of Communications, 2007, Vol. 2, No. 3, Pp. 156 -162.
9. G.H. Golub, C.F. Van Loan. Matrix Computations. Johns Hopkins Univ. Press. Baltimore MD, 1989.

УДК 669.18

Ю.Д. Стогний, А.П. Стовпченко, Ю.С. Пройдак, Л.В. Камкина
**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПЛАВКИ И РАЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ПОЛУЧЕНИЯ
НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

Аннотация: Рассмотрена технология выплавки особонизкоуглеродистой стали в условиях СЗАО ММЗ. Проанализировано влияние технологических параметров на качество конечного продукта и рационализированы режимы выплавки и внепечной обработки стали.
Ключевые слова: особонизкоуглеродистая сталь, десульфурация, окисленность, раскисление, обезуглероживание, пластичность.

Постановка задачи: Формирование требуемых характеристик стали закладывается технологией ее производства, что определяет необходимость совершенствования параметров выплавки и внепечной обработки стали.

Анализ публикаций по теме исследования: В работах [1-4] уделено много внимания параметрам выплавки и внепечной обработки. Однако вопрос рациональной технологии производства высококачественной стали, чистой по вредным примесям и неметаллическим включениям, остается открытым.

Формулировка целей статьи: Целью проведенных исследований было проведение анализа влияния технологических параметров выплавки и внепечной обработки стали на протекания процессов обезуглероживания, раскисления и десульфурации для обоснования рациональной технологии производства стали.

Основная часть. По данным паспортов плавов текущего производства низкоуглеродистых сталей выполнен статистический анализ влияния соотношения различных видов лома в шихтовке плавки, количества и вида присадок на установке ковш-печь на показатели процесса ведения плавки и внепечной обработки - температурный режим, степень десульфурации, содержание примесей в металле, угар раскисляющих элементов с целью установления значимых зависимостей технологических параметров процесса.

© Стогний Ю.Д., Стовпченко А.П., Пройдак Ю.С., Камкина Л.В.,
2010

Установлены граничные показатели и рассчитаны средние значения технологических параметров плавки и результатов ведения процесса (табл. 1).

Таблица 1

Средние и граничные значения технологических показателей
процесса

Показатель, размерность	Среднее значение (по 200 плавкам)	Минимальное значение	Максимальное значение
Удельный расход электроэнергии, кВтч/т	430	344	639
Содержание элементов на выпуске, %			
Углерод	0,0658	0,0357	0,0996
Сера	0,0697	0,042	0,110
Состав готовой стали, %			
Углерод	0,055	0,032	0,078
Марганец	0,359	0,281	0,410
Кремний	0,120	0,045	0,164
Сера	0,035	0,002	0,063
Степень десульфурации, %			
Общая	80,58	48,70	93,61
В печи	-75,25	-174	-500
На УКИ	88,57	56,98	92,81
Угар раскислителей, %			
Углерода	25,78	-25,23	68,58
Кремния	64,71	44,57	83,60
Марганца	57,05	30,26	75,96
Алюминия	97,73	94,94	100
Кальция	85,54	63,99	95,58

Данные таблицы показывают, что большинство рассмотренных показателей имеют довольно большой разброс значений, что может сказаться на стабильности ведения процесса.

Исследовано влияние общего расхода кислорода на содержание углерода на выпуске, определяемого химическим анализом (рис. 1). Корреляционно-регрессионный анализ позволил определить, что содержание углерода в полупродукте зависит от окисленности и от температуры металла:

$$C = 0,25 + 0,0002 \cdot T + 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot O \quad (1)$$

где C – содержание углерода в полупродукте; T – температура металла; O – окисленность металла.

Как известно, окисленность металла на выпуске определяется содержанием углерода в металле (рисунок 2 а) и зависит от расхода кислорода (рисунок 2 б) и температуры металла (рисунок 2 в).

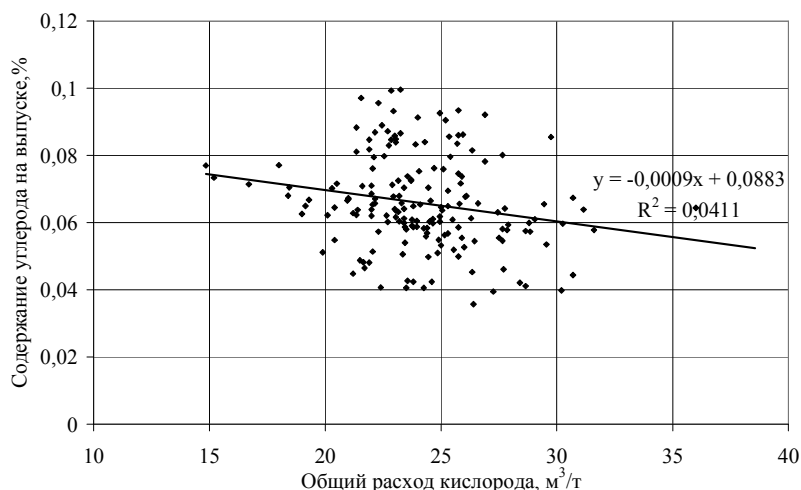


Рисунок 1 - Влияние общего расхода кислорода на содержание углерода на выпуске из ДСП

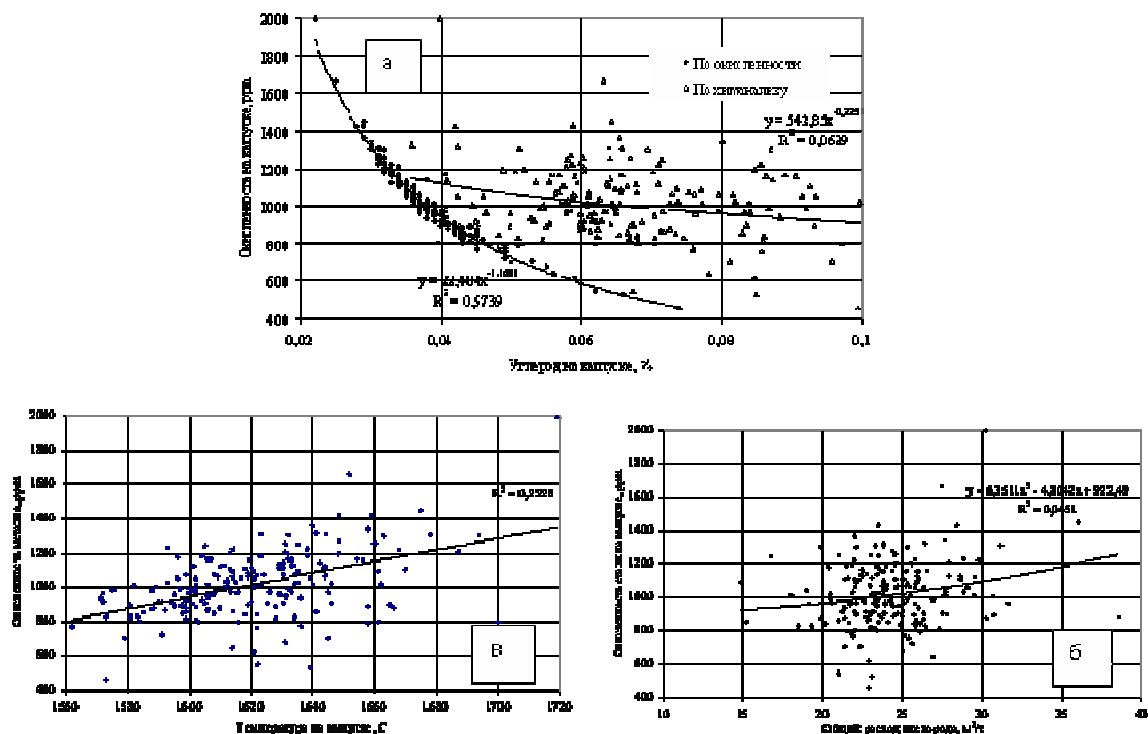


Рисунок 2 - Зависимость окисленности металла на выпуске от содержания углерода (а), расхода кислорода (б) и температуры металла (в)

Неотъемлемой стадией в производстве стали является внепечная обработка и от ее технологических параметров во многом зависит качество полученной заготовки. Анализировали влияние входных факторов (содержание углерода и окисленность металла на выпуске из ДСП) на обезуглероживание металла на установке ковш-печь

(УКП), а также угары элементов-раскислителей и степень десульфурации металла при внепечной обработке.

Установлено, что с увеличением содержания углерода на выпуске угар углерода на УКП (с учетом углерода вводимого раскислителями) увеличивается (рисунок 3).

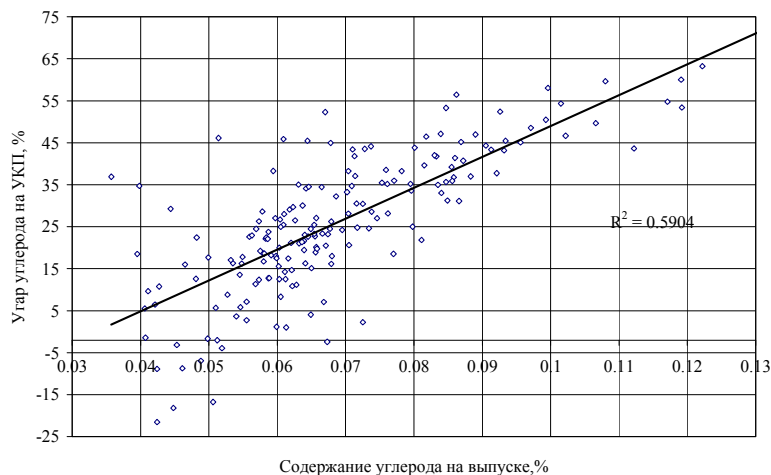


Рисунок 3 – Зависимость угара углерода на УКП от содержания углерода на выпуске

Обезуглероживанию металла в ковше в значительной степени способствуют высокие величины окисленности металла.

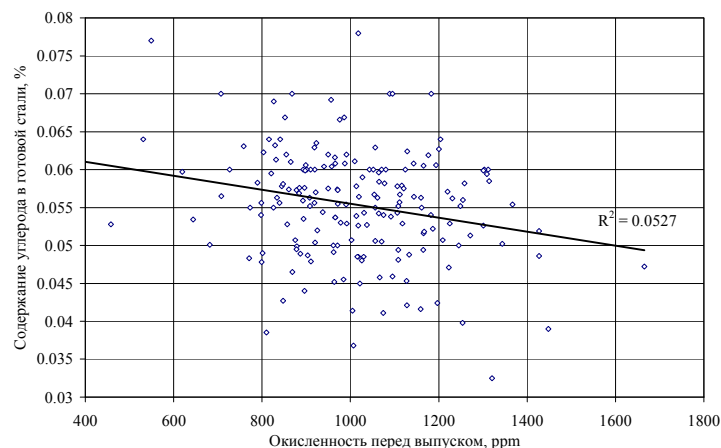


Рисунок 4 – Влияние содержания активного кислорода в стали на выпуске из ДСП на содержание углерода в готовой стали

Содержание углерода и активного кислорода в исходном металле перед УКП оказывают существенное влияние на угар элементов-раскислителей (обратно и прямо пропорционально, соответственно). Зависимости угара кремния и марганца от содержания углерода на выпуске из печи (рисунок 5 а) и изменения

содержания углерода на УКП (рисунок 5 б) показывают, что чем более полно происходит обезуглероживание металла на УКП, тем ниже угар раскислителей, особенно кремния.

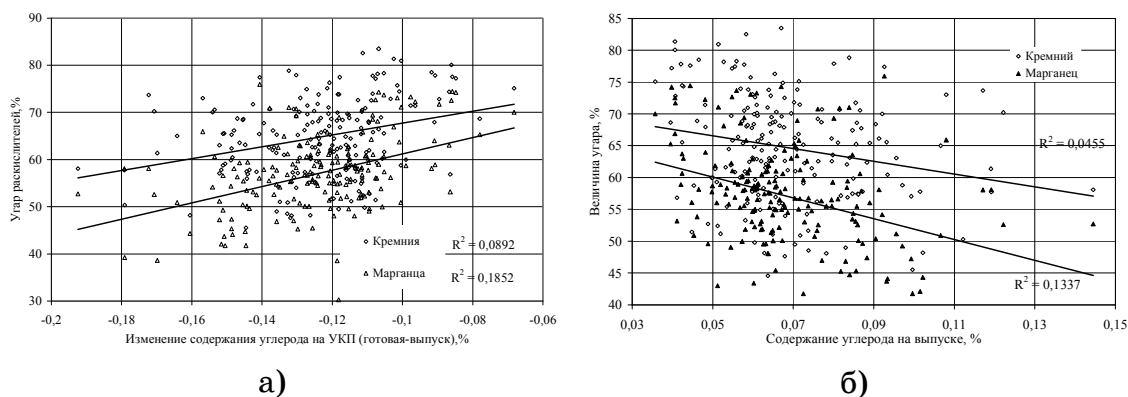


Рисунок 5 – Влияние содержания углерода на выпуске из ДСП (а) и изменения содержания углерода на УКП (б) на величину угара раскислителей

Анализ данных по содержанию серы в металле на выпуске (табл. 1), показывает, что даже если принять среднее содержание серы в металлоломе на уровне верхнего предела рядовых марок сталей (равного 0,04%), то первое существенно выше. В печи наблюдается увеличение содержания серы за счет вдувания углеродсодержащих материалов. В то же время известно, что в сталеплавильных процессах при продувке кислородом, высоких температуре и окисленности металла сера частично удаляется в газовую фазу. Так, в работе [5], приводятся сведения о том, что в окислительный период плавки в электродуговой печи от 36 до 50% серы внесенной всеми шихтовыми материалами удаляется из печи с печными газами. Тенденция связи между концентрацией серы в полупродукте на выпуске и окисленностью металла прослеживается и для рассмотренных плавов (рис. 6).

Существенной зависимости содержания серы в полупродукте от температуры металла на выпуске установлено не было, что свидетельствует о превалирующем влиянии вдувания кислорода в печь и окисленности металла на удаление серы в газовую фазу.

Ввиду того, что на выпуске из печи содержание серы существенно выше (табл. 1), чем требуется стандартами, очевидно, что все процессы обработки металла с целью десульфурации осуществляются на УКП. Проведенный анализ параметров внепечной обработки показал, что десульфурации металла способствует рост

расхода извести, а также кальций-содержащих ферросплавов. Установлено также, что влияние расхода плавикового шпата на десульфурацию носит слабо экстремальный характер, что может косвенно свидетельствовать о несбалансированности шлакового режима на УКП.

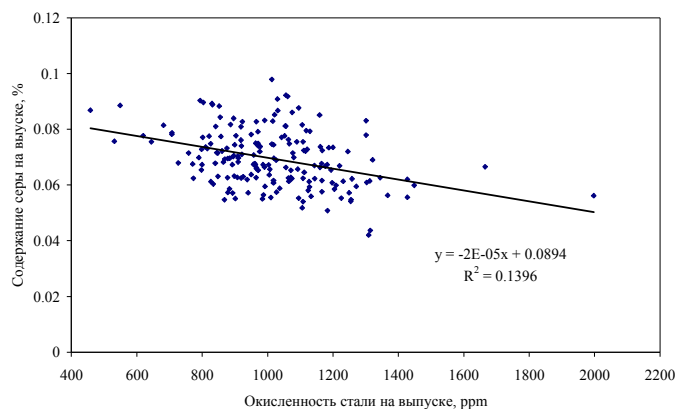


Рисунок 6 – Окисленность металла на выпуске и содержание серы в полупродукте

Выполнен статистический анализ влияния химического состава металла на пластические свойства стали. В диапазоне реальных концентраций углерода (0,03-0,08%), марганца (0,28-0,41%), кремния (0,045-0,164%) существенного их влияния на прочностные и пластические свойства не выявлено. В то же время, отмечено необъяснимое аномальное влияние бора на прочностные свойства – с увеличением концентрации бора с 0,003 до 0,009 % % падение предела прочности составляет около 15 МПа, и предела текучести до 27 МПа.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

На основании выполненного статистического анализа показателей существующей технологии выплавки и внепечной обработки низкоуглеродистой стали определены технологические параметры, которые обеспечивают низкие концентрации углерода в стали:

- высокая окисленность стали на выпуске плавки, которая обеспечивает окисление тех количеств углерода, которые попадают в металл с ферросплавами, а также при нагреве на УКП (за счет электродов);
- низкое содержание углерода на выпуске плавки;
- высокая температура металла на выпуске плавки.

Для получения низкого содержания углерода в металле на выпуске можно рекомендовать шлаковый режим нагрева ванны в последний период плавки.

Определено, что активное протекание процесса обезуглероживания в ковше способствует снижению угара раскислителей (особенно кремния).

Основываясь на полученные результаты в дальнейшем планируется исследовать возможность изменения схемы раскисления металла в ковше: на выпуске из печи металл не раскислять ферросилицием и силикомарганцем (или раскислять в минимальном количестве) или заменить их минимальным количеством алюминия для предотвращения вскипания металла при понижении температуры во время наполнения ковша. Затем подраскисленный металл следует передавать на вакуумирование, с отработкой режимов обезуглероживания и контролем дегазации, а затем последующей доводкой по химсоставу и температуре на У КП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудим Ю. А. Рациональные способы интенсификации плавки в современных дуговых сталеплавильных печах / Ю. А. Гудим, И. Ю. Зиннуров, А.Д. Киселев // Электromеталлургия. – 2005. - № 9. - С. 2-6.
2. Бодяев Ю.А. Отработка технологии вакуумирования особонизкоуглеродистой стали / Ю.А. Бодяев, А.Д. Носов, В.И. Фролов и др. // Седьмой конгресс сталеплави́льщи́ков (г. Магнитогорск).-2003.- С. 460-462.
3. Матвеев Б. Н. Совершенствование листовых сталей для автомобилестроения за рубежом / Б.Н. Матвеев // Чёрная металлургия. - 2001. - № 7.- С. 6-14.
4. Ярошенко А. В. Совершенствование технологии производства низкоуглеродистой стали / Ярошенко, А. И. Дагман, Ю. Ф. Суханов, В. Н. Хребин // 7-ой конгресс сталеплави́льщи́ков (Магнитогорск). - 2003.- С. 152-153.
5. Меджибожский М. Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов / М. Я. Меджибожский. - Киев-Донецк: Высшая школа, 1986. - 280 с.

УДК 530.1

А.О. Горбонос, О.І. Михальов

МОДЕЛЬ ПЕНРОУЗА ЯК ОСНОВА ДЛЯ ПОБУДОВИ ФРАКТАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ КВАЗІКРИСТАЛІВ

На сьогодні велику розповсюдженість отримала теорія квазікристалів. Квазікристал уявляє собою структуру, що не схожа ні на впорядковані кристали, ні на аморфні тіла. Основні властивості квазікристалів добре описує модель Пенроуза. Тому доцільне побудування фрактальної поверхні на основі мозаїки Пенроуза. Для побудови мозаїки Пенроуза використовується важлива властивість фракталів – самоподібність.

На сьогодні велику розповсюдженість отримала теорія квазікристалів. Квазікристал уявляє собою структуру, що не схожа ні на впорядковані кристали, ні на аморфні тіла. Квазікристал відрізняється від інших речовин незвичайною симетрією. Дослідження квазікристалів об'єднали дві теоретичні області – теорію металевих стекол та математичну теорію замощення. У результаті чого з'явився інструмент для вивчення металевих сплавів.

Структура квазікристалічних матеріалів, як відомо [1,3], має властивість масштабної самоподібності, тобто властивість фрактальності.

Фрактал - це нескінченно самоподібна геометрична фігура, кожен фрагмент якої повторюється при зменшенні масштабу [4,5,6]. Фрактал (від лат. fractus – створений з фрагментів) - поняття, що виникло в кінці 70-х років завдяки роботам Б. Мандельброта ("The Fractal Geometry of Nature", 1977). Згідно до його власного визначення, фрактал - це структура, що складається з частин, які подібні цілому. Тобто, при розгляді фрактала, можливо побачити деякий набір елементів, що залишаються незмінними незалежно від масштабу. В той же час, більшість регулярних об'єктів втрачають деталі, коли їх наближають для більш пильного розгляду. Дійсні фрактали є результатом деякого нескінченно повторюваного процесу. Друга властивість, що характеризує фрактали, це дробова розмірність. Слово "фрактал" походить від латинського "fractus" – дробовий, дроблений і вказує як на складну геометрію фрактального

© Горбонос А.О., Михальов О.І., 2010

об'єкту, так і на його дробову розмірність. Фрактали є всюди, де скінчаються правильні форми евклідової геометрії. Їх можна знайти в навколишній природі: границі хмар, границі узбереж, турбулентні потоки в рідинах, зображення структури деяких речовин, кровоносна система серцевого м'яза, металеві структури та ін.

Застосування фракталів уже довело свою користь у ряді прикладних областей. Фрактали використовуються при аналізі і класифікації сигналів складної форми, що виникають у різних областях. Вони застосовуються у фізику твердого тіла, для стиску зображень і т.д.

Важлива властивість фракталів – самоподібність – використовується в цій роботі для побудови мозаїки Пенроуза.

Мозаїка Пенроуза є узором, зібраним з двох ромбів з рівними сторонами (рисунок 1). Внутрішні кути вузького ромба рівні 36° і 144° , широкого ромба – 72° і 108° (рисунок 2). Кути цих ромбів пов'язані із золотою пропорцією, яка алгебраїчно виражається рівнянням $x^2 - x - 1 = 0$ або рівнянням $y^2 + y - 1 = 0$.

Золотий перетин – це таке пропорційне ділення відрізка на нерівні частини, при якому весь відрізок так відноситься до більшої частини, як сама велика частина відноситься до меншої [7].

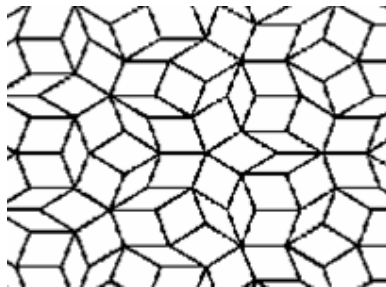


Рисунок 1 – Мозаїка Пенроуза

У мозаїці Пенроуза площа закривається золотими ромбами без пропусків і перекриттів, і її можна безмежно розстилати в довжину і ширину. Але для побудови нескінченної мозаїки треба дотримуватися певних правил, що істотно відрізняються від одноманітного повторення однакових елементарних частин, що складають кристал. Якщо правило підгонки золотих ромбів порушити, то через деякий час зростання мозаїки припиниться, оскільки з'являться неусувні неузгодження. У нескінченній мозаїці Пенроуза ромби розташовуються без строгої періодичності. Проте

відношення числа широких ромбів до вузьких ромбів точно рівне золотому числу $D = (1 + \sqrt{5})/2 = 1,6180339...$

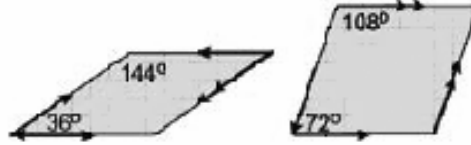


Рисунок 2 – Складові мозаїки Пенроуза – вузькі і широкі золоті ромби

На основі мозаїки Пенроуза запропонована побудова моделі квазікристала. Модель Пенроуза добре описує деякі основні властивості квазікристалів. Побудова мозаїки реалізується по певному алгоритму, унаслідок чого вона виявляється не випадковою, а впорядкованою структурою. Будь-яка її кінцева частина зустрічається у всій мозаїці незліченно безліч разів. В мозаїці можна виділити багато правильних десятикутників, що мають абсолютно однакові орієнтації. Вони створюють дальній орієнтаційний порядок, названий квазіперіодичним. Це означає, що між видаленими структурами мозаїки існує взаємодія, яка погоджує розташування і відносну орієнтацію ромбів цілком певним, хоча і неоднозначним способом. Послідовно закрашені ромби утворюють п'ять сімейств подібних паралельних ліній, пересічних під кутами, кратними 72° . Напрями цих ламаних ліній відповідають напрямкам сторін правильного п'ятикутника. Тому мозаїка Пенроуза має поворотну симетрію 5-го порядку і в цьому сенсі подібна до квазікристала.

Мозаїка Пенроуза, як і фрактал, має важливу властивість – самоподібність (рисунок 3).

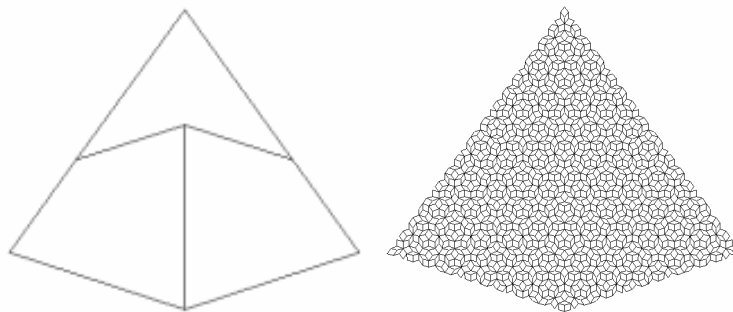


Рисунок 3 – Самоподібність мозаїки Пенроуза

Отже, модель квазікристала може бути створена на основі мозаїки Пенроуза з двома "елементарними складовими",

сполученими один з одним по певним правилам стиковки. Ці спеціальні правила набагато складніші, ніж примітивна трансляція однакових складових в класичних кристалах. Модель Пенроуза добре описує деякі основні властивості квазікристалів, але недостатньо пояснює реальні процеси їх атомного зростання, що носять явно нелокальний характер. Існують і інші теоретичні моделі, що намагаються пояснити природу квазікристалічних структур. Проте мозаїки Пенроуза з двома і більш фігурами визнаються найбільш правильним ключем до розуміння структури квазікристалів.

Розроблено і тривимірне узагальнення мозаїки Пенроуза, що складається з вузького і широкого ромбоєдрів, шестигранних фігур, кожна грань яких - ромб. Така просторова мозаїка володіє ікосаедричною симетрією. Старогрецький філософ Платон вивчав правильні многогранники і визначив, що може бути тільки п'ять фігур, що мають однакові грані і однакові ребра. Це куб, тетраедр, октаедр, додекаедр і ікосаедр. Дві останні фігури володіють шістьма поворотними осями 5-го порядку, тобто поєднуються самі з собою при обертанні на $1/5$ обороту навколо осей, що проходять через центри протилежних граней у додекаедра і через протилежні вершини у ікосаедра. Відповідна цим двом фігурам поворотна симетрія має назву ікосаедричної.

Принципи побудови мозаїки Пенроуза можуть використовуватися при побудові фрактальних поверхонь [3].

На основі мозаїки Пенроуза була побудована фрактальна поверхня, яка за ознаками близька до поверхні металевих сплавів (рисунок 4) [8].

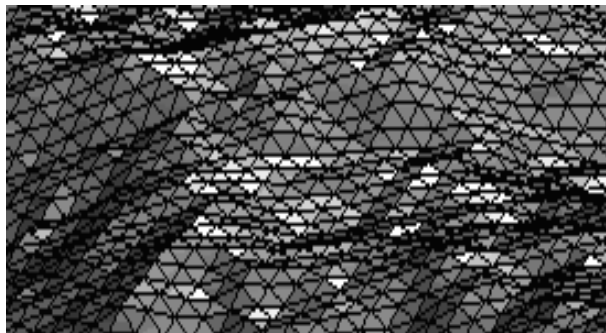


Рисунок 4 – Фрактальна поверхня побудована на основі мозаїки Пенроуза

Поверхні металевих сплавів не є ідеально рівними та геометрично правильними. Якість поверхні характеризується

шорсткістю – середньоквадратичним відхиленням, максимальною висотою нерівностей, середнім кроком нерівностей профілю. Шорсткість як властивість реальної негладкої поверхні виявляється через сукупність окремих нерівностей, що утворюють мікроструктуру поверхні. Застосування теорії фракталів дозволить внести новий показник для оцінки шорсткості (рисунк 5).

Фрактал являє собою геометричний об'єкт, що характеризується нерегулярністю, але самоподібністю, що означає, що об'єкт одноманітно улаштований на різноманітних масштабах його розглядання. Тобто передбачається незмінність основних геометричних особливостей об'єкту при зміні масштабу. Нерегулярність об'єкту означає деяку його дробову (фрактальну) розмірність, яка відрізняє його від розмірності лінії, поверхні чи простору.

Фрактальна розмірність є одною з основних характеристик фрактала. Фрактальні об'єкти, для повного опису яких, недостатньо введення лише одної фрактальної розмірності, а необхідний спектр таких розмірностей, мають назву мультифракталів.

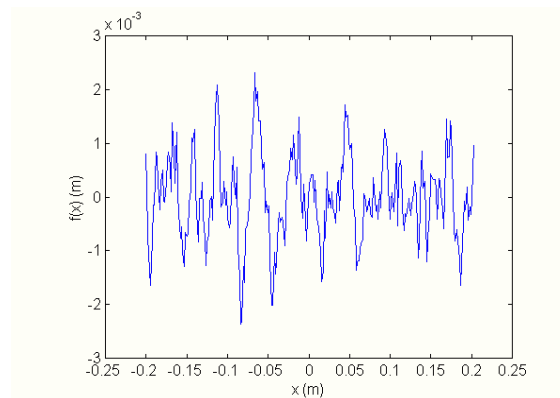


Рисунок 5 – Профіль шорсткості фрактальної поверхні, побудованої за допомогою функції Вейерштраса-Мандельброта (фрактальна розмірність 1.5)

Таким чином, на основі мозаїки Пенроуза запропонована побудова моделі квазікристала. Модель Пенроуза добре описує деякі основні властивості квазікристалів і її побудова реалізується по певному алгоритму, унаслідок чого вона виявляється не випадковою, а впорядкованою структурою. Мозаїка Пенроуза, як і фрактал, має важливу властивість – самоподібність. Тому доцільним є побудування фрактальної поверхні, яка за ознаками близька до поверхні металевих сплавів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Федер Е. Фракталы /Пер. с англ.-М.: Мир, 1991.
2. Михалев А.И., Водолазский Ю.А. Мультифрактальный анализ в задачах оценивания качества медных покрытий // Нові Технології. – 2(12). – Кременчук: КУЕІТУ, 2006. – С. 184-188.
3. Barbasi A.-L., Stanley H. E. Fractal concepts in surface growth. – Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
4. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002.
5. Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов. – М.:Ижевск, 2002 — 167 с.
6. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 527с.
7. Васютинский Н. А. Золотая пропорция. – М.: Молодая гвардия, 1990 – 355с.
8. Михальов О.І., Горбонос А.О. Побудова фрактальної поверхні на основі мозаїки Пенроуза//Тези доповідей міждержавної науково-методичної конференції “Проблеми математичного моделювання”. – Дніпродзержинськ, 27-29 травня 2009р. – с.131-133.

УДК 669.18:669.14.018

А.И. Панченко

**ВЕРОЯТНОСТНО-СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ
ФОРМИРОВАНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В
ПОДШИПНИКОВОМ МЕТАЛЛЕ***

Аннотация. На основании вероятностно-системного подхода к проблеме оксидных включений регламентированного состава в подшипниковой стали разработана методика физико-химического моделирования состава кристаллизующихся минеральных фаз. Научно обоснован принцип регулирования содержания и соотношения активности растворенных элементов-раскислителей, обеспечивающий прогнозируемый состав включений. Приведены результаты промышленных плавов сталей класса ШХ15.

Ключевые слова: подшипниковая сталь, неметаллические включения, физико-химическое моделирование.

Целевой задачей металлургии подшипниковых сталей является производство металла с предельно низким содержанием неметаллических включений при соблюдении требований по их химико-минералогическому составу. Нормами ГОСТ 801-78, зарубежными стандартами ASTM E45, DIN 50602 и др. в подшипниковом металле регламентируются характерные типы включений: оксиды, сульфиды и труднодеформируемые оксидные включения (глобули). Данная классификация основана на общих положениях теории раскисления стали, в основу которой положен термодинамический анализ реакции формирования монофазного включения Me_nO_m и вероятная направленность реакции определяется условием минимизации изобарно-изотермического потенциала энергии Гиббса (ΔG_T). Эти базовые методологические основы затрудняют объективную интерпретацию результатов исследований, фиксирующих сложный фазовый состав включений (рис.1).

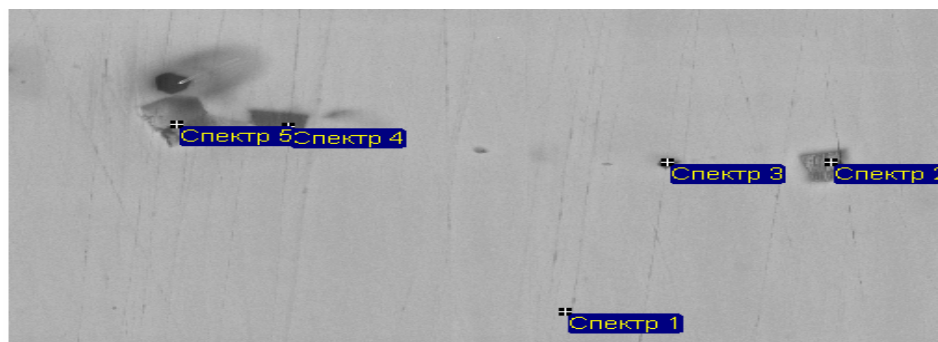
Исследованиями состава включений подшипникового металла, выплавленного на ОАО «Днепроспецсталь» установлено [1], что формирование фаз в составе включения обусловлено действием

© Панченко А.И., 2010

* Работа выполнена под научным руководством академика НАНУ Гасика М.И. с участием к.т.н. Горобца А.П.



Спектр	O	Mg	Al	Cr	Mn	Fe	Итог
Спектр 1				2.18		97.82	100.00
Спектр 2	16.25	8.80	18.84	1.54	0.66	53.92	100.00
Спектр 3	21.34	9.59	22.92	1.32		44.83	100.00
Спектр 4	5.27		5.53	1.90		87.30	100.00
Спектр 5				2.14		97.86	100.00
Макс.	21.34	9.59	22.92	2.18	0.66	97.86	
Мин.	5.27	8.80	5.53	1.32	0.66	44.83	



Спектр	N	O	Mg	Al	Cr	Fe	Итог
Спектр 1					1.69	98.31	100.00
Спектр 2		34.37	10.63	28.71	1.04	25.25	100.00
Спектр 3	19.20			14.97	1.22	64.61	100.00
Спектр 4		36.70	0.49			62.81	100.00
Спектр 5		18.71	6.76	15.03	1.25	58.25	100.00
Макс.	19.20	36.70	10.63	28.71	1.69	98.31	
Мин.	19.20	18.71	0.49	14.97	1.04	25.25	

Рисунок 1 - Электроннооптическое изображение участков строчечного включения в стали ШХ15 (пл В21445) и химический анализ фазовых составляющих включения

факторов, определяющих сопряженное и однонаправленное изменение состояний элементов-раскислителей, обеспечивающих локальное равновесие в системе «включение» и последующую дифференцированную подвижность оксидных фаз в ходе кристаллизации исходного маточного расплава.

Изучая объект (неметаллическое включение) как систему, можно определить ее входные и выходные характеристики. К числу первых относятся содержания растворенного кислорода (определяющий фактор) и элементов-раскислителей, последовательно устанавливающих локальные равновесия в расплаве. Выходными характеристиками является протекание межфазного взаимодействия в ходе кристаллизации, формирующей в итоге химический состав и минеральную ассоциацию включения.

Характеристики раскислительной способности элементов всесторонне и достаточно изучены отечественными и зарубежными учеными и исследователями (А.М.Самарин, Ю.А.Шульте, Н.М.Чуйко, М.И.Гасик, Дж.Чипман, Е.Т.Туркдоган и др.) и обеспечены надежными термодинамическими характеристиками. Физико-химическое исследование и анализ условий кристаллизации многокомпонентного оксидного расплава, в отличие от исследований реакций раскисления с образованием монофазного продукта реакции (включения), по-прежнему остается объектом научных и технологических поисков. В большинстве случаев возможность априори оценить степень участия каждого из элементов, растворенных в металле, в формировании системы «включение» определяется единственным объективным критерием – содержанием элемента, без учета его термодинамической активности и взаимодействия с другими элементами.

Как свидетельствуют результаты промышленных исследований, преобладающее количество оксидных включений представлены фазами с различным содержанием CaO , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , что дает основание рассматривать и изучать «включение» как результат межфазных реакций в ходе кристаллизации оксидного расплава системы $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (C-M-A-S) [2].

Топографически указанная четверная система является тетраэдром с основанием и боковыми гранями, представляющими собой тройные системы $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, MgO-CaO-SiO_2 , $\text{MgO-CaO-Al}_2\text{O}_3$. Термодинамическое исследование, как исходной системы, так и указанных подсистем проведено в монографии А.С.Бережного [3] для субсолидусного состояния. Приведенная тетраэдрация системы C-M-A-S приводит к выделению в объеме указанной системы 36 элементарных тетраэдров. Топология частных

тетраэдров определяется не только границами объемов первичной кристаллизации компонентов, но, в первую очередь, термодинамическими условиями – ограничениями сосуществования фаз.

Продукты и исходные компоненты межфазных реакций находятся в конденсированном состоянии и можно считать значения активностей реагентов равными единице. Поэтому отрицательные значения изобарного потенциала являются необходимым, но недостаточным условием реального существования фаз в выделенном частном тетраэдре.

Ошибочный выбор сосуществующих фаз дает неправильное решение или приводит к несовместимости уравнений действия масс, что вообще исключает получение даже неправильного решения. Несмотря на достаточно надежные данные по триангуляции системы С-М-А-С, топология поверхностей и объема кристаллизации указанной системы недостаточно изучена. Причиной этому являются как методические трудности (количество составов при дозировке компонентов через 10% при 25 фазах системы С-М-А-С превышает 18060), так и повышенная огнеупорность отдельных объемов исследуемой системы.

Для количественной оценки состава неметаллических включений была применена методика расчета, основанная на термодинамических оценках вероятности протекания прогнозируемых реакций, применении количественного расчета вероятности кристаллизации фаз [4] и учета энергии связи кристаллизующегося соединения [5].

В качестве примера исследуем условия формирования глобулярного включения, состав которого ограничен четырьмя вершинами элементарного тетраэдра М-СМS-М₂S-МА (периклаз-монтichelлит-форстерит-шпинель). Указанный тетраэдр занимает в системе С-М-А-С максимальный объем (10,8%) по сравнению с остальными 37 элементарными тетраэдрами [3].

В соответствии с правилом фаз оксидный расплав (Ж) данного тетраэдра проходит четыре стадии кристаллизации (табл.1).

Таблица 1

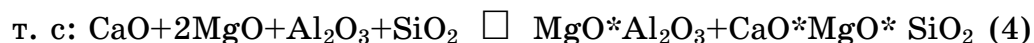
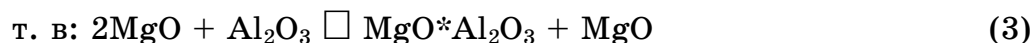
Условия выделения компонентов в системе M-CMS-M₂S-MA

Характер кристаллизации	Топология кристаллизующихся составов
Первичная	Объем M-CMS-M ₂ S-MA
Вторичная	Поверхность MA-M-M ₂ S, MA-M ₂ S-CMS, MA-CMS-M, M ₂ S-CMS-M
Третичная	Линия MA-M ₂ S, MA-M, MA-CMS, CMS-M ₂ S, M ₂ S-M, CMS-M
Четвертичная	Точка в сечении авс

Характерной точкой, отвечающей невариантному равновесию, является состав жидкого оксидного состава, отвечающий условиям эвтектической кристаллизации с выделением четырех компонентов в субсолидусном состоянии по реакции (1):



В данном тетраэдре при эквимолярном соотношении пар компонентов, отмеченных фигуративными точками а, в, с на гранях тетраэдра, возможно протекание следующих реакций



Для выяснения вероятности протекания в исследуемом объеме тетраэдра эвтектической реакции (1) рассчитывается температурный ход политермы $\square G^0$ реакций (2-4) и делается заключение о возможности протекания прогнозируемых реакций. Исходные термодинамические данные [6] для расчета изменения энергии Гиббса приведены в табл.2, а величины изменения энергии Гиббса приведены в табл.3. Приведенные данные свидетельствуют о вероятности протекания реакций (2-4) в прямом направлении во всем диапазоне температур сталеплавильного процесса.

Количественный расчет вероятности кристаллизации окисных фаз основывается на следующих положениях. В первую очередь из расплава кристаллизуются соединения с максимальной энергией связи между ионами.

Таблица 2

Термодинамические свойства фаз, кристаллизующихся в частном тетраэдре М-МА-М₂S-CMS системы CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ [6]

Фаза	-ΔH ₂₉₈ кДж/моль	ΔS ₂₉₈ кДж/моль	-ΔG ₂₉₈ кДж/моль	ΔC _p = a + bT - cT ² кДж/моль		
				a	b	c
MgO	601,55	26,94	369,38	42,67	7,11	6,27
MgO*Al ₂ O ₃	2308,73	80,75	2182,79	153,97	26,77	41,00
2MgO*SiO ₂	2181,28	95,18	2062,09	149,78	27,19	35,56
CaO*MgO*Al ₂ O ₃	2257,81	108,36	2139,94	144,34	39,74	28,45
Al ₂ O ₃	1418,79	51,04	1576,11	115,06	11,71	35,14
CaO	256,06	54,81	226,35	4058	8,78	-
SiO ₂	911,69	36,81	856,04	60,24	7,94	-

Таблица 3

Изменение энергии Гиббса реакций (2-4) в температурном интервале

Реакция	ΔG _T = f (T), кДж				
	ΔG ⁰ ₂₉₈	ΔG ⁰ ₁₀₀₀	ΔG ⁰ ₁₄₀₀	ΔG ⁰ ₁₇₀₀	ΔG ⁰ ₁₉₀₀
2	103,51	109,42	111,59	114,49	115,94
3	37,29	38,95	40,05	41,16	41,71
4	525,46	520,77	518,00	515,02	513,53

При этом количественно энергия связи кристаллических соединений V₀ определяется по формулам Ферсмана (5) или Капустинского (6)

$$V_0 = 1071,52 (a \text{ ЭК}_k + b \text{ ЭК}_a), \text{ кДж/моль} \quad (5)$$

$$V_0 = 1071,52 \frac{\sum m z_1^* z_2}{r_a + r_k}, \text{ кДж/моль} \quad (6)$$

где a, b – число анионов и катионов, входящих в состав формульной единицы; ЭК – энергетическая константа иона; $\sum m$ – число ионов в молекуле; z₁ – радиус иона, нм; z₂ – атомный вес иона.

Результаты расчетов по формуле (5) приведены в табл.4.

Вероятность кристаллизации (P) фаз из окисного расплава определяется по формуле (7)

$$P_i = V_0 N_i \quad (7)$$

где N_i – содержание данной фазы в моль/100 г расплава.

Первично кристаллизующейся будет фаза, имеющая наибольшую из возможных вероятность кристаллизации. Применительно к исходным четырем фазам, уравнения вероятности кристаллизации приобретут следующий вид:

$$\begin{aligned} P_1 &= 4670 \text{ NMA} & P_2 &= 1700 \text{ NCMS} \\ P_3 &= 1800 \text{ N2MS} & P_4 &= 950 \text{ NM} \end{aligned} \quad (8)$$

Таблица 4

Значения энергетических констант и величины энергии связи
для кристаллизующихся фаз.

Соединение	ΔK_k	ΔK_a	V_0 , кДж/моль
$Mg^{2+} O^{2-}$	2,15	1,55	3964,63
$Mg^{2+} Al_2^{3+} [O_4]^{6-}$	Mg – 2,15 Al – 4,95	1,55	19555,26
$2 Mg^{2+} [SiO_4]^{4-}$	2,15	2,75	7554,21
$Ca^{2+} Mg^{2+} [SiO_4]^{4-}$	Ca – 1,75 Mg – 2,15	2,75	7125,60

Учитывая условия кристаллизации в четверной эвтектической точке, где все четыре компонента должны иметь равную и максимальную вероятность кристаллизации, совокупность полученных уравнений представляет собой поиск оптимального решения целевой функции (9):

$$F = P1 + P2 + P3 + P4 = \max \quad (9)$$

при следующих условиях-ограничениях:

$$P1 = P2 + P3 + P4$$

$$Pi = \max \quad (10)$$

Корни уравнения искомой целевой функции (9) приобретают следующий вид:

$$\begin{aligned} NMA = 0,0907 & \quad NCMS = 0,2435 \\ N2MS = 0,2300 & \quad NM = 0,4358 \end{aligned} \quad (11)$$

Соответственно, уравнение кристаллизации окисного расплава внутри элементарного тетраэдра в четверной эвтектической точке определяется выражением (12):

$$\begin{aligned} \mathcal{K} = 0,0907 (MgO \cdot Al_2O_3) + 0,2435 (CaO \cdot MgO \cdot SiO_2) + 0,2300 \\ (2MgO \cdot SiO_2) + 0,4358 (MgO) \end{aligned} \quad (12)$$

При этом валовой химический состав исходного кристаллизующегося окисного расплава ($\mathcal{K}$) соответствует следующей химико-минералогической формуле:

$$\mathcal{K} = Ca_{0,2438} Mg_{1,2363} Al_{0,1814} Si_{0,4735} O_{2,6969} \quad (13)$$

Полученные результаты дают возможность оценить величину активностей соответствующих фаз переменного состава в узловых точках и на линиях равновесий между поверхностями и объемами кристаллизующихся фаз внутри концентрационного тетраэдра C-M-A-S. Значения активностей окисных фаз, принадлежащих тетраэдру $MgO \cdot Al_2O_3 - 2MgO \cdot SiO_2 - CaO \cdot MgO \cdot SiO_2 - MgO$ и кристаллизующихся из расплава ($\mathcal{K}$), определенные по методике

теоретической оценки активностей компонентов шлака, предложенной А.Г.Пономаренко, приведены в табл.5.

Таблица 5

Активности окисных фаз, кристаллизующихся из расплава
 $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 - \text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 - \text{MgO}$ при 1873 К

Элемент	Атомная доля, c_i	Атомный коэффициент активности, Ψ_i	$a_i = c_i \cdot \Psi_i$	Фаза	Активность фазы при 1873 К	
Ca	0,0503	2,5641	0,1289		$a = a_i \cdot a_j$	$a_{\text{фазы}}$
Mg	0,2556	2,3169	0,5921	МА	$a_{\text{Mg}} \cdot a_{\text{Al}}^2 \cdot a_0^4$	0,0046
Al	0,0375	2,3674	0,0887	CMS	$a_{\text{Ca}} \cdot a_{\text{Mg}} \cdot a_{\text{Si}} \cdot a_0^4$	0,0178
Si	0,0979	2,3957	0,2345	M_2S	$a_{\text{Mg}}^2 \cdot a_{\text{Si}} a_0$	0,0822
O	0,5583	1,7911	1,000	M	$a_{\text{Mg}} \cdot a_0$	0,5921

Приведенные данные свидетельствуют о том, что высокая активность магния (0,5921) по сравнению с остальными элементами-раскислителями приводит не только к переносу процесса кристаллизации оксидного расплава в периклазовый угол диаграммы состояния системы C-M-A-S, но и ограничивает развитие реакций образования шпинели $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$.

Следует отметить, что наличие в составе включений шпинели МА в виде самостоятельной фазы или в ассоциации с другими оксидами. обеспечивает высокую микротвердость включений при температурах прокатки ($t_{\text{исп}} = 950^\circ\text{C}$, $\sigma_{\text{в}}(\text{кг/мм}^2)$: $\text{MgO} - 240$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 445$; $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - 700$) и приводит к появлению в металле труднодеформируемых включений, являющихся основной причиной несоответствия металла нормативным требованиям.

До недавнего времени в подшипниковом металле, производимом ОАО «Днепропеталь» в дуговых электропечах по классической двухшлаковой технологии с легированием и раскислением металла в печи, был характерен именно этот состав глобулярных включений. Начиная с 2000 г. на предприятии внедрена современная технология выплавки стали по технологическому маршруту: дуговая печь – печь-ковш – вакууматор, при которой операции доводки металла по химическому составу и раскисление стали осуществляется на установке печь-ковш. В результате применения ферросплавов с неконтролируемым по ГОСТ 801-78 содержанием примесных элементов (ферросилиций ФС65 с содержанием Ca $\leq 0,5\%$, ДСТУ 4127-2002) развития реакций восстановления Ca из шлакового расплава системы CaO-CaF₂, в составе глобулярных включений стали преобладать фазы $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$.

Руководствуясь концепцией регулирования содержаний и соотношений растворенных элементов-раскислителей, был изменен режим раскисления и легирования электростали путем применения комплексного сплава ферросиликомарганца МнС17 (ДСТУ 3548-97) [7]. Результатом стало повышение выхода годного с первого контроля по неметаллическим включениям до значений 90-100% против 50-60% по ранее действовавшей технологии.

Выводы

Количественная оценка условий формирования оксидных включений, основанная на физико-химическом моделировании процессов кристаллизации многокомпонентной системы, позволяет наметить практические пути управления составом включений, среди которых важнейшим следует считать регулирование как соотношений, так и абсолютных концентраций элементов-раскислителей, растворенных в металле: кальция, магния, алюминия и кремния, обуславливающих формирование включений в определенных областях диаграмм фазовых равновесий системы С-М-А-S.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панченко А.И. Разработка и освоение технологии раскисления и легирования подшипниковой стали ШХ15СГ-В ферросиликомарганцем МнС25. /А.И.Панченко, И.Н.Логозинский, А.С.Сальников и др.// Современная электрометаллургия-2008-№3-с.47-57.
2. Гасик М.И. Теоретические предпосылки процессов формирования оксидных и глобулярных неметаллических включений при различных остаточных содержаниях кальция и алюминия. /Гасик М.И., Горобец А.П., Панченко А.И. и др.// Metallургическая и горнорудная промышленность-2008-№1-с.48-54.
3. Бережной А.С. Многокомпонентные системы окислов. /Бережной А.С.-К.:Наукова думка, 1978-491 с.
4. Посыпайко В.И. Методы исследования Многокомпонентных солевых систем. /Посыпайко В.И.-М.:Наука, 1978-255 с.
5. Яцимирский К.Б. Химическая связь. /Яцимирский К.Б.-К.:Вища школа, 1975-304 с.
6. Термодинамические свойства индивидуальных веществ. Т.3. /Научн.ред.В.П.Глушко-М.:Наука, 1981-396 с.
7. Гасик М.И. Технология выплавки чистой электростали ШХ15СГ-В с диверсификацией ферросплавов. /М.И.Гасик, А.И.Панченко, Л.М.Скрипка и др. //Сталь-2009-№6-с.25-28.

УДК 621.055.5

В.Н. Журавлёв

СИНЕРГИЗМ ПРОЦЕССА ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ МЕЖДУ БИООБЪЕКТАМИ

Аннотация. Для пояснения противоречий адекватности теорий речеслухового процесса предложена математическая модель генерации и приема энергии речевого сигнала.

Анотація. Запропонована математична модель генерації та прийому мовного сигналу, яка пояснює протиріччя адекватності сучасних теорій мовнослухового процесу..

Annotation. To explain contradictions of imperfect adequacy of speech and hearing process theories the math model of speech signal energy generation and receiving is posed.

Ключевые слова: Речевой сигнал, синергетический поход, турбулентная нить.

Постановка задачи. Формулировка предмета и цели исследований

Современное состояние теории и практики защиты речевого обмена технологической информацией в условиях производственных шумов и помех металлургических предприятий характеризуется отсутствием комплексного подхода к решению проблемы анализа информационных и идентификационных составляющих речевого сигнала.

В современной науке о речеслуховом процессе, фундаментальным понятием, введенным Гельмгольцем в 1863 г. [1], является «тоновая (частотная) чувствительность» слуха (Tonempfindungen, нем.). Под термином «тон» Гельмгольц понимал частотную составляющую сложного звука (волнового пакета). Ключевое гносеологическое понятие «частотная (спектральная) чувствительность» определяет головные параметры, адекватность и направление развития современных моделей речеслухового процесса.

Фундаментальные общепризнанные исследования речевой и слуховой систем человека основываются на гармоническом (в основном спектральном) представлении речевого сигнала (РС) в полосе тональных частот (ТЧ), его акустических и электрических моделях [2]. Эти модели адекватны природным процессам в качестве

© Журавлёв В.Н. 2010

первого приближения, в котором анализируются объемные акустические параметры РС, в частности – давление и плотность вещества канала связи. Аналитическим критерием адекватности моделей является информационное расстояние между функциями спектральной плотности мощности природного и модельного реализациями аллофонов фонем РС. Также общепризнано [3], что они не удовлетворяют критерию оценки «природности» звучания (заметное информационное расстояние) и противоречат фактам экспериментальных исследований свойств слуха [4]. Последнее, в сумме с дискретным импульсным психофизиологическим методом обработки звуковых сигналов биообъектами [5], позволяет говорить о неполной адекватности современных аналоговых гармонических моделей природному речеслуховому процессу.

Применяя синергетический подход [6], основываясь на очевидном факте переноса речевыми сигналами $s(t)$ со скоростью звука v_s массы m вещества канала связи и фундаментальном свойстве движущейся массы обладать энергией $E_s(t)$, дополним понятие Гельмгольца свойством чувствительности слуха к энергии частотных составляющих сложного звука. Это дополнение не изменяет сущности существующих (работающих!) моделей и методов обработки и исследования РС, однако направляет познание и изучение речеслухового процесса как метода передачи энергии $E(t)$ сигнала $s(t)$ от передатчика диктора к приемнику аудитора. Данный подход обязывает применение фундаментальных понятий физики – энергии E , массы m и скорости v её перемещения в канале связи, а также основного закона – сохранения энергии, соответствие последнему будет определять адекватность моделей анализа исследуемого процесса.

Целесообразно [7], в качестве критерия второго приближения, принять отношение осреднённой скорости фактического переноса энергии информационных составляющих $s(t)$ РС в канале связи $\langle v_s \rangle$ к средней квадратичной скорости элементарных носителей энергии вещества канала связи $\langle v \rangle$ – молекул воздуха, обладающих массой m_m , (где символ $\langle \dots \rangle$ – среднее по ансамблю).

Таким образом, *объектом исследований* является физически однородная термодинамическая система канала связи (вещество

канала – воздух) передачи речевых сигналов. *Предмет исследований* – функциональные зависимости физических параметров объекта исследований, влияющие на критерий приближения $\frac{\langle v_s \rangle}{\langle v \rangle}$. *Целью исследований* является приближение параметра адекватности модели речеслухового процесса к природному процессу передачи информации $I(t)$ по акустическому каналу связи. Анализ критерия приближения будем проводить, основываясь на законах синергетики [8], молекулярной физики и феноменологической термодинамики [10], т.е. будем искать общие закономерности передачи и преобразования энергии в речеслуховой системе.

Основная часть. Синергетическая модель передачи энергии речевого сигнала

Изменение параметра энергии $E_s(t)$ в веществе канала связи во времени определяет информацию $I(t) = f[E_s(t)]$ речевого сигнала $s(t)$. Основываясь на свойстве низкочастотности функции информации РС (минимальное время звучания фонемы $T_p > 60 \text{ мс}$), представим речевой процесс в виде математической модели модуляции несущего сигнала $s_g(t)$ модулирующей функцией $I(t)$

$$\begin{aligned} s(t) &= Md[I(t), s_g(t)] \\ s_g(t) &= f(t, a_i), i \in 1 \dots n, \end{aligned} \quad (1)$$

где: $Md[\dots]$ – оператор модуляции, a_i – параметр, определяющий форму несущего сигнала. Современные модели речеслуховой системы рассматривают процесс речеобразования на базе понятий классической аэродинамики, т.е. анализируют, осреднённые в некотором объеме V вещества канала связи, параметры градиента скорости $\vec{v}(x, y, z, t)$, давления $\vec{p}(x, y, z, t)$ и плотности $\vec{\rho}(x, y, z, t)$. Учитывая, что эти параметры связаны между собой и акустоэлектрические преобразователи чувствительны к изменениям градиента давления, выражение (1) можно представить в виде $s(t) = Md[I(t), \vec{p}(x, y, z, t)]$.

В теоретической части исследований проведён анализ метода определения объемной скорости звука, в результате которого сделан вывод, что введение энергии в акустический канал связи изменит количество степеней свободы некоторой совокупности молекул,

переносящих энергию $E_s(t, \Delta t)$ речевого сигнала. Механизм образования дробного количества степеней свободы молекул вещества канала связи поясняют базовые положения синергетики [15], основываясь на которых предложена и доказана следующая гипотеза.

Процесс передачи энергии $E_s(t, \Delta t) = \text{const}, t \in [\Delta t]$ по каналу связи инициирует синергетический фазовый переход первого рода, изменяющий параметры механизма движения совокупности молекул некоторой массы m (определяющей энергию $E_s(t, \Delta t)$) вещества канала связи по осям x, y и z . Этот процесс объединяет («совместное действие» в терминах синергизма) две степени свободы (y, z) векторов скоростей $\langle \vec{v}_{x,y,z} \rangle$ теплового движения таким образом, что молекулы начинают передавать момент количества движения $\langle \vec{M}_m(x, y, z) \rangle = m_m \langle \vec{v} \rangle \langle \vec{r} \rangle$ по спиральной траектории радиуса $\langle r \rangle$ в направлении градиента давления $\vec{p}(x, \Delta t)$. Векторы количества движения $\vec{K}(y, z)$ в плоскости y, z объединяются в один вектор момента количества движения $\vec{M}_{y,z}(\omega_x, r, t)$, который вращается с круговой частотой $\langle \vec{\omega}_x \rangle$ (линейной скоростью $\langle \vec{v}_{y,z} \rangle$), определяя энергию вращательного движения $E_{s(\omega)}(t, \Delta t)$ цилиндра, радиуса $\langle r \rangle$ с массой m и моментом инерции J_x .

Скорость звука $\langle \vec{v}_s \rangle = \langle \vec{v}_x \rangle$ определяет энергию $E_{s(v)}(t, \Delta t)$ поступательного движения количества движения $\vec{K}(x, \Delta t)$, является групповой скоростью волнового пакета $s(t, \Delta t)$, внутри которого существуют энергетические процессы вращательного движения, определяемые в плоскости осей y, z .

Объединяющим энергетическим параметром волнового пакета является скорость переноса количества движения $\vec{K}_{x,y,z}(m, \langle \vec{v} \rangle, t)$, которая постоянна (при $T^0 = \text{const}$) и, в соответствии с принципом Ферма, должна соответствовать средней квадратичной скорости молекул $\langle \vec{v} \rangle$ вещества канала связи.

Плотность потока энергии на интервале времени Δt постоянна, определяется потенциальной энергией градиента давления $\vec{p}(x, t, \Delta t)$ и максимальной скоростью v её переноса в канале связи.

Обобщающие выражения для:
закона сохранения энергии:

$$\begin{aligned}\langle E_s(t, \Delta t) \rangle &= const, t \in [\Delta t], \\ \langle E_s \rangle &= \langle E_{s(v_x)}(t, \Delta t) \rangle + \langle E_{s(\omega_{y,z})}(t, \Delta t) \rangle, \\ \langle E_{s(v_x)}(t, \Delta t) \rangle &= \frac{m \langle v_x^2(t, \Delta t) \rangle}{2}, \\ \langle E_{s(\omega_{y,z})}(t, \Delta t) \rangle &= \frac{J_x(t, \Delta t) \langle \omega_x^2(t, \Delta t) \rangle}{2}\end{aligned}\quad (2)$$

закона распределения энергии по степеням свободы:

$$\begin{aligned}\langle E_{s(v)}(t, \Delta t) \rangle &= \langle E_{s(\omega)}(t, \Delta t) \rangle = 0,5 \langle E_s(t, \Delta t) \rangle, \\ \langle \vec{v}_x(t, \Delta t) \rangle &= const, \\ \langle \vec{\omega}_x(t, \Delta t) \rangle &= const, \\ \langle \vec{v}(t, \Delta t) \rangle &= \langle \vec{v}_x(t, \Delta t) \rangle + \langle \vec{v}_{y,z}(t, \Delta t) \rangle, \\ \langle \vec{v}_{y,z}(t, \Delta t) \rangle &= \langle \vec{\omega}_x(t, \Delta t) \rangle \langle r_r(t, \Delta t) \rangle,\end{aligned}\quad (3)$$

условия формирования векторов скоростей:

$$\begin{aligned}\langle \varphi_v(t, \Delta t) \rangle &= \arccos \left[\frac{1}{\langle \gamma(t, \Delta t) \rangle} \right] \\ \langle v_x(t, \Delta t) \rangle &= \langle v(t, \Delta t) \rangle \cos \langle \varphi_v(t, \Delta t) \rangle, \\ \langle v_{y,z}(t, \Delta t) \rangle &= \langle v(t, \Delta t) \rangle \sin \langle \varphi_v(t, \Delta t) \rangle\end{aligned}\quad (4)$$

где $\langle \varphi_v(t, \Delta t) \rangle$ – среднее квадратичное значение угла между векторами $\langle \vec{v}_x(t, \Delta t) \rangle$ и $\langle \vec{v}(t, \Delta t) \rangle$ скоростей движения молекул вещества канала связи, $\langle \vec{v}_{y,z}(t, \Delta t) \rangle$ – среднее квадратичное значение линейной скорости молекул.

Для анализа механизма переноса энергии $E_s(t)$ звукового сигнала $s(t)$ веществом канала связи рассмотрены синергетические процессы его синтеза, происходящие в передатчике речевой системы и анализа – приема в слуховой системе человека. Значения физических параметров речеслуховой системы взяты из источников, в которых наиболее полно отражены факты экспериментальных исследований, т.е. из монографий: Фланагана [3] – для процесса речеобразования и Бекеши [10] – для процесса слухового восприятия.

Полный текст работы, включающий результаты теоретических, расчетных и экспериментальных исследований расположен по адресу <http://kudin.net/r/index.php/20100204-scientific-library.html>.

Выводы. Направления дальнейших исследований

Для пояснения противоречий и факта неполной адекватности современных теорий речеслухового процесса было рассмотрена математическая модель процесса генерации, распространения и приема энергии РС. Модель базируется на синергетическом анализе отношения осреднённой скорости фактического переноса энергии информационных составляющих $s(t)$ РС в канале связи $\langle v_s \rangle$ к средней квадратичной скорости элементарных носителей энергии вещества канала связи $\langle v \rangle$ – молекул воздуха. Нами были проведены теоретические, расчетные и экспериментальные исследования, косвенно (в связи с отсутствием технических средств прямых измерений энергетических параметров сигналов турбулентного вихревого потока) доказывающие синергетические свойства речевого сигнала, которые заключаются в следующем.

1. В объеме генератора (голосовых связок) речевой системы происходит синергетический фазовый термодинамический процесс преобразования потенциальной энергии градиента давления лёгких $\Delta \vec{p}(t, \Delta t)$ в кинетическую энергию РС – вихревого потока вещества канала связи (2 – 4).

2. Энергия $E_s(t, \Delta t)$ выходного сигнала $s_g(t, \Delta t)$ генератора зависит от потенциальной энергии градиента давления в лёгких $\Delta \vec{p}(t, \Delta t)$, максимальной скорости $\vec{v}$ переноса момента количества движения $\vec{M}_{x,y,z}(\vec{v}, m, \vec{r}, t)$ в веществе канала связи, детерминирована на интервале времени существования Δt и дискретна во времени t .

3. Информационная компонента РС дискретна и определяется энтропией $H[s_g(t, \Delta t), T_p]$ импульсов энергии вращательного движения $\langle E_\omega(t, \Delta t) \rangle$ вещества канала связи в объеме передатчика звука на интервале времени активности фонемы $T_p, t \in [\Delta t] \in [T_p]$, идентификационная – непрерывным процессом модуляции этой энергии кинемами в волноводе речевой системы.

4. Информационная компонента РС $\langle E_\omega(t, \Delta t) \rangle = f[\omega_x(t, \Delta t)]$ переносится со скоростью звука $\langle v_s \rangle$ в веществе канала связи

компонентой поступательного движения $\langle E_x(t, \Delta t) \rangle = f[v_s(t, \Delta t)]$. Современные акустоэлектрические преобразователи чувствительны к функции огибающей мощности компоненты поступательного движения.

5. В процессе внутриимпульсной модуляции в волноводе речевой системы некоторые составляющие РС могут перемещаться со скоростью, превышающую скорость звука, т.е. наблюдается факт модуляции угла $\varphi_v(t, \Delta t)$,

$$s(t, \Delta t) = Md \left[I(t), s_g(m, \omega_x, \varphi_v, t, \Delta t) \right], \quad (5)$$

$$t \in (\Delta t]$$

6. Конструкция физиологических элементов системы слуха человека позволяет отдельно принимать сигналы несущие энергию как поступательного движения вещества канала связи, так и вращательного (5). Современные теории речеслухового процесса базируются на методе гармонического анализа (в полосе ТЧ) мощности огибающей акустических сигналов компоненты поступательного движения вещества канала связи.

Результатом улучшением критерия адекватности в предложенной модели второго приближения может служить факт пояснения большинства противоречий современной теории речеслухового процесса.

Результаты исследований позволяют определить новый подход к вопросам теории и практики защиты речевого канала обмена технологической информацией в условиях производственных шумов и помех металлургических предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Helmholtz H. von, Die Lehe von Tonempfindungen. Brannschweig, Vieweg, 1863.
2. Фланаган Дж. Анализ, синтез и восприятие речи [Текст] / Дж. Фланаган. Пер. с англ./ Под ред. А.А.Пирогова. – М.: Связь, 1968. – 396 с.
3. Галунов В.И. Помехоустойчивость как системообразующий фактор речи. Проблемы и методы экспериментально-фонетических исследований [Текст] / В.И. Галунов. – СПб.: 2002, 327с.
4. Журавлев В.Н. Анализ противоречий теорий речеобразования и слуха с позиции идентификации информационных параметров и

характеристик речевых сигналов [Текст] / В.Н. Журавлев, А.Е. Архипов. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія № 2(9), – Винница. 2007, С. 180 – 185.

5. Психоакустические аспекты восприятия речи. Механизмы деятельности мозга [Текст] / Под. ред. Н.П. Бехтеревой. – М.: Наука, 1988. – 504 с.

6. Журавлев В.Н. Анализ процессов энергоинформационного обмена в системах маскирования речи [Текст] / В.Н. Журавлев. Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (56). – Том2. – Дніпропетровськ, 2008. ISSN 1562-9945. С. 145 – 149.

7. Кастерин Н.П. Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики. (Доклад на особом совещании при Академии Наук 9 декабря 1936 г. Издательство Академии наук СССР Москва – 1937 г.). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vixri.ru/?p=146>. – свободный. Название с экрана.

8. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах [Текст] / Г.Николис, И.Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 512 с.

9. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Кинетика. Теплота. Звук [Текст] / Р.Фейнман, Р.Лейтон, М.Сэндс. Вып 4. Том 4. – М.: Мир, 1965. – 260 с.

10. Бекеши Г. Механические свойства уха. [Текст] / Г.Бекеши, В.А.Розенблит. В кн. Экспериментальная психология (том 2). – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 1035 с.

УДК 621.746.6.001.2

В.Ю. Селиверстов, Т.В. Михайловская
**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ
ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ЗАТВЕРДЕВАЮЩИЙ МЕТАЛЛ В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ**

Приведено поэтапное описание осуществление методики расчета режима осуществления технологического процесса газодинамического воздействия на затвердевающий металл в литейной форме, основанная на пошаговом вычислении динамики нарастания максимального рабочего давления и динамики нарастания рабочего давления в системе отливка-устройство для ввода газа.

Ключевые слова: Газодинамическое воздействие, технология, параметры, методика, расчет

Введение. Физический смысл понятия давления не обуславливает природу возникновения действующих на поверхность тела сил (гравитационные, молекулярные поверхностные, электромагнитные, механические и т. п.), а является лишь оценкой их величины, отнесенной к единице поверхности тела. На практике кроме знания абсолютной величины действующего давления важно комплексно учитывать природу возникновения создающих его сил, а также свойства материала, на который осуществляется воздействие, прежде всего, в контексте реализации соответствующего технологического процесса.

Анализ предыдущих публикаций и постановка задачи. Накопленный опыт [1, 2] свидетельствует о неоднозначности достигаемых конечных результатов воздействия давления на структуру и свойства литого материала в различных способах литья. В этой связи важное значение приобретает оценка эффективности действия давления на процессы формирования отливки не по абсолютной величине последнего, а по достигаемому при этом коэффициенту его полезного действия, выражающегося в повышении качества отливок, увеличении производительности, сокращении расхода энергии и материалов [1]. Наиболее эффективны технологические процессы, предусматривающие передачу давления непосредственно жидкой фазе внутри отливки в течение наиболее

© Селиверстов В.Ю., Михайловская Т.В., 2010

продолжительного временного промежутка относительно общего времени затвердевания [1, 2]. Эффективность способа также во многом зависит от степени сложности конструкции и особенностей эксплуатации оборудования, необходимого для осуществления технологического процесса, использования вспомогательных материалов, дополнительного персонала и т.п. Разработанная технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме позволяет создавать регулируемое газовое давление внутри затвердевающей отливки при условии обеспечения герметичности системы отливка-устройство для ввода газа, а также соответствия динамики нарастания давления динамике роста прочностных свойств корки затвердевающего металла [3-7]. Кроме того, для обеспечения реализации технологического процесса актуальной задачей является необходимость учета комплекса физических свойств материалов формы и отливки, их теплофизических характеристик, а также напряжений, возникающих в затвердевшей поверхностной корке под влиянием гидростатического напора [8] и т.д.

Цель работы – разработка универсальной методики расчета режима осуществления технологического процесса газодинамического воздействия на затвердевающий металл в литейной форме.

Результаты исследований. На рис.1 представлена схема, иллюстрирующая этапы реализации методики расчета основных параметров технологии газодинамического воздействия. Она (методика) включает в себя этапы предварительной обработки и получения исходных данных, непосредственного выполнения расчетного алгоритма и последующего анализа результатов. Начальным этапом является предварительная обработка данных. Этот этап можно также охарактеризовать как подготовительный. Он состоит в определении кинетики затвердевания отливки $X(\tau)$ и изменения температуры ее поверхности T_k . Для получения этих зависимостей необходимо построение температурного поля отливки на основе результатов термографических исследований, либо расчетов (например, в системах компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП)). Преимуществом использования СКМ ЛП является возможность ухода от проведения трудоемких натурных экспериментов, а также сокращения объема постпроцессорной обработки массивов экспериментальных данных. При этом,

перспективным представляется разработка дополнительного оригинального программного обеспечения для анализа кривых охлаждения и полностью автоматизированного получения наборов данных по кинетике затвердевания отливки и зависимости температуры поверхности отливки от времени.

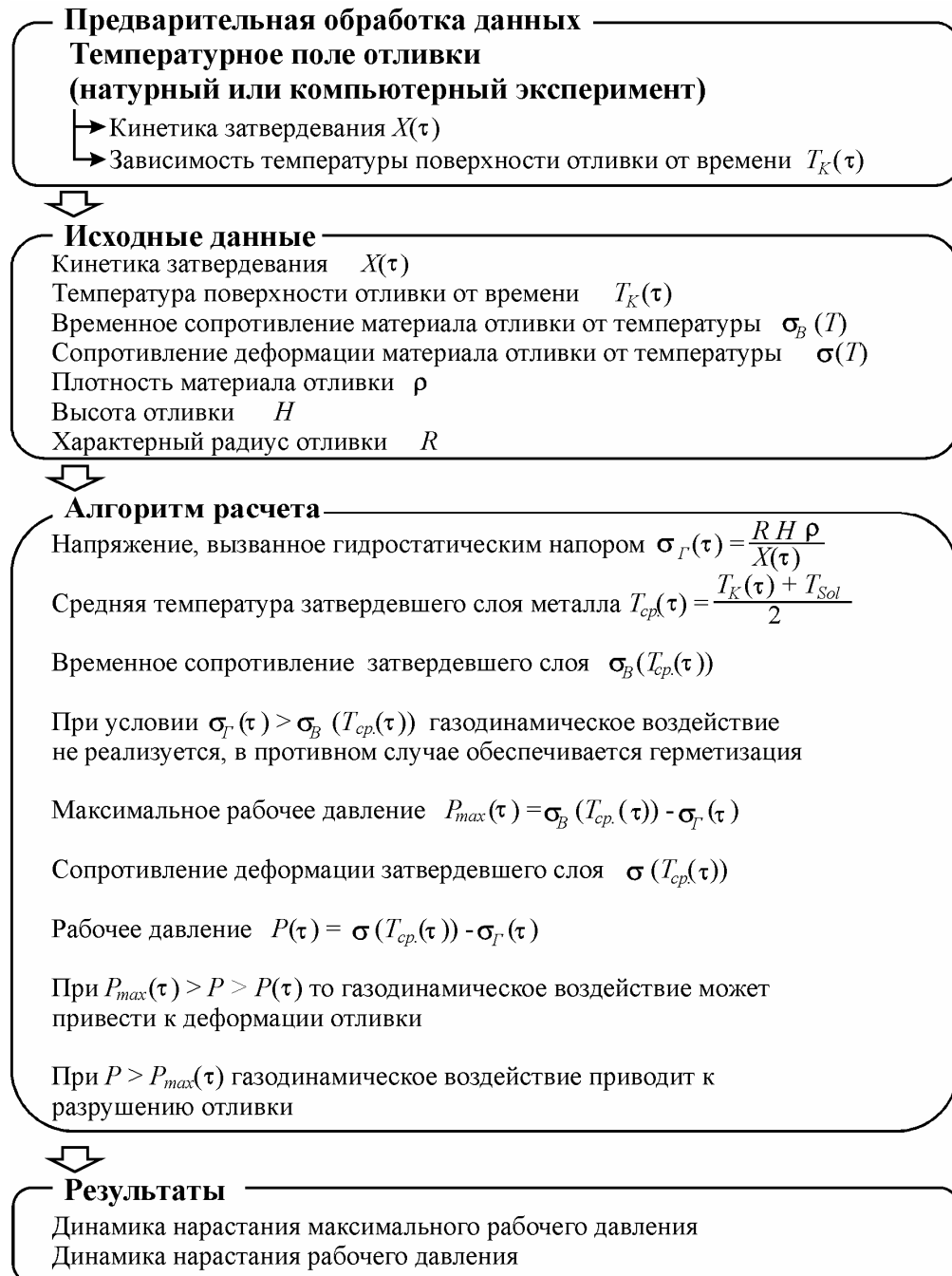


Рисунок 1 – Методика расчета основных параметров технологии газодинамического воздействия

В качестве исходных данных выступают зависимости от температуры временного сопротивления σ_B и сопротивления деформации σ [5-7], а также плотность материала отливки ρ и ее геометрические характеристики (высота H и характерный радиус R).

На следующем этапе (алгоритм расчета) вычисляются такие параметры газодинамического воздействия на расплав в литейной форме как динамика нарастания максимального рабочего давления $P_{\max}(\tau)$ и динамика нарастания рабочего давления $P(\tau)$.

Для учета растягивающих напряжений, возникающих в слое затвердевшего металла отливки под влиянием гидростатического напора, проводили расчет их значений в соответствии с кинетикой затвердевания отливки по методике, изложенной в работе [3]. В начале затвердения расплава в форме тонкий твердый слой металла, образующийся на поверхности формы (например, цилиндрической), под воздействием гидростатического напора испытывает растягивающие напряжения, величина которых может быть рассчитана согласно формуле [8] (см. рис.1)

При отходе затвердевшего слоя металла от формы должно выполняться условие $\sigma_B \geq \sigma_{\Gamma}$.

Отход корки от поверхности формы осуществляется благодаря термической усадке твердого металла. В первый момент затвердения твердая корка плотно прилегает к поверхности формы и, практически, имеет температуру кристаллизации, близкую к температуре «солидус». По мере роста корки увеличивается перепад температур по пересечению затвердевшего слоя. В свою очередь, величины σ_B и σ существенно изменяется в зависимости от температуры металла. Поэтому, в качестве отмеченной температуры для расчетов избрали среднюю температуру растущего затвердевшего слоя соответствующей толщины (см. рис.1)

Затем рассчитывали динамику изменения максимально возможного давления в системе отливка-устройство для ввода газа, основываясь на значениях временного сопротивления материала отливки (σ_B) при средней температуре образующегося затвердевшего слоя. Для реализации варианта технологии, предусматривающего минимальную деформацию металла отливки, затвердевающего под регулируемым газовым давлением, расчет динамики его увеличения

проводили основываясь на значениях сопротивления деформации металла (σ) при средней температуре образующегося затвердевшего слоя. Далее величину и динамику изменения рабочего давления рассчитывали как разность значений сопротивления деформации и величины растягивающих напряжений в затвердевшем слое металла, возникающих вследствие гидростатического напора.

Особенностью данного алгоритма является использование расчетного значения сопротивления деформации, которое корректируется с помощью коэффициентов в зависимости от каждого параметра (температуры, скорости и степени деформации) в отдельности [5, 7]. Базисное значение сопротивления деформации ($\sigma_{o.d}$) в динамической области деформации сплавов принято при средних параметрах и для распространения значений на всю исследуемую область используются термомеханические коэффициенты: температурный коэффициент k_t , скоростной k_u и степенной k_ε [5, 7]. Для обеспечения условия минимальной деформации отливки при газодинамическом воздействии на расплав в литейной форме необходимы минимальные значения скоростного и степенного коэффициентов.

Расчетное значение сопротивления деформации в зависимости от различных значений температуры, скорости и степени деформации определяли по формуле [5]

$$\sigma = \sigma_{o.d} \cdot k_t \cdot k_\varepsilon \cdot k_u \text{ при } k_\varepsilon, k_u \rightarrow \min.,$$

где $\sigma_{o.d}$ – базисное значение сопротивления деформации, кг/мм²; k_t – температурный коэффициент; k_ε – степенной коэффициент; k_u – скоростной коэффициент.

Расчет параметров ведется последовательно для всех рассматриваемых моментов времени в соответствии с определенной кинетикой затвердевания отливки. При этом количество итераций ограничивается количеством точек, определяющих кинетику затвердевания. В случае получения температурного поля отливки в результате натурного эксперимента количество итераций определяется количеством термодатчиков. При использовании СКМ ЛП количество точек хоть и ограничивается возможностями программы, но обеспечивает большую детализацию отображения процесса.

Результатом отдельной итерации является набор значений вышеописанных параметров, объединенных в последствии в массив данных, соответствующий динамике нарастания максимального рабочего давления $P_{\max}(\tau)$ и динамике нарастания рабочего давления $P(\tau)$ в системе отливка-устройство для ввода газа. Пошаговая иллюстрация работы алгоритма для определения режима газодинамического воздействия при затвердевании в кокиле цилиндрической отливки из углеродистой стали диаметром 240мм и высотой 350 мм представлена в таблице.

Таблица 1

Результаты, полученные после выполнения семи итераций алгоритма расчета

№	X, мм	τ , сек	σ_r , МПа 10^{-2}	σ , МПа 10^{-2}	σ_b , МПа	P, МПа 10^{-2}	$P_{\max}$, МПа	Возможность реализации процесса
1	38	74	102,9	0,7	0,0	-102,2	-1,0	Не реализуется
2	12	116	25,2	1,3	1,1	-23,7	0,9	Не реализуется
3	27	185	10,7	14,0	1,6	3,33	1,4	Реализуется
4	43	283	6,6	26,7	2,0	20,0	1,9	Реализуется
5	55	366	5,2	36,7	2,4	31,4	2,3	Реализуется
6	76	533	3,8	52,7	2,9	48,8	2,9	Реализуется
7	113	700	2,5	70,0	3,5	67,5	3,5	Реализуется

Приведенные данные могут быть представлены в любом удобном для использования виде (таблиц, графиков, диаграмм) и служить основой для формирования технологической инструкции осуществления процесса газодинамического воздействия или оформления соответствующего раздела технологического процесса изготовления конкретной отливки.

Выводы

1. В результате проведенной систематизации факторов, влияющих на технологическую эффективность осуществления процесса газодинамического воздействия на расплав в литейной форме, установлена необходимость комплексного учета физических

свойств материалов формы и отливки, их теплофизических характеристик, а также напряжений, возникающих в затвердевшей поверхностной корке под влиянием гидростатического напора.

2. Разработана методика расчета режима осуществления технологического процесса газодинамического воздействия на затвердевающий металл в литейной форме, основанная на пошаговом вычислении динамики нарастания максимального рабочего давления $P_{\max}(\tau)$ и динамики нарастания рабочего давления $P(\tau)$ в системе отливка-устройство для ввода газа.

3. Установлено, что основным ограничением диапазона давлений является зависимость прочностных свойств материала отливки от температуры. Формализовано условие возможности/невозможности осуществления процесса газодинамического воздействия. Показана возможность диверсификации способа представления результатов расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Г.П. Давление в управлении литейными процессами / Г.П. Борисов. – Киев.: изд. Наук. думка, 1988. – 272 с.
2. Батышев А.И. Кристаллизация металлов и сплавов под давлением / А.И. Батышев. – М: Металлургия, 1990. – 144 с.
3. Селівьорстов В.Ю. Особливості розрахунку газодинамічного впливу на метал, що твердіє в кокілі // Теорія і практика металургії. – 2009. - № 1-2. – С. 41 – 45.
4. Селиверстов В.Ю. Особенности расчета температурного поля отливки из сплава АК5М, затвердевающей в окрашенном чугуном кокиле // Теория и практика металлургии. – 2008. - № 5-6. – С. 32 – 36
5. Третьяков А.В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник / А.В. Третьяков, В.И. Зюзин – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.
6. Гуляев Б.Б., Постнов Л.М. Исследование механических свойств стали в период затвердевания и анализ процесса образования горячих трещин при непрерывной разливке // Непрерывная разливка стали. Труды Первой Всес. конференции по непрерывной разливке стали. – Изд. АН СССР, 1956. – С. 212 – 222.
7. Целиков А.И. Теория прокатки: Справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин, А.В. Третьяков, Г.С. Никитин - М.: Металлургия, 1982. – 335 с.
8. Вейник А.И. Теория затвердевания отливки / А.И. Вейник – М.: Машгиз, 1960. – С. 247.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>П.И. Штыцко, А.П. Иванова, Н.В. Каряченко</i> Влияние угла давления на КПД кривошипно - шатунного механизма стана ХПТ	3
<i>В.В. Быковец, Е.Н. Власова, А.И. Михалев</i> Информационная технология моделирования процессов термоупрочнения железорудных окатышей	8
<i>О.А. Карпикова, В.И. Сливинский, Г.В. Ткаченко</i> Сотовый наполнитель из алюминиевой фольги с регулируемыми механическими характеристиками	14
<i>В.П. Малайчук, Н.А. Лысенко, А.В. Кошулян</i> Контроль объектов со случайными параметрами	20
<i>Е.С. Переверзев</i> Информационно-энтропийные методы при обработке конструкционных материалов энергетическими полями с целью улучшения их физико-механических характеристик	26
<i>Э.В. Приходько, Д.Н. Тогобицкая, А.С. Козачёк, В.Г. Раздобреев, Л.А. Головки</i> Информационно – математическое обеспечение оценки влияния химического состава на свойства готового проката	33
<i>Н.С. Прядко, Т.М. Буланая, Л.Ж. Горобец, Ю.Г. Соболевская, Н.П. Сироткина</i> Информационная технология получения тонкодисперсных материалов струйным измельчением	40
<i>С.Р. Рахманов</i> К вопросу моделирования процесса прессования биметаллических труб	47
<i>Н.Г. Аксак, С.А. Коргут</i> Распределение объемов работ между агентами в мультиагентной системе извлечения знаний	60
<i>П.І. Бідюк, Я.І. Баклан</i> Застосування Байєсових мереж до розв'язання задачі класифікації	68
<i>В.В. Гнатушенко, Н.Ю. Калініна, М.Ю. Мирошніченко</i> Виділення структурних особливостей проєкційних зображень	74
<i>А.Ю. Гринько, Д.Н. Тогобицкая, А.И. Белькова</i> Разработка критерия оценки термодинамического состояния системы «чугун-шлак»	79
<i>А.А. Гришко, С.Г. Удовенко, Л.Э. Чалая</i> Применение гибридных методов машинного обучения в компьютерных трейдинговых системах	84

<i>Н.М. Кораблев, А.Э. Макогон, О.Г. Руденко</i>	
Адаптивная система управления нелинейным динамическим объектом на базе нейросетевого нечеткого регулятора с иммунной настройкой	93
<i>Н.М. Кораблев, Е.В. Чумак</i>	
Скелетонизация изображений на основе искусственных иммунных систем	101
<i>А.И. Михалев, Ю.О. Калиберда</i>	
Построение IDS на основе искусственной иммунной сети.....	106
<i>П.Э. Морозов</i>	
Информационное обеспечение испытаний металлов с применением систем технического зрения	111
<i>В.М. Назаренко, В.В. Тронь</i>	
Модель нечіткої системи прийняття рішень в умовах багатокритеріальності та динамічної зміни параметрів	118
<i>В.В. Скалозуб, М.В. Скалозуб</i>	
О построении методов управления в условиях неоднородной неопределенности параметров сложных систем	125
<i>О.М. Швец</i>	
Классификация объектов по частотному спектру на основе адаптивной базы нечетко-статистических правил	133
<i>Л.В. Камкина, Ю.Н. Яковлев, А.Г. Величко,</i>	
<i>А.П. Стовпченко, Я.В. Стовба</i>	
Математическое моделирование вспенивания металла при вакуумировании на основе физико-химической модели дегазации	140
<i>Л.М. Любчик, В.А. Колбасин</i>	
Рекуррентные алгоритмы идентификации нелинейных динамических систем на основе ядерных моделей	149
<i>Ю.Д. Стогний, А.П. Стовпченко, Ю.С. Пройдак, Л.В. Камкина</i>	
Анализ влияния технологических параметров плавки и рациональные режимы получения низкоуглеродистой стали	156
<i>А.О. Горбонос, О.І. Михальов</i>	
Модель Пенроуза як основа для побудови фрактальних поверхонь квазікристалів	163
<i>А.И. Панченко</i>	
Вероятностно-системный анализ условий формирования неметаллических включений в подшипниковом металле	169
<i>В.Н. Журавлёв</i>	
Синергизм процесса обмена информацией между биообъектами	178
<i>В.Ю. Селиверстов, Т.В. Михайловская</i>	
Методика расчета параметров газодинамического воздействия на затвердевающий металл в литейной форме	186

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.373:62-231.311

Іванова Г.П., Штицко П.І., Каряченко Н.В. **Вплив кута тиску на коефіцієнт корисної дії кривошипно-шатунного механізму стану ХПТ** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.3-7.

Отримані вирази для визначення коефіцієнтів втрат і корисної дії кривошипно-шатунного механізму стану ХПТ. Корисні навантаження в крайніх положеннях кліті виключено.

Вищенаведені результати дозволяють зробити заключення, що для підвищення ККД механізму приводу робочої кліті необхідно, щоб величина кута тиску в робочій зоні наближалася до 90°.

Бібл. 4, іл. 1.

УДК 622.788 004.942

Биковець В.В., Власова Е.Н., Михалев О.І. **Інформаційна технологія моделювання процесів термозміцнення залізрудних обкотишів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.8-13.

Розглядаються питання побудови інформаційної технології моделювання процесів термозміцнення залізрудних обкотишів. Розроблено вимоги до програмного забезпечення і його структура для моделювання і процесу програмного навчання. Розроблено програмне забезпечення для моделювання процесів термічної обробки залізрудних обкотишів на конвеєрних випалювальних машин різних конфігурацій.

Бібл. 4, іл. 4

УДК 629.7.023

Карпікова О.О., Сливинський В.І., Ткаченко Г.В. **Стільниковий заповнювач із алюмінієвої фольги з регулюючими механічними характеристиками** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.14-19.

Розглянута можливість цілеспрямованого прогнозування заданих параметрів фізико-механічних властивостей стільникового заповнювача при утриманні інших характеристик в межах допуску. Визначено вплив форми чарунки стільникового заповнювача на його фізико-механічні характеристики. Отримані аналітичні залежності міцносних властивостей стільникових заповнювачів від геометричних параметрів чарунки стільникового заповнювача, товщини матеріалу та його характеристик.

Бібл.4, іл.5, табл.2.

УДК 519.24:681

Малайчук В.П., Лисенко Н.А., Кошулян А.В. **Контроль об'єктів з випадковими параметрами** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.20-25.

Розглядається задача оцінювання стану технічних об'єктів за параметрами, що є випадковими величинами за своєю фізичною природою, вимірюються з похибками та не повинні виходити за границю інтервалів допусків. Дослідженні ймовірності помилок 1-го та 2-го роду (перебраковка та пропуск бракованих виробів), та їх ймовірність в залежності від похибок вимірювань та порогів порівняння оцінок параметрів, що

контролюються. Запропоновано метод вибору порогів порівняння що базується на різниці ймовірностей помилкових рішень 1-го та 2-го роду.

Бібл. 2, іл. 2.

УДК 621. 192

Переверзев Е.С. **Информационно-энтропийные методы при обработке конструкционных материалов энергетическими полями с целью улучшения их физико-механических характеристик** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.26-32.

Обговорюються питання застосування ентропійних методів при дослідженні складних систем. Описано властивості як термодинамічної, так і інформаційної ентропії. Показано, що для випадку, коли стан системи описується багатомірним нормальним вектором, можна досягти зменшення ентропії за рахунок збільшення парних коефіцієнтів кореляції.

Бібл. 10.

УДК 621.771.2:54.06:681.3.003.12.

Э.В. Приходько, Д.Н. Тогобица, О.С. Козачек, В.Г. Раздобрий, Л.А.Головко **Информационно-математическое обеспечение оценки влияния химического состава на свойства готового проката** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.33-39.

Розглянута методика оцінки впливу домішкових важко плавких компонентів потрапляючих до сталі з шихтою комплексу з легуючими елементами. Запропонован новий підхід до рішення поставленої задачі шляхом використання мап поверхностей.

Бібл. 6, іл.2

УДК 622.73

Н.С.Прядко, Т.М. Булана, Л.Ж. Горобець, Ю.Г. Соболевська, Н.П. Сироткіна **Информационная технология одержания тонко дисперсных материалов струминным подрезанием** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.40-46.

Розроблено інформаційну технологію процесу газоструминного подрізання на основі акустичного моніторингу. Використаються бази експериментальних даних записів акустичних сигналів зони подрізання. Технологія дозволяє вдосконалювати акустичний моніторинг і регулювати процес подрізання.

Бібл. 11, іл. 3.

УДК 621.774.35 (075.8)

Рахманов С.Р. **До питання моделювання процесу пресування біметалічних труб** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.47-59.

Приведено рішення задачі про пресування біметалічних труб шляхом моделювання динамічних процесів і руху шарів біметала і металу в кільцевому зазорі осередку деформації, між матрицею і оправкою. Встановлені особливості формування шарів біметала і металу, характер зміни енергосилових і динамічних параметрів осередку деформації при пресуванні біметалічних труб.

Бібл. 8, іл. 5.

УДК 004.89

Аксак Н.Г., Коргут С.А. **Розподіл обсягів робіт між агентами в мультиагентній системі вилучення знань** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.60-67.

У роботі розглядається концепція побудови мультиагентної системи (МАС) пошуку знань в Інтернет. Зроблено огляд існуючих напрямів побудови МАС. Запропоновано узагальнену модель мультиагентної системи, визначено її склад і функції агентів при вирішенні задач поповнення знань адаптивних інформаційних систем. Вирішено завдання розподілу об'ємів робіт між агентами в МАС вилучення знань з неструктурованих джерел для адаптивних веб-ресурсів.

Бібл. 6, іл. 4.

УДК 62-50

Бидюк П.И. Баклан Я.И. **Применение Байесовых сетей к задаче классификации** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.68-73.

Байесовы сети являются мощнейшим средством вероятностного представления данных. Поэтому их применению к задачам классификации уделено много внимания. Однако при использовании стандартных методик обучения Байесовых сетей точность классификации оказывается слишком низкой. Это объясняется несоответствием между целевой функцией обучения и целью классификации – минимизировать ошибку распознавания. В данной статье предложена оригинальная функция (мера) оценки, которая используется при обучении Байесовых сетей для минимизации ошибки классификации.

Бібл. 7.

УДК 528.71

Гнатушенко В.В. **Выделение структурных особенностей проекционных изображений** / В.В. Гнатушенко, М.Ю. Мирошниченко, Н.Ю. Калинина // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.74-78.

Предложен новый критерий для выделения структурных элементов, на основе которых производится построение описания и последующий анализ изображений. Данное описание отражает структуру изображений и позволяет распознавать на них отдельные объекты.

Библ. 5, ил. 1.

УДК 669.02/09:51.001.57:669.13:669.054.82.083.133

Гринько А.Ю., Тогобицька Д.М., Белькова А.І. **Розробка критерію оцінки термодинамічного стану системи «чавун-шлак»** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.79-83.

Робота присвячена розв'язанню одного з актуальних питань задачі дослідження і оптимізації процесу виплавки чавуну заданої якості: розробці критерію оцінки термодинамічного стану системи «чавун-шлак». На основі теорії фізико-хімічного моделювання металургійних розплавів представлені моделі для визначення активностей компонентів багатокомпонентних металевих і шлакових розплавів. Розроблено критерій

оцінки термодинамічного стану системи «чавун-шлак». Показана перспективність використання даного критерію на фактичних даних про процес доменної плавки.

Бібл. 3, іл. 4.

УДК 519.62

Гришко А.О., Удовенко С.Г., Чала Л.Е. **Застосування методів машинного навчання в комп'ютерних трейдингових системах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.84-92.

Статтю присвячено створенню гібридних систем навчання, що використовують комбінацію генетичного алгоритму навчання з підкріпленням для трейдингової біржової торгівлі. Запропонований алгоритм навчання дозволяє перевищити за своїми характеристиками інші алгоритми машинного навчання, які використовуються на фінансових ринках. Розглянуті принципи трейдингової торгівлі та запропоновані нові стратегії, засновані на розроблених методах навчання. Нові методи реалізовані програмно.

Бібл. 3, табл. 1.

УДК 681.513

Корабльов М.М., Макогон А.Е. **Адаптивна система керування нелінійним динамічним об'єктом на базі нейромережного нечіткого регулятора з імунним настроюванням** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.93-100.

В статті розглядається синтез адаптивної системи керування нелінійним динамічним об'єктом на основі використання нейромережного нечіткого регулятора, в якості базової моделі якої взято нечітку модель Такагі=Сугено нульового порядку. Запропоновані різні варіанти настроювання параметрів регулятора в режимах off-line та on-line за допомогою штучних імунних систем.

Бібл. 7.

УДК 004.89

Корабльов М.М., Чумак Є.В. **Скелетонізація зображення на основі штучних імунних систем** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.101-105.

В даній роботі розглядається задача підготовки зображення для розпізнавання, а саме скелетонізація. Проведено аналіз існуючих алгоритмів і запропоновано гібридний алгоритм, який оснований на штучних імунних системах і алгоритмі скелетонізації Зонге-Суня. Проведено експериментальні дослідження та визначені наступні напрямки досліджень, направлені на розв'язання задач розпізнавання образів.

Бібл. 6, іл. 1.

УДК 004.942:004.056.53

О.І. Михальов, Ю.О. Каліберда **Побудова IDS на основі штучної імунної мережі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.106-110.

IDS можуть виявити атакуючих, які обійшли firewall, і видати звіт адміністратору, який, у свою чергу, зробить подальші кроки щодо запобігання атаки. Сучасні підходи до виявлення атак в основному базуються на дослідженні тільки одного джерела інформації, наприклад, мережевого трафіку, використання системних ресурсів або логування. Система

являє собою узагальнену концепцію двох типових принципів IDS: HIDS і NIDS. Кожен компонент в мережі являє собою якусь подібність детекторів, які пов'язані один з одним в одну логічну мережу.

Бібл. 3, іл. 1

УДК 621.771

Морозов П.Е. **Інформаційне забезпечення випробувань металів із застосуванням систем технічного зору** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.111-117.

Розроблена і запатентована НДІАчорметом система технічного зору – оптоекстензометр – дозволяє автоматизувати процес виміру деформації зразків при проведенні випробувань на розтягування. Заснована на оптоекстензометрі автоматична вимірювальна система для модернізації розривних машин упроваджена більш ніж на 10 металургійних і машинобудівних підприємствах України і дозволила довести наявне устаткування до сучасного рівня і забезпечити проведення випробувань згідно із стандартами ДСТУ/ГОСТ, ASTM, ISO, DIN/EN, API, ABS та інші.

Бібл. 8.

УДК 65.011.56:622.7.05

Назаренко В. М., Тронь В. В. **Модель нечіткої системи прийняття рішень в умовах багатокритеріальності та динамічної зміни параметрів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.118-124.

В роботі розглянута можливість використання нечіткої системи аналізу багатокритеріальних варіантів в процесі керування завантаженням багатосекційної ємності за динамічного змінення параметрів об'єкту керування в умовах рудозбагачувальної фабрики. Запропоновано використання підсистеми динамічного визначення функцій приналежності секцій за критеріями на кожному кроці завантаження в процесі роботи системи. Показано можливість використання даної системи керування в умовах рудозбагачувальних фабрик.

Бібл. 7, іл. 4.

УДК 629.4

Скалозуб В.В., Скалозуб М.В. **Про побудову методів управління в умовах неоднорідної невизначеності параметрів складних систем** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.125-132.

Розроблено метод управління типу Такагі-Сугено, що ураховує існування різних можливих типів невизначеності параметрів об'єктів. Запропонована аксіоматична мультиплікативна структура агрегації виводів окремих правил. Для реалізації методу виконано модифікацію компонентів бібліотеки MATLAB Fuzzy Logic Toolbox.

Бібл. 5, іл. 4.

УДК 519.711

Швець О.М. **Класифікація об'єктів за частотним спектром на основі адаптивної бази нечітко-статистичних правил** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.133-139.

Розроблена експертна система класифікації об'єктів за даними їх частотного спектру. Система заснована на базі нечітко-статистичних правил і методі нечіткого управління. Нечітка складова відображає знання експерта, а статистична - дані про фактичний стан об'єктів. Приведено приклад рішення задачі діагностики електродвигунів в умовах робочого навантаження.

Бібл. 4, іл. 2.

УДК 669.186.517

Камкіна Л.В., Яковлев Ю.М., Величко О.Г., Стовпченко Г.П., Стовба Я.В. **Математичне моделювання спінювання металу при вакуумуванні на основі фізико-хімічної моделі дегазації** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.140 -148.

Представлена фізико-хімічна модель процесу окислення вуглецю у рідкій сталі, яка здійснюється у двухфазній системі (метал-газ). Розглянуто особливості утворення і росту бульбашок CO і проведена оцінка впливу кількості центрів утворення бульбашок на вміст розчиненого кисня у металі. Бульбашки CO, які утворюються в процесі окислення вуглецю, збільшують об'єм металу і викликають спінення металу. Підйом рівня металу може бути показником для контролювання за ходом процесу.

Бібл. 6, іл. 4.

УДК 681-51

Любчик Л.М., Колбасін В.А. **Рекурентні алгоритми ідентифікації нелінійних систем на основі ядрових моделей** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.149 -155.

Розглянуто задачу ідентифікації нелінійних систем у реальному часі. За допомогою ядрового підходу отримано рекурентні алгоритми ідентифікації з вікном, що зростає, та з ковзним вікном, запропоновано відповідні обчислювальні процедури.

Бібл. 9.

УДК 669.18

Стогній Ю.Д., Стовпченко Г.П., Проїдак Ю.С., Камкіна Л.В. **Аналіз впливу технологічних параметрів плавки і раціональні режими отримання низьковуглецевої сталі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.156 -162.

Розглянуто технологію виплавки низьковуглецевої сталі в умовах СЗАТ ММЗ. Проаналізовано вплив технологічних параметрів на якість кінцевого продукту і раціоналізовано режими виплавки і позапічної обробки сталі.

Бібл. 5, іл. 6, табл. 1.

УДК 530.1

Горбонос А.А., Михалёв А.И. **Модель Пенроуза как основа для построения фрактальных поверхностей квазикристаллов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.163 -168.

На сегодня распространенность получила теория квазикристаллов. Квазикристалл представляет собой структуру, которая не похожа не на упорядоченные кристаллы, ни на аморфные тела. Основные свойства квазикристаллов хорошо описывает модель Пенроуза. Поэтому имеет смысл построение фрактальной поверхности на основе мозаики Пенроуза.

Для построения мозаики Пенроуза используется важное свойство фракталов – самоподобие.

Библ. 8, ил. 5.

УДК 669.18:669.14.018

О.І.Панченко **Ймовірносно-системний аналіз умов формування неметалевих включень у підшипниковому металі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.169 - 177.

На засновах ймовірносно-системного аналізу проблеми оксидних включень регламентованого складу в підшипниковій сталі розроблена методика фізико-хімічного моделювання складу мінеральних фаз, що кристалізуються. Науково обґрунтован принцип регулювання складу і співвідношення активності розчинених елементів-розкислювачів, забезпечуючих прогнозуємий склад включень. Наведені результати промислових плавок сталей класу ШХ.

Бібл.7, іл.1, табл.5.

УДК 621.055.5

Журавльов В.М. **Сінергізм процесу обміну інформацією між біооб'єктами** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.178 -185.

Запропонована математична модель генерації та прийому мовного сигналу (МС), яка пояснює протиріччя адекватності сучасних теорій мовнослухового процесу. Модель базується на синергетичному аналізі співвідношення швидкості переносу енергії інформаційних складових МС у каналі зв'язку $\langle v_s \rangle$ до середньої квадратичної швидкості носіїв енергії речовині каналу зв'язку $\langle v \rangle$ – молекул повітря. Проведені теоретичні, розрахункові та експериментальні дослідження, які непрямо підтверджують синергетичні властивості МС. Повний текст статті знаходиться на адресі <http://kudin.net/r/index.php/20100204-scientific-library.html>.

Бібл. 9.

УДК 621.746.6.001.2

Селівьорстов В.Ю., Михайловська Т.В. **Методика розрахунку параметрів газодинамічного впливу на метал, що твердіє в ливарній формі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск З(68). – Днепропетровск, 2010. – С.186 -192.

Приведений поетапний опис здійснення методики розрахунку режиму здійснення технологічного процесу газодинамічного впливу на твердіючий метал у ливарній формі, що базується на покроковому обчисленні динаміки зростання максимального робочого тиску і динаміки зростання робочого тиску в системі виливок-пристрій для введення газу.

Бібл. 8.

UDC 621. 373: 62-231. 311 Ivanova A.P., Shtytsko P.I., Karyachenko N.V. **Influence of corner of pressure on coefficient efficiency of crane lifting mechanism of the Cold Rolling of Pipes (CRP)** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.3 – 7.

Got expression for determination of coefficients of losses and useful effect of crane lifting mechanism of the Cold Rolling of Pipes. Actual loads in extreme positions of cage are eliminated.

The above-mentioned results allow to draw a conclusion, that for the increase of coefficient efficiency of mechanism of drive of working cage is needed, that the size of corner of pressure in a working area was approached to 90°.

Bibl. 4, ill 1.

UDC 622.788 004.942 Bykovets V.V., Vlasova E.N., Mikhalev A.I. **Information technology modeling thermal hardening iron ore pellets** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.8 – 13.

The issues of information modeling technology iron ore pellets thermal hardening are builded. Developed software requirements and its structure for modeling and software process of training. Has been developed software for the simulation of thermal processing of iron ore pellets in conveying roasting machines of various configurations.

Ref. 4, pic. 4

UDC 629.7.023 O.O. Karpikova, V.I. Slyvynskyi, G.V. Tkachenko. **The honeycomb filler from an aluminium foil with adjustable mechanical characteristics** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.14 – 19.

Possibility of purposeful forecasting of the set parametres of physicomechanical properties of honeycomb filler is considered at deduction of other characteristics within the admission. Influence of the form of cell of honeycomb filler on its physicomechanical characteristics is defined. Analytical dependences прочностных properties of honeycombs fillers from geometrical parametres of cell of honeycomb filler, a thickness of material and its characteristics are received.

Bibliogr.4, Fig.5, Table 2.

UDC 519.24:681 Malajchuk V., Lysenko N., Koshulyan A. **Testing objects with random parameters** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.20 – 25.

A problem of a technical objects condition estimation is considered for the case when tested parameters are random values inherently and are measured with errors and also should not leave tolerance intervals. Type I and type II errors probability (a mistake "to accept a non-defective item for a reject" and backwards "to accept a reject for a non-defective item") are examined in relation to measuring errors and to tolerance intervals of testing parameters. Proposed a method for tolerance intervals selection that based on the difference between type I and type II errors.

Bibl. 2, ill. 2.

UDC 621. 192 Pereverzev E.S. **Information-entropy methods in the processing of structural materials in energy fields to improve their physical and mechanical characteristics** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.26 – 32.

Problems of entropy methods application at the research of complex system are considered. Features both thermodynamic and informational entropy are described. It is shown that entropy decrease due to increase of double coefficients of correlation can be obtained in case of system status is described by multidimensional normal vector.

Bibl.10.

UDK 621.771.2:54.06:681.3.003.12. E.V. Prykhod'ko, D.N. Togobytskaya, A.S. Kozachek, V.G. Razdobreev, L.A.Golovko. **Informatively is mathematical providing of estimation of influencing of chemical composition on properties of the prepared rental** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.33 – 39.

The method of estimation of influencing of admixture refractory components getting in steel with a charge in a complex with alloying elements is examined. It is offered new approach to the decision the set problem by construction of cards of surfaces.

Bibl. 6, pic.2.

UDK 66.096.5 N. Pryadko, T. Bulanaya, L. Gorobets, J.G. Sobolevskaya, N. Sirotkina **Information technology of producing fine materials by jet grinding** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.40 – 46.

The information technology of a gas jet grinding process is developed on the acoustic monitoring bases. Experimental data of acoustic signal records in a grinding zone are used. The technology allows to improve acoustic monitoring and to control the grinding process.

Bibl. 11, ill. 3.

UDK 621.774.35 (075.8) Rakhmanov S.R. **To question of design process of pressing of bimetallic tubes** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.47 – 59.

The decision of task is resulted about pressing of bimetallic tubes by the design of dynamic processes and motion of layers of bimetall and metal in the circular gap of centre of deformation, between a matrix and mandrel. The features of forming of layers of bimetall and metal, character of change of energy power and dynamic parameters of centre deformation at pressing of bimetallic tube.

Bibl. 8, il. 5.

UDK 004.89 Axak N.G., Korgut S.A. **Distributing of works between agents in multi-agent system of knowledge extraction** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.60 – 67.

The concept of building multi-agent system (MAS) the retrieval of knowledge in the Internet is considered in paper. The review of existent directions of construction MAS is done. The generalized model of the multi-agent system is offered, its composition and functions of agents is certain at the decision of task of addition to knowledges of the adaptive informative systems. The task of distributing of works between agents in MAS of extraction of knowledges from the unstructured sources for adaptive server-resources is decided.

Ref. 6, img. 4.

UDK 62-50 Bidyuk P.I. Baklan Y.I. **Using Bayesian networks to solve classification problems** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.68 – 73.

Bayesian network is a powerful tool for probabilistic representation of data. It is also used extensively to solve classifications problems. However, classification accuracy tends to be poor when using standard learning way. This is explained by the mismatch between the objective function used and the goal of classification – to minimize the recognition error. In this paper the function (measure) of minimizing classification error is proposed instead of the standard measures used before.

Bibl. 7

UDK 528.71 Gnatushenko V.V. **Selection of structural singularities of projectional images** / V.V. Gnatushenko, M.Ju. Miroshnichenko, N.Ju. Kalinina // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.74 – 78.

The new criterion for selection of structural units on which basis construction of exposition and the subsequent image analysis is made is offered. The given exposition mirrors structure of images and allows to recognise on them separate installations.

Bibl. 5, ill. 1.

UDK 669.02/09:51.001.57:669.13:669.054.82.083.133 Grinko A.Yu., Togobitskaya D.N., Belkova A.I. **The development of criteria for an estimation of the thermodynamic condition of system "cast iron-slag"** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.79 – 83.

Work is devoted the decision of one of the pressing questions of the research problem and optimisation of process of an cast iron smelting of the set quality: to working out the criteria for an estimation of the thermodynamic condition of system "cast iron-slag". On the basis of the theory of physical-chemical modeling metallurgical melts models of definition activities components of cast

iron and slag melts are presented. The criteria for an estimation of the thermodynamic condition of system «cast iron-slag» is developed. Perspectivity of use of the given criteria on the fact sheet about process of domain fusion is shown.

Lit. 3, pict. 4.

UDK 519.62 Hryshko A.A., Udovenko S.G., Chalaya L.E. **Using of machine learning methods to computing trading systems** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.84 – 92.

This paper addresses the use of hybrid learning systems that combine Genetic Algorithms and Reinforcement Learning for trading on financial markets. The algorithm developed in the proposed learning system is shown to outperform other machine learning algorithms used on financial markets. The principles of trading on financial markets are introduced, followed by the development of novel trading strategies based on the Machine Learning methods. The new methods are implemented in software.

Bibl. 3.

UDC 681.513 Korablyov N.M., Makogon A.E. **Adaptive control system of nonlinear dynamic object on base of neuronetwork fuzzy regulator with immune** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.93 – 100.

In the article the synthesis of the adaptive control system of a nonlinear dynamic object is examined on the base of the neuronetwork fuzzy regulator, as a base model of which the zero order Takagi-Sugeno fuzzy model is taken. The different variants of adjusting the regulator parameters are offered in off-line and on-line using artificial immune systems.

Bibl. 7.

UDC 004.89 Korablyov M.M., Chumak E.V. **Image skeletonization based on artificial immune systems** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.101 – 105.

The given work is considered to the image recognition preparation task. It was analyzed existing methods for image recognition preparation, exactly skeletonization. We propose the hybrid algorithm based on Zong-Sun algorithm and immunological approach. Experimental investigation had taken place and it was defined the next steps in image recognition solution.

Refer. 6, il. 1.

UDC 004.942:004.056.53 A.I. Mykhalyov, Y.O. Kaliberda **Construction of IDS based on artificial immune network** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.106 – 110.

IDS can detect attacks that bypassed firewall, and issue a report administrator, who, in turn, will take further steps to prevent the attack. Current approaches to the detection of attacks are mainly based on the observation of only one source of information, such as network traffic, use of system resources, or logging. System is a generalized concept of the two standard principles IDS: HIDS and NIDS. Each component in the network represents a kind of detectors, which are connected with each other in a single logical network.

Ref. 3 Pic. 1

UDC 621.771 Morozov P.E. **Information system utilizing technical vision for testing of metals** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.111 – 117.

Technical vision system developed and patented by NIIAchermet as optoextensometer allows to automate measurement of elongation of samples during tests on tensile testing machines. Automated system based on optoextensometer was used to modernize tensile testing machines at more than 10 metallurgical and machine-building plants in Ukraine. It allows to ensure that testing equipment is in compliance with all modern specifications for material testing including DSTU/GOST, ASTM, ISO, DIN/EN, API, ABS etc.

Bibl. 8.

UDC 65.011.56:622.7.05 Nazarenko V. M., Tron V. V. **Model of fuzzy decision-making system in conditions of multiobjectivity and dynamic parameters changing** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.118 – 124.

Possibility of multicriterion variants analysis fuzzy system in control of loading multisection hoppers process at dynamic parameters of control object changing in conditions of ore-dressing factories using is considered. Using of dynamic definition of membership functions of sections by criteria at each loading step during system working subsystem is proposed. Possibility of given control system in conditions of ore-dressing factories using is shown.

Bibl. 7, figures 4.

UDK 629.4 Skalozub V.V., Skalozub M.V. **About the construction of management methods in the conditions of heterogeneous vagueness of the difficult systems' parameters** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.125 – 132.

The management method of Takagi-Sugeno type is offered. It takes into account the presence of different possible types of objects' vagueness parameters. The axiomatic multiplicative structure of conclusions' aggregating of separate rules is offered. The components' modification of MATLAB's library Fuzzy Logic Toolbox is executed for method's realization.

Bibl. 5, silt. 4.

UDK 519.711 O.M. Shvets **Frequency spectrum object classification on the basis of adaptive fuzzy-statistical rule base** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.133 – 139.

Object frequency spectrum classification expert system is developed. The system is built on the fuzzy-statistical rule base and fuzzy control method. Fuzzy component reflects expert knowledge, and statistical component reflects data about the actual state of the objects. The solution of the electric motor diagnostics problem in the conditions of workload is presented.

Bibl. 4, il. 2.

УДК 669.186.517 Kamkina L.V., Yakovlev Yu.N., Velichko A.G., Stovpchenko A.P., Stovba Ya.V. **Mathematical modeling of frothing of metal during vacuumization based on physico-chemical models of degassing** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.140 – 148.

Submitted by physico-chemical model of the process of oxidation of carbon in liquid steel, which is implemented in two-phase system (metal-gas). The features of formation and growth of bubbles of CO were treated. The influence of the number of nucleation centers of bubbles on the dissolved oxygen content in the metal was assessed. In the process of oxidation of carbon the volume of the metal is increased by forming bubbles of CO, resulting in metal is frothing. Lifting the level of metal may be an indicator for monitoring the process.

Bibl. 6.

UDC 681-51 Lyubchyk L.M., Kolbasin V.A. **Recurrent identification algorithms for nonlinear systems based on kernel models** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.149 – 155.

The problem of on-line nonlinear systems identification is considered. Using kernel-based approach, recurrent identification algorithms with both growing and sliding window are obtained and suitable numerical procedures are proposed.

Bibl. 9.

UDC 669.18 Stogniy Yu.D., Stovpchenko A.P., Projdak Yu.S., Kamkina L.V. **Analysis of the influence of technological parameters of melting and rational conditions for producing low-carbon steel** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.149 – 155.

The technology of smelting low-carbon steel in JSC "Moldova Steel Works" was considered. The influence of technological parameters on the quality of the final product was analyzed. The conditions of smelting and ladle-treatment of steel were rationalized.

Bibl. 5.

UDC 530.1 Gorbonos A.A., Mykhalyov A.I. **Penrose model as a basis for the construction of fractal surfaces of quasicrystals** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.162 – 168.

Today was widespread theory of quasicrystals. Quasicrystal is a structure that does not look like not ordered crystals or the amorphous body. Basic properties of quasi-zikristallov describes model Penrose. So it makes sense to build a fractal surface based on the Penrose tilings. To construct the Penrose tilings used an important property of fractals - self-similarity.

Bibl. 8.

UDC 669.18:669.14.018 A.I.Panchenko **The is likelihood-system analysis of conditions of formation of nonmetallic inclusions in ball-bearing metal** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.169 – 177.

On the basis of the is likelihood-system approach to a problem oxide inclusions of the regulated structure in ball-bearing steels the technique of physical and chemical modeling of structure of crystallizing mineral phases is developed. The principle of regulation of the maintenance and a parity of activity of the dissolved elements-deoxidants, providing predicted structure of inclusions is scientifically proved. Results of industrial swimming trunks of steels of class SCH are resulted.

Bibl. 7, Pic. 1, Tabs. 5.

UDC 621.055.5 Zhooravlyov V.N. **Synergic process of speech signal energy transmission** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.178 – 185.

To explain contradictions of imperfect adequacy of speech and hearing process theories the math model of speech signal (SS) energy generation and receiving is posed. The model is based on synergic analysis of SS informational components in communication channel energy transfer speed $\langle v_s \rangle$ and communication channel energy substance carriers – air molecules average quadratic speed $\langle v \rangle$ ratio. Theoretical, estimating and experimental researches, which indirect prove the SS synergic properties, were carried out. The report is available at <http://kudin.net/r/index.php/20100204-scientific-library.html>.

Bibl. 9.

UDC 621.746.6.001.2 Selivorstov V., Mikhaylovskaya T. **Method of calculation of parameters of gaz-dynamyc influence on a metal, that hardens in a cast form** // System technologies. N 3 (68) - Dnipropetrovsk, 2010.- P.186 – 192.

Stage-by-stage description is resulted realization of method of calculation of the mode of realization of technological process of gaz-dynamyc influence on a solidifiable metal in a cast form, based on the incremental calculation of dynamics of growth of maximal worker of pressure and dynamics of growth of working pressure in the system founding-device for the input of gas.

Bibl. 8.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Штицько Павло Іванович – к.т.н., доцент кафедри прикладної механіки Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.

Іванова Ганна Павлівна – к.т.н., доцент кафедри будівельної механіки Національної металургійної академії України.

Каряченко Наталія Василівна - к.т.н., доцент кафедри теоретичної механіки Національної металургійної академії України.

Быковец Виталий Валерьевич – асистент кафедри информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

Власова Елена Николаевна – с.н.с. кафедры информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

Михалев Олександр Ільич – д.т.н., професор кафедри информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

Карпикова Оксана Александровна – инженер-технолог I кат, ОАО «Украинский научно-исследовательский институт технологии машиностроения».

Сливинский Владимир Иванович – Главный научный сотрудник, ОАО «Украинский научно-исследовательский институт технологии машиностроения».

Ткаченко Галина Валентиновна – Начальник научно-исследовательского отдела технологии сотовых конструкций, ОАО «Украинский научно-исследовательский институт технологии машиностроения».

Малайчук Валентин Павлович - д.т.н., профессор Днепропетровского национального Университета им. О.Гончара.

Лисенко Наталья Александровна - к.т.н., доцент Днепропетровского национального Университета им. О.Гончара.

Кошуля А.В.

Переверзев Евгений Семенович - заведующий отделом надежности и долговечности технических систем Института технической механики НАН Украины и НКА Украины, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины.

Приходько Эдуард Васильевич - д.т.н., профессор Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Тогобицкая Дарья Николаевна -д.т.н., профессор Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Козачёк Александра Сергеевна - Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Раздобреев Валерий Гурьевич - к.т.н, старший научный сотрудник Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Головка Людмила Андреевна - к.х.н, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Прядко Наталия Сергеевна – старший научный сотрудник Института технической механики НАНУ и НКА Украины, к.т.н.

Буланая Татьяна Михайловна – ассистент кафедры математического обеспечения ЭВМ Днепропетровского государственного университета.

Горобец Лариса Жановна – профессор кафедры обогащения Национального горного университета, д.т.н.

Соболевская Юлия Генриховна – доцент кафедры фундаментальных дисциплин Львовского филиала ДНУЖТ, к.т.н.

Сироткина Наталья Петровна – младший научный сотрудник Института технической механики НАНУ и НКА Украины.

Рахманов Сулейман Рахманович - Национальная металлургическая академия Украины.

Аксак Наталия Георгиевна - к.т.н., с.н.с., Харьковский Национальный Университет Радиоэлектроники.

Коргут Сергей Анатольевич – аспирант, Харьковский Национальный Университет Радиоэлектроники.

Бідюк Петро Іванович - профессор, д.т.н, Інститут Прикладного Системного аналізу Національного Технічного Університету України «Київський Політехнічний Інститут».

Баклан Ярослав Ігорович - асистент кафедри Автоматики та Управління в Технічних Системах Факультету Інформатики та Обчислювальної Техніки Національного Технічного Університету України «Київський Політехнічний Інститут».

Гнатушенко Владимир Владимирович — д.т.н., профессор кафедры информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

Калинина Наталья Юрьевна — аспирант кафедры информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

Мирошніченко Николай Юрьевич — аспирант кафедры информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

Гринько Анастасия Юрьевна - кандидат технических наук, научный сотрудник, Інститут черной металлургии НАН Украины.

Белькова Алла Ивановна - кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Інститут черной металлургии НАН Украины.

Гришко Андрей Александрович - Харьковский национальный университет радиоэлектроники, аспирант каф. Электронных вычислительных машин.

Удовенко Сергей Григорьевич - Харьковский национальный университет радиоэлектроники, д.т.н., проф., профессор каф. Электронных вычислительных машин.

Чалая Лариса Эрнестовна - Харьковский национальный университет радиоэлектроники, к.т.н., с.н.с., доцент каф. Искусственного интеллекта.

Кораблев Николай Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Макогон Антон Эдуардович – аспирант кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Руденко Олег Григорьевич – профессор, д.т.н., заведующий кафедрой ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Кораблев Николай Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Чумак Елизавета Владимировна – инженер-программист ООО «Экостар-Украина» (г. Харьков), соискатель кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Калиберда Юрий Олегович - асистент кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургічної академії України.

Морозов Павел Эдуардович - Научно-Исследовательский Институт Автоматизации черной металлургии ("НИИАЧермет").

Назаренко Володимир Михайлович - д. т. н., проф., завідувач кафедри інформатики, автоматики та систем управління. Криворізький технічний університет.

Троне Віталій Валерійович - аспірант кафедри інформатики, автоматики та систем управління. Криворізький технічний університет.

Скалозуб Владислав Васильевич - д.т.н., проф., зав. кафедры КИТ Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ДНУЗТ).

Скалозуб Марина Владиславовна – магистрант ДНУЗТ.

Швец Олег Михайлович - ассистент кафедры КИТ Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Камкина Людмила Владимировна - проф., д.т.н., зав. каф. ТМП и ФХ, НМетАУ.

Яковлев Юрий Николаевич - проф., д.т.н. каф. ТМП и ФХ, НМетАУ

Величко Александр Григорьевич - член-корреспондент НАН Украины, ректор НМетАУ.

Стовпченко Анна Петровна - проф., д.т.н. каф. покрытий, композиционных материалов и защиты металлов, НМетАУ.

Стовба Яна Валерьевна - асс. каф. инженерной экологии и охраны труда, НМетАУ.

Любчик Леонид Михайлович - д.т.н., профессор, зав. кафедрой компьютерной математики и математического моделирования Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

Колбасин Владислав Александрович - ассистент кафедры компьютерной математики и математического моделирования Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

Стогний Юлия Дмитриевна - аспирант каф. ТМП и ФХ, НМетАУ.

Пройдак Юрий Сергеевич - проф., д.т.н., проректор по научной работе НМетАУ.

Горбонос Анна Олександровна – ассистент кафедры информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

Панченко Александр Иванович - заместитель председателя правления – технический директор ОАО «Днепроспецсталь», Запорожский электрометаллургический завод «Днепроспецсталь».

Журавлев Владимир Николаевич - доцент кафедры защиты информации Запорожского национального технического университета.

Селиверстов Вадим Юркевич - к.т.н., доцент кафедры литейного производства Национальной металлургической академии Украины.

Михайловская Татьяна Витальевна - к.т.н., доцент кафедры информационных технологий Национальной металлургической академии Украины.



ООО НПП «НИКЭ»



Освоено свыше 60 типов сотовых заполнителей из алюминиевой фольги, полимерной бумаги «Номекс», стеклоткани, крафт-бумаги.

Конфигурация ячейки — правильный шестигранник.

Преимущества:

- экономия массы;
- повышение удельных прочностных, жесткостных характеристик;
- высокие тепло-, звукоизоляционные, демпфирующие и аэродинамические свойства



Предлагаем:

- создание эксклюзивного сотового заполнителя минимальной массы с заданными механическими характеристиками для изделий сотовой конструкции;
- расчет, разработку и изготовление сотовых конструкций различного назначения.

ООО Научно-производственное предприятие «НИКЭ»
тел./факс (056) 373-28-43, тел. (056) 373-28-42, 373-28-41, 373-28-39
e-mail: honeycomb@ua.fm, www.honeycomb.dp.ua,
пр. Героев, 48, кв. 65, г. Днепропетровск, 49049, Украина

Системні технології
ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 3 (68)

Головний редактор: д.т.н., проф., О.Г. Величко
Шеф-редактор: д.т.н., проф. О.І. Михальов
Комп'ютерна верстка та коректура: К.Ю. Новікова

Здано до набору 26.02.2010. Підписано до друку 16.03.2010.
Формат 60x84 1/16. Друк - різнограф. Папір типограф.
Умов. друк арк. – 11. Обл.-видавн. арк. – 10,2.
Тираж 300 прим. Замовл. – 06/10

НМетАУ, кафедра Інформаційних технологій та систем
49005, Дніпропетровськ, а/с 493
st@dmety.dp.ua

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації:
Серія КВ № 8684

Редакційна рада

Величко Олександр Григорович
професор, доктор технічних наук,
ректор
(головний редактор)

Гасик Михайло Іванович
академік НАН України

Дейнеко Леонід Миколайович
професор, доктор технічних наук

Дідик Ростислав Петрович
професор, доктор технічних наук

Дронь Микола Михайлович
професор, доктор технічних наук

Іващенко Валерій Петрович
професор, доктор технічних наук

Коробочка Олександр Миколайович
(*вчений секретар*)
професор, доктор технічних наук

Малайчук Валентин Павлович
професор, доктор технічних наук

Михальов Олександр Ілліч
(*заст. головного редактора*)
професор, доктор технічних наук

Павлюченко Ігор Олександрович
професор, доктор технічних наук

Пройдак Юрій Сергійович
професор, доктор технічних наук

Стеблянко Павло Олексійович
професор, доктор фізико-математичних наук

Хричіков Валерій Євгенович
професор, доктор технічних наук

Шатоха Володимир Іванович
професор, доктор технічних наук

Національна металургійна
академія України

Національна металургійна
академія України

Національна металургійна
академія України

Національний гірничий
університет

Дніпропетровський національний
університет

Національна металургійна
академія України

Дніпродзержинський державний
технічний університет

Дніпропетровський національний
університет

Національна металургійна
академія України

Дніпродзержинський державний
технічний університет

Національна металургійна
академія України

Дніпродзержинський державний
технічний університет

Національна металургійна
академія України

Національна металургійна
академія України