Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

Посвящается 100-летию
со дня рождения ректора СМИ,
доктора технических наук,
профессора Н.В.Толстогузова

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2021»

Труды
XXII Международной научно-практической конференции

10 – 11ноября 2021 г.

Часть 2

Новокузнецк
2021

ISSN 2542-1670

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия
д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, к.т.н. Е.Н. Темлянцева,
д.т.н., доцент В.В. Зимин, д.т.н., профессор А.Г. Никитин,
к.э.н., доцент Ю.С. Климашина

М 540 Металлургия : технологии, инновации, качество : труды XXII Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Часть 2 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2021. – 347 с. : ил.

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и технологии процессов сварки, порошковой металлургии, получения композиционных материалов и покрытий, тепло- и массопереноса в металлургических процессах и агрегатах, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов, охраны труда, автоматизации и моделирования металлургических процессов, инновационных металлургических технологий в машиностроении, экономико-управленческих проблем металлургических регионов.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Правительства Кузбасса

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»

АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

АО «Русал-Новокузнецк»

АО «Кузнецкие ферросплавы»

АО «НЗРМК им. Н.Е. Крюкова»

Ляонинский университет науки и технологии, г. Аньшань, КНР

ОАО «Черметинформация»

Издательство Сибирского отделения РАН

Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»

Журнал «Вестник СибГИУ»

Журнал «MATEC Web of Conferences »

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

АО «Кузбасский технопарк»

Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук

Совет молодых ученых Кузбасса

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2021

8. Ли, Р. Оптимальные оценки, определение характеристик и управление / Р. Ли. – М: Наука, 2018. – 176 с.

9. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. – М, 2012. – 604 с.

10. Киселева, Т.В. Многовариантные активные системы управления сталеплавильными процессами / Т.В. Киселева, В.Н. Бурков. / Труды Междун. науч.-практ. конф. по моделированию и наукоемким технологиям в технических и социально-экономических системах. – Новокузнецк, 2021.. с. 43-51.

11. Буркова, И.В. Двухканальные активные системы управления металлургическими объектами / И.В. Буркова, Т.В. Киселева. / Труды Междунар. конф. по теории активных систем. – М, 2019. – С. 213-219.

УДК 004.942

ФРАКТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ

Мышляев Л.П.[1], Грачев В.В.[2], Ивушкин К.А.[3], Венгер К.Г.[4]

[1]ООО «Научно-исследовательский центр систем управления», Новокузнецк, Россия
[2]Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, vitaly.grachev@nicsu.ru
[3]ООО «Объединенная компания «Сибшахтострой», Новокузнецк, Россия
[4]ООО «РТ-СтройИнжиниринг», Москва, Россия

Аннотация. *Статья посвящена моделированию натурных структур металлов на основе фрактальных представлений. Показаны два способа построения моделей структур металлов с использованием фракталов. Поставлена и решена задача моделирования натурной структуры с использованием механизма генерации фрактала. Приведены результаты апробирования полученной поисковой процедуры на модельном примере идентификации и на натурной структуре стали 35 ХГСА.*

Ключевые слова. *Модель, моделирование, структура металла, положительная обратная связь, фрактал, множество Жюлиа, сталь 35 ХГСА*

FRACTAL MODELS OF THE STRUCTURE OF METALS

Myshlyaev L.P.[1], Grachev V.V.[2], Ivushkin K.A.[3], Wenger K.G.[4]

[1]OOO "Scientific Research Center of Control Systems", Novokuznetsk, Russia
[2] Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia, vitaly.grachev@nicsu.ru
[3]OOO "United Company "Sibshakhtostroy", Novokuznetsk, Russia
[4]OOO "RT-sTroyeNgineering", Moscow, Russia

Abstract. *The article is devoted to modeling the natural structures of metals on the basis of fractal representations. Two methods of constructing models of metal structures using fractals are shown. The problem of modeling a full-scale structure using the mechanism of fractal generation has been posed and solved. The results of testing the obtained search procedure on a model identification example and on the full-scale structure of 35 KhGSA steel are presented.*

Keywords: *model, modeling, metal structure, positive feedback, fractal, Julia set, steel 35 KhGSA.*

Традиционные подходы и способы описания структур материалов базируются, зачастую, на эвристических представлениях и анализе получаемых снимков поверхности и/или объеме объекта изучения. Для синтеза же алгоритмов управления, реализуемых на средствах вычислительной техники, необходимы математические описания.

Фундаментальные физико-химические закономерности возникновения и трансформации структур материалов на настоящем этапе разработаны и представлены в таком виде, что их затруднительно использовать для синтеза алгоритмов управления структурами. Другими словами, они не отвечают требованиям моделей для управления [1] – не отражают зависимость выходных воздействий от внешних факторов. Поэтому представляется полезным пойти по пути создания фрактальных моделей структур, то есть идентификации структур материалов, и последующей выработкой управляющих воздействий, в частности на параметры положительной обратной связи, для прогнозирования и изменения структуры материала в требуемом направлении. Это соответствует методу синтеза алгоритмов управления с оценкой состояний объекта управления и выбору коэффициентов усиления регулятора [2, 3].

Процессы, порождающие фрактальные структуры материалов, – это обычные процессы с положительной обратной связью, в которых одна и та же операция выполняется снова и снова, когда результат одной итерации является начальным значением для следующей (рисунок 1) [4].

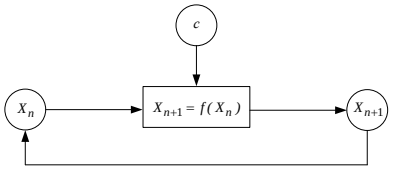

Рисунок 1– Схема формирования фрактальной структуры

Зависимость между результатом и начальным значением, то есть динамический закон $X_{n+1} = f(X_n)$, выражается с помощью следующих формул:

$$X_{n+1} = f(X_n) = X_n^2 + C \quad (1)$$

где X_n - переменная величина,

C – параметр, причем . $X_n, C \in \mathbb{C}$.

$$X_{n+1} = f(x_n) = (1 + r)x_n - rx_n^2, \quad (2)$$

где r – коэффициент прироста.

Построение модели натурной структуры металлов может осуществляться на базе двух подходов.

Первый подход основан на подборе настроечных коэффициентов или параметров при известном механизме формирования структуры металлов [4]. Данный способ осложняется тем, что фундаментальные исследования по поиску такого механизма формирования практически отсутствуют.

Наиболее перспективным и удобным для исследования с практической точки зрения является второй подход, заключающийся в моделировании структур металлов с использованием фрактальной геометрии.

Второй подход базируется на основе фрактальных представлений. При этом решение задачи моделирования структур металлов можно выполнить двумя способами.

1. Построение модели натурной структуры заранее готовыми фракталами. Описание структуры металлов осуществляется взвешенной комбинацией выбранных фракталов [5, 6]:

– описание натурной структуры одним типовым фракталом;

– описание натурной структуры несколькими типовыми фракталами;

– описание отдельных участков натурной структуры наиболее подходящей комбинацией фракталов.

2. Построение модели натурной структуры путем генерирования фрактальной структуры, используя известные алгоритмы [7].

Главным недостатком первого способа – методов моделирования натурных структур металлов заранее известными фракталами – является слабая обоснованность в выборе фракталов. Изначально, модели выбираются субъективно, а уже затем производится их оценка с расчетом фрактальной размерности. Еще одним недостатком является ограниченное количество возможных фрактальных моделей. Это объясняется тем, что при генерации фрактала количество моделей практически бесконечно.

Поэтому в наших исследованиях предпочтение отдается второго способу – моделированию натурных структур металлов с помощью подстройки параметров алгоритма (механизма) генерирования фракталов. Постановка задачи в этом случае может быть представлена следующим образом.

Дано.

1. Механизм (алгоритм) формирования фракталов.
2. Натурные структуры материалов

$$St_i; \quad i = \overline{1,I}, \tag{3}$$

где i – номер структуры;

I – количество структур.

3. Критерий идентификации

$$Q_{i,l} = \sum_{m;n;l=1}^{M,N,L} |St_i(m,n) - Fr_k(p,q)| \; \overrightarrow{p,q}\, min, \tag{4}$$

где St_i – i-ая натурная структура;

Fr_k – k-ая фрактальная модель;

m, n – количество точек на изображении натурной структуры,

$$m \in \overline{1,M^{max}}, \; n \in \overline{1,N^{max}}.$$

4. Ограничение

$M \in \overline{1,M^{max}}, \; N \in \overline{1,N^{max}}$, где M^{max}, N^{max} – размеры изображения натурной структуры.

Требуется.

1. Выбрать алгоритм генерирования фрактальной структуры.
2. Сформировать модельный фрактал таким образом, чтобы минимизировать критерий идентификации Q за счет варьирования начальными коэффициентами p и q.

Решение.

Этап 1. Выбор механизма генерирования фрактальной структуры и его реализация.

Для решения задачи выбран и реализован на языке C# алгоритм формирования фракталов «множество Жюлиа», который был представлен в виде системы комплексных уравнений.

$$\begin{cases} Z_{k+1} = (x_k + j \cdot y_k)^2 + C, \\ C = p + j \cdot q, \end{cases} \Longrightarrow \begin{cases} x_{k+1} = x_k^2 - y_k^2 + p, \\ y_{k+1} = 2 \cdot x_k \cdot y_k + q, \end{cases} \tag{5}$$

где Z – переменная величина;

k– номер итерации;

x, y – координаты на комплексной плоскости;

j – мнимая единица;

C – параметр;

$Z, C \in C$, p и q –начальные коэффициенты (координаты) формирования фрактальной структуры, $p, q, x, y \in \mathbb{C}$.

При формировании фрактала, значения начальных коэффициентов p и q выбираются таким образом, чтобы они принадлежали множеству Мандельброта (рисунок 2) или лежали вблизи его границ. Данное ограничение обосновано тем, что при выборе p и q далеко от нуля, Z_k стремится к бесконечности и итоговый фрактал «рассыпается в пыль» [4].

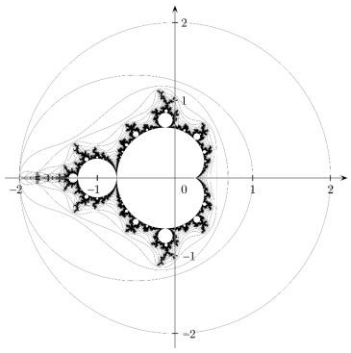

Рисунок 2 – Множество Мандельброта на координатной плоскости

Этап 2. Процедура поиска начальных коэффициентов генерирования фрактальной поверхности.

Из-за того, что фрактал – это многоэкстремальная поверхность, процедура поиска минимального критерия идентификации была реализована в два этапа.

1. Отыскивание всех минимумов Q и выбор глобального (абсолютного) минимума за счет разбиения пространства поиска на отдельные области и определения значения Q в них.

2. Применение метода «Нелдера-Мида» [8, 9] в областях глобальных минимумов.

Данная поисковая процедура была реализована на языке C# и апробирована на модельном примере и на натурной структуре.

В модельном примере брались фрактальные структуры с заранее известными начальными коэффициентами p и q (рисунок 3).

a b

Рисунок 3 – Фрактал: а) с начальными коэффициентами $p_н = 0$, $q_н = 1$;

б) с начальными коэффициентами $p_н = 0$, $q_н = 0{,}7$

В результате для структуры 4 а оптимальные значения критерия Q получены при значениях коэффициентов p и q равных заданным. Для структуры 4 б оптимальные значения критерия Q получены при значениях коэффициентов p и q равных исходным с заданной точностью ΔQ. Причем конечные оценки коэффициентов были найдены после многократного применения поискового метода из разных областей поиска.

При проведении идентификации натурной структуры стали 35 ХГСА данным способом были получены следующие изображения модельных структур (рисунок 4).

а) б) в)

Рисунок 4 – Изображения модельных структур: а) модель №1 – Q=165,8994; p=0,3260; q= -0,0361; б) модель №2 – Q=168,3600; p=-0,7687; q= 0,3094; в) модель №3 – Q=170,1360; p=-0,7775; q=-0,2147

Полученные значения критерия идентификации *Q* больше, чем при использовании заранее выбранных типовых фракталов для построения модельных структур. Данный недостаток можно устранить путем оптимизации процедуры поиска начальных коэффициентов, а также путем разбиения самой натурной структуры на области с последующей их идентификацией. Главным преимуществом этого способа является отсутствие необходимости выбора заранее готовых фрактальных структур.

Заключение. В статье рассмотрены два способа построения моделей структур металлов на основе фрактальных представлений. Выполнена поставка задачи моделирования натурной структуры с использованием механизма генерации фрактала, выбран и реализован алгоритм формирования фрактальной структуры «множество Жюлиа», реализована двухступенчатая процедура поиска оптимальных начальных коэффициентов генерирования фрактала. Приведены результаты апробирования полученной поисковой процедуры на модельном примере и на натурной структуре стали 35 ХГСА. Исследования проводились на образцах стали 35ХГСА с использованием лабораторного оборудования Сибирского государственного индустриального университета.

По результатам исследования можно сделать вывод об эффективности предложенных методов построения моделей структур металлов, базирующихся на основе фрактальных представлений. Представленное направление идентификации структур материалов может быть полезно и для описания других типов структур: алгоритмов, зданий и сооружений, природных объектов.

Библиографический список

1. Емельянов С.В. Новые типы обратной связи: управление при неопределенности / С.В. Емельянов, С.К. Коровин. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 352 с.

2. Ли Роберт. Оптимальные оценки, определение характеристик и управление / Перевод с англ. Ю.Ф. Кичатова и Л.П. Сысоева; под ред. Я.З. Цыпкина. – Москва: Наука, 1966. – 176 с.

3. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х. Т.1: Анализ и статистическая динамика систем автоматического управления / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 748 с.

4. Пайтген Х.О. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем / Х.О. Пайтген, П.Х. Рихтер: пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – 176 с.

5. Мышляев Л.П. Задачи идентификации структур материалов на основе фрактальных представлений / Л.П. Мышляев, К.Г. Венгер, В.В. Грачев, К.А. Ивушкин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия – 2021 – Т. 64. №4. – С. 311-316.

6. Мышляев Л.П. Идентификация структур материалов на основе фрактальных представлений / Л.П. Мышляев, В.В. Грачев, А.В. Циряпкина // Углехимия и экология Кузбасса: VIII Международный Российско-Казахстанский Симпозиум: сб. тез. докл. 6 - 10 октября 2019 г. Кемерово/ ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН. – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2019. – С. 60.

7. Федер Е. Фракталы / Е. Федер – Москва: Мир, 1991. – 254 с

8. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: пер с англ. / Б. Банди. – Москва: Радио и связь, 1988 – 128 с.

9. Мандельброт Б. Фракталы в физике / под ред. Л. Пьетронеро, Э. Тозатти. –М.: Мир, 1988. – 672 с.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ОКУСКОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ
Павловец В.М. ***134***

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОНВЕРТОРА ЗА СЧЕТ ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ
Стерлигов В.В., Гайдаш А.В. ***143***

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ
Сенкус В.В., Ермаков А.Ю., Сенкус Вас.В., Гизатулин Р.А., Сенкус Вал.В. ***147***

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ НА ПЛОЩАДКЕ НЕФТЕПРОМЫСЛА
Соловьев А.К., Данилкин Д.О., Кошкина Г.К. ***151***

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ БЛЮМИНГА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» Г. НОВОКУЗНЕЦКА
Соловьев А.К., Мотуз А.О., Кошкина Г.К. ***154***

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В ТЕХНОЛОГИИ БРИКЕТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ
Павловец В.М., Домнин К.И. ***159***

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕХНОЗЕМОВ И РАСТЕНИЙ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ОАО АБАГУРСКОЙ АГЛОМЕРАЦИОННО-ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ, Г. НОВОКУЗНЕЦК
Захарова М.А., Водолеев А.С., Домнин К.И. ***163***

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЭНЕРГОГЕНЕРАЦИИ ПУТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОСОРТНЫХ УГЛЕЙ НА ПЛОЩАДКЕ РАЗРЕЗА
Мурко В.И., Черникова О.П., Сентюрев С.А, Амлин М.С. ***166***

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ЦЕЛЬЮ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
Кузнецов В.А., Кузнецова Е.С. ***174***

СЕКЦИЯ 5: АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ **182**

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ МЕТАЛЛА В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХА № 2 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЯДЕРНЫХ ОЦЕНОК
Корнет М.Е, Раскина А.В, Корнеева А.А. ***182***

МНОГОВАРИАНТНЫЕ АКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ
Киселева Т.В. ***189***

ФРАКТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ
Мышляев Л.П., Грачев В.В., Ивушкин К.А., Венгер К.Г. ***194***

ГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ И МОДИФИКАЦИЯ МАТРИЦЫ ДВУХФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
Стерлигов В.В. ***199***

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОКАТНОГО СТАНА РЕЛЬСОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ПО СИСТЕМЕ «ПЧ-СД» С ДВУХЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ СКОРОСТИ
Кузнецов В.А., Кузнецова Е.С., Зайцев Н.С. ***204***

ПРИМЕНЕНИЕ НАТУРНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
Свинцов М.М., Мышляев Л.П., Макаров Г.В., СкударноваН.В. ***213***

Научное издание

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2021»

Труды XXII Международной научно-практической конференции

Часть 2

Под общей редакцией А.Б. Юрьева

Технический редактор Г.А. Морина

Компьютерная верстка Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 20.10.2021 г.
Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 20,21 Уч.-изд. л. 22,56 Тираж 300 экз. Заказ № 235

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ